

		PHILIPS: ELECTRONISCH METEN (1946-1951)
Jaar gang	Nr	Inhoud
1	1	rationeel produceeren (stofzuigers) motor ankers / hysteresse lus,
1	2	philoscop relaisbuis-schakelapparaat GM4801
1	3	schakelaars onder het tijdmicroscop
1	4	gebruik van den electronenstraaloscillograaf bij het fotografeeren van afkoelingskrommen van hardingsoliën
1	5	het gebruik van trillingsmeetapparatuur voor het controleeren van centrifuges
1	6	electronisch meten in den tuinbouw
1	7	het beproeven van smeltveiligheden met behulp van den electronenstraaloscillograaf
1	8	het meten van trillingen aan roteerende deelen van machines
1	9	de nieuwe oscillograaf GM3159
1	10	- Philips trilling-meetapparatuur en bodem onderzoek - het meten van zeer kleine capaciteiten
1	11	- measuring the resistance of liquids - conductimetric titrations.
1	12	balanceren van machines met behulp van electrische trillingmeetapparatuur
2	1	- het gebruik van de trillingopnemer GM5526 bij het dynamisch onderzoek - Een faze-resonantiemethode voor het meten van zelfinductie in het gebied van geluidsfrequenties
2	2	- het gebruik van de electronische schakelaar GM4580 bij industriële onderzoekingen - controleren van de productie van kristallen - levensduur beproeven van relais en magnetische schakelaars
2	3	over het oscillograferen van eenmalige verschijnselen m.b.v. tijdbasisapparaat GM 8003
2	4	- over het gelijktijdig weergeven van diverse electrische verschijnselen op het scherm van een oscillograaf A. Gebruik bij het dynamisch onderzoek met behulp von mechanische trillingen B. Gebruik bij het onderzoek van trillers voor gelijkspanningomvormers
2	5	de Philips oscillograaf in de werktuigbouw kracht-druk-verplaatsing. (lokomotiv- und maschinenfabrik Winterthur)

2	6	• stroboscopie en de nieuwe Philips stroboscoop GM5500 (textiel industrie / cavitatie scheepsschroeven / brandstof inspuiten)
2	7	• rekstrookjes voor het meten van lengte veranderingen.
2	8	• Electronische beveiligingsinstallatie voor kolen maal inrichtingen. • Het gebruik van de trilling opnamer GM5526 bij het dynamisch onderzoek.
2	9	• een telinrichting in de bierbrouwerij van Haecht • het meten van lengteveranderingen met behulp van rekstrookjes • onderzoekingen, met behulp van rekstrookjes, van in een staalconstructie optredende mechanische spanningen. (Bovenleiding Portalen NS) • GM4257 een universeel meetapparaat voor het controleren van spanningen, stromen, weerstanden en capaciteiten. • een nieuwe electronische schakelaar, de Philips GM4581.
2	10	• electronisch relais GM4801 • elektrische totalisator • lange kabel tussen de fotocel en het electronisch relais
2	11	• rekstrookjes, gebruikt bij herstellwerkzaamheden in de bouwnijverheid • de Philips rekmeetbrug met batterijvoeding GM4571
2	12	• enige gebruiksmogelijkheden van de fotoelectrische faze-indicator GM5670 • Philips variabele standaardcondensatoren
3	1	• de synchroon gestuurde tijdspanning van kathodestraaloscillografen (deel I) • het synchroniseren van de stroboscoop GM5500 • balanceren van ventilatoren
3	2	• de synchronisch ontketende tijdspanning van kathodestraaloscillografen (deel II) • Philips universele pa-meetapparatuur type GM4491/93
3	3	• Vervorming van glazen flessen
3	4	• storende trillingen in laboratoria
3	5	• ----
3	6	• ----
3	7	• toepassing van electronische meetapparatuur in de rayon-industrie
3	8	• metingen met een electronenstraaloscillograaf aan sluiters van fotocamera's
3	9	• ----
3	10	• ----
3	11	• ----
3	12	• Het balanceren van naaimachines (Necchi) • Electronische registrerende compensator PR2000

ELECTRONISCH METEN

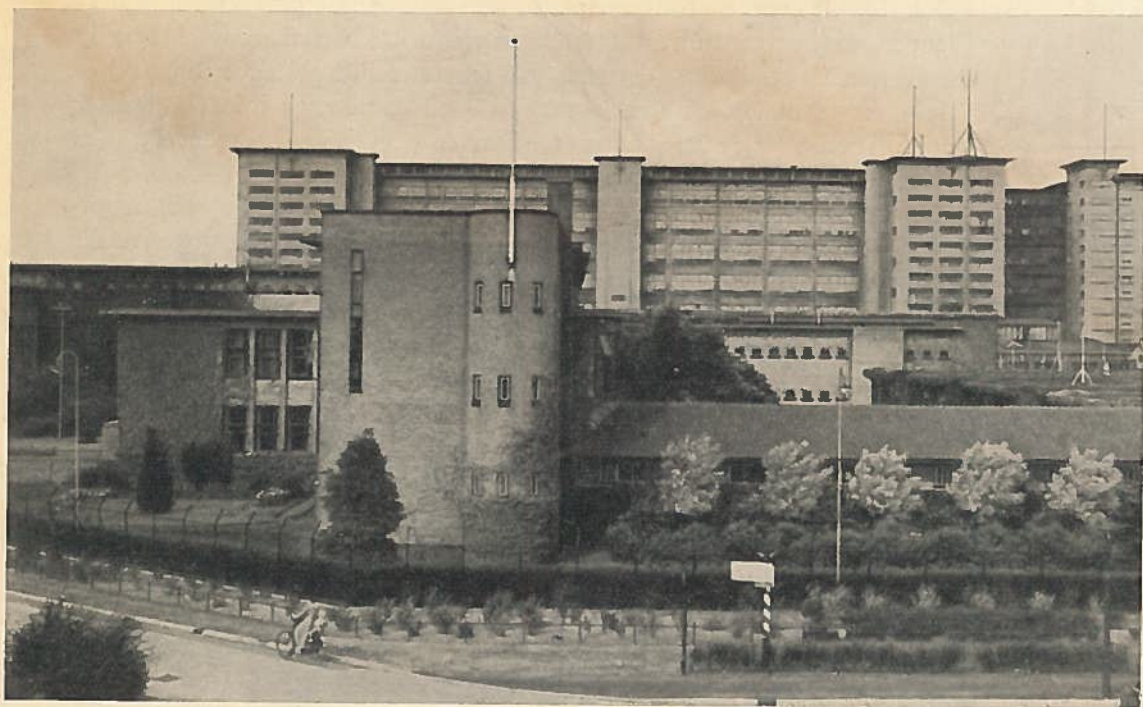
DE TOEPASSING DER MODERNE
ELECTRONISCHE MEETAPPARATEN
IN LABORATORIA EN BEDRIJVEN



JAARGANG 1

NUMMER 1

EEN BEELD UIT DE PHILIPS FABRIEKEN TE EINDHOVEN



Een gedeelte van het Philips Laboratorium, met op den achtergrond een hoogbouw der fabricage-afdeelingen

Het Philips Laboratorium is begin 1914 ontstaan op initiatief van Ir. G. L. F. Philips, die de problemen, die zich bij de fabricage voordeden, op wetenschappelijken grondslag wenschte te bestudeeren. Aanvankelijk ingericht voor onderzoek van gloeilampen en de daarmee verband houdende vraagstukken, werd het laboratorium in den loop der jaren het terrein van veelomvattende onderzoekingen op velerlei gebieden van wetenschap en techniek, waaronder die betreffende de electronica en de electronische werktuigen een belangrijke plaats innemen. Het gebouwencomplex van het Philips Laboratorium beslaat thans een oppervlakte van bijna 18000 m² en omvat een 400-tal werkvertrekken. De inrichting en de aard en hoedanigheid van het hier verrichte researchwerk maken dit Laboratorium tot een der grootste en belangrijkste ter wereld.

RATIONEEL PRODUCEEREN

Betekenis en uitvoering van contrôles

Hoe hogere eischen aan de hoedanigheid van een product gesteld worden, des te grooter is de betekenis van de contrôle. Al naar zijn aard zal het eene product tijdens zijn ontstaan meer contrôle vereischen dan het andere. Ook de wijze van controleeren zal in de verschillende gevallen zeer uiteen loopen, daar de contrôle, wat tempo en werkwijze betreft, zooveel mogelijk aangepast moet zijn aan de wijze van fabricceeren. Zoo zullen bijv. bij de massavervaardiging aan den loopenden band de noodige contrôles snel en op eenvoudige wijze verricht moeten kunnen worden door personeel zonder speciale wetenschappelijke of technische kennis.

Aan de meetapparatuur te stellen eischen

Aan de meetapparatuur worden aldus eischen gesteld, die, wat nauwkeurigheid betreft, dikwijls tot in het gebied der laboratoriummetingen reiken en die, wat uitvoering en bediening aangaat, te vergelijken zijn met het hantee-ren van een technische apparatuur voor leekengebruik, bijv. een automobiel.

„ELECTRONISCH METEN” is een geregeld verschijnende publicatie, waarin toepassingen der electronische meettechniek besproken worden. Hierbij wordt bijzondere aandacht geschonken aan de verkregen resultaten; tevens wordt de technische uitvoering der metingen beschreven. Wij beoogen hiermee den bedrijfsleider een indruk te geven van de betekenis dezer nieuwe meettechniek en hem in staat te stellen de gebruiksmogelijkheden voor zijn eigen bedrijf vast te stellen. Nadere gegevens over onze electronische meetapparaten zullen wij op aanvraag steeds gaarne verstrekken.

Voor de voorheen gebruikelijke en ook nu nog dikwijls toegepaste contrôlemiddelen betekenen deze eischen een tegenstrijdigheid, die niet kon worden overbrugd zonder nadeel voor het effect van de contrôle. Hierin is echter verandering gekomen door de ontwikkeling van de nieuwe electrische meettechniek, ontsproten aan den jongsten tak der electrotechniek, de Electronica.

Onder Electronica verstaat men de wetenschap en de techniek van het vrije electron, op welks eigenschappen de werking van alle electronische werktuigen berust. Het electron is uiterst licht, uiterst snel en practisch traagheidloos. Hieraan en aan het gedrag der electronen onder den invloed van electrische en magnetische velden, ontleenen de electronische werktuigen — dit zijn electronenbuizen in verbinding met de voor deze buizen uitgewerkte schakelingen — hun buitengewoon uitgebreide en veelzijdige toepassingsmogelijkheid in allerlei takken der techniek.

Zij kenmerken zich door practisch traagheidlooze werking, mogelijkheid tot belangrijke versterking van de onderzochte verschijnselen en het vermogen deze zichtbaar te maken. Hierdoor kan men volgens de nieuwe meettechniek beter, sneller en gemakkelijker meten dan volgens de vroegere meetmethoden. Bovendien worden voor exacte meting verschijnselen toegankelijk gemaakt, die langs anderen weg niet nauwkeurig waargenomen kunnen worden. Aldus worden voor het meten, en daarmee voor de contrôle in de werkplaats en het laboratorium, nieuwe mogelijkheden geopend. In deze nieuwe elektrische meettechniek neemt de elektronenstraaloscillograaf als traagheidloos aanwijsinstrument een belangrijke plaats in. Met behulp hiervan is het bijv. mogelijk een collectoranker geheel te meten in den tijd die met de gebruikelijke middelen (bijv. een batterij met voltmeter) noodig is voor het controleeren van één wikkelingsgedeelte tusschen twee collectorlamellen.

De nieuwe
meettechniek

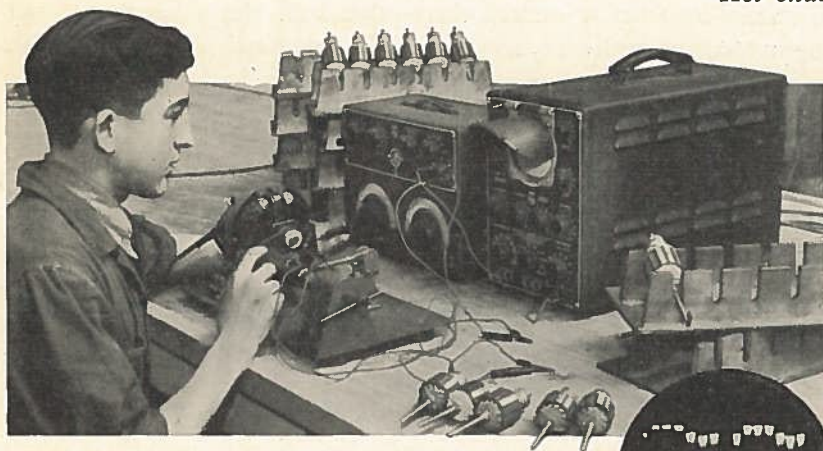
In het volgende zullen wij een korte beschrijving geven van de wijze, waarop de nieuwe elektrische meettechniek in een fabriek van huishoudelijke apparaten wordt toegepast.¹⁾

Toepassing in
een fabriek van
huishoudelijke
apparaten

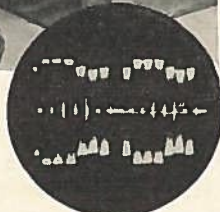
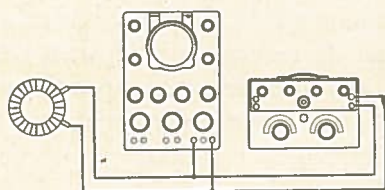
De hier gebruikte Philips elektronische meetapparatuur bestaat uit een toongenerator type GM 2307, waarmee de vereischte meetwisselspanningen worden opgewekt, een elektronenstraaloscillograaf GM 3156 voor de waarneming, verder een dynamische trillingsopnemer GM 5520/22 voor het

¹⁾ EFA Produkta, Amsterdam en Breukelen.

Het onderzoek van motorankers



*Ankermeting
met behulp van
toongenerator en
oscillograaf*



omzetten van mechanische trillingen in elektrische en een electronenschakelaar GM 4196,¹⁾ die het mogelijk maakt twee verschijnselen tegelijkertijd op het scherm van den oscillograaf zichtbaar te maken, te vergelijken en te meten. Met behulp van deze uitrusting worden aan de in de betreffende fabriek vervaardigde stofzuigers, o.a. de volgende contrôles verricht :

Het onderzoek van motorankers

Bij de massafabricage der ankers voor stofzuigermotoren worden allicht fouten gemaakt bij het soldeeren van de spoeleinden aan de collectorlamellen ; ook is het aantal wikkelingen per gleuf niet altijd gelijk. Dergelijke fouten worden eenvoudig en snel met den Philips oscillograaf GM 3156 en den Philips toongenerator GM 2307 opgespoord. Uit praktische overwegingen meet men, in plaats van den vrij lagen weerstand, de impedantie. Met behulp van den toongenerator wordt aan de wikkelingen een wisselspanning gelegd. Hiertoe verbindt men de klemmen van den toongenerator met de meetstiften, welke op twee naburige collectorlamellen worden geplaatst. Door hierop parallel den oscillograaf GM 3156 aan te sluiten, maakt men een afbeelding van de wisselspanning op het scherm van den oscillograaf zichtbaar. Iedere wikkeling kan aldus apart worden gemeten op sluiting en op aantal windingen (de amplitude is nl. een maat voor het aantal windingen) door de stiften van lamel tot lamel te verplaatsen. Bij de contrôle van serieproducten zou dit nog te veel tijd in beslag nemen. Daarom volgt men hier een methode, die het mogelijk maakt in één oogopslag den toestand van de geheele ankerwikkeling te overzien. Voor dit doel werd een brugje geconstrueerd, voorzien van twee gefixeerde meetstiften, waarin men het te onderzoeken anker legt. Het anker wordt met een hulpmotortje aangedreven, zoodat, na synchronisatie van het toerental, op het scherm een stilstaand spanningsbeeld voor de geheele ankerwikkeling ontstaat, waaraan men direct kan zien, of het anker een constructiefout vertoont. De uitvoering van deze doeltreffende contrôle is zoo eenvoudig, dat hiervoor geen speciale vakkennis noodig is.

Practische uitvoering van massametingen aan motorankers

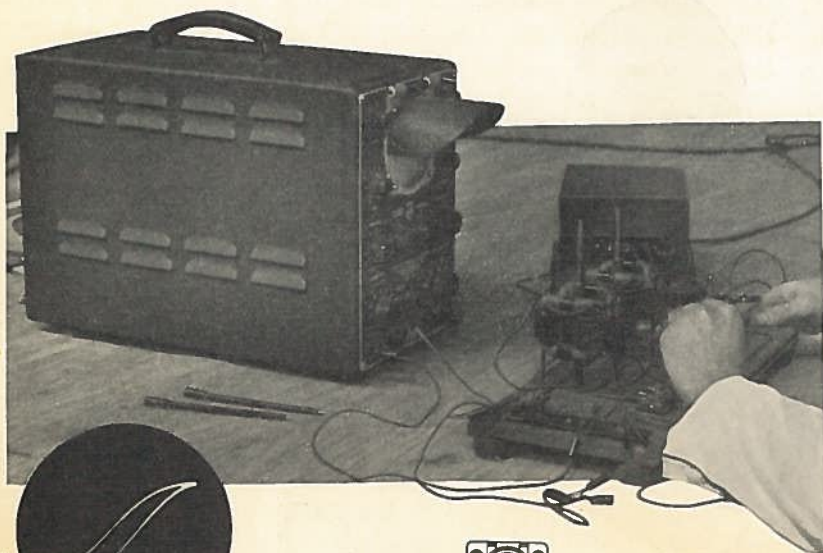
Contrôle van het dynamoblik

Van evenveel belang is de inductiemeting ter contrôle van het te gebruiken dynamoblik. Hiertoe wordt steeds steekproefgewijs het gebruikte blik vergeleken met een standaard blikpakket.

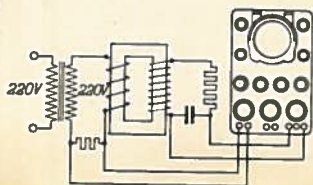
Uit het proefmateriaal maakt men een gesloten magnetisch circuit, waaromheen twee wikkelingen worden gelegd. De primaire wikkeling wordt gevoed met een wisselspanning en de in de secundaire wikkeling geïnduceerde spanning wordt naar de verticale afbuigplaten van den oscillograaf GM 3156 gevoerd, terwijl een deel der voedingspanning aan de horizontale platen wordt gelegd. Op het scherm verschijnt nu de hysteresislus. Met behulp van een meerpoligen omschakelaar worden na elkaar de

Waarneming van de hysteresislus

¹⁾ De nieuwe Philips electronenschakelaar draagt het typeno. GM 4580.



*Hysteresislus-
meting met
behulp van
den oscillograaf*



oscillogrammen der beide pakketten op het scherm verkregen, en door ze te vergelijken beoordeelt men de hoedanigheid van het te gebruiken dynamoblik.

Het electrisch meten van het toerental

Het gebruik van een tachometer zou, ten gevolge van de groote wrijving, bij de hier toegepaste kleine motoren te lage meetresultaten opleveren. Met behulp van den Philips oscillograaf GM 3156 en den Philips toongenerator GM 2307 is het echter mogelijk het toerental zeer nauwkeurig electrisch te meten. Op de schoepenplaat, gemonteerd op de as van den motor, worden hiertoe twee stukjes week ijzer diametraal tegenover elkaar aangebracht. Op geringen afstand (kleine luchtspleet) is een magnetische kern, voorzien van een spoeltje, opgesteld, zoodat, als de motor wordt ingeschakeld, ten gevolge van de verandering in het magnetische veld in het spoeltje een spanning wordt geïnduceerd.*)

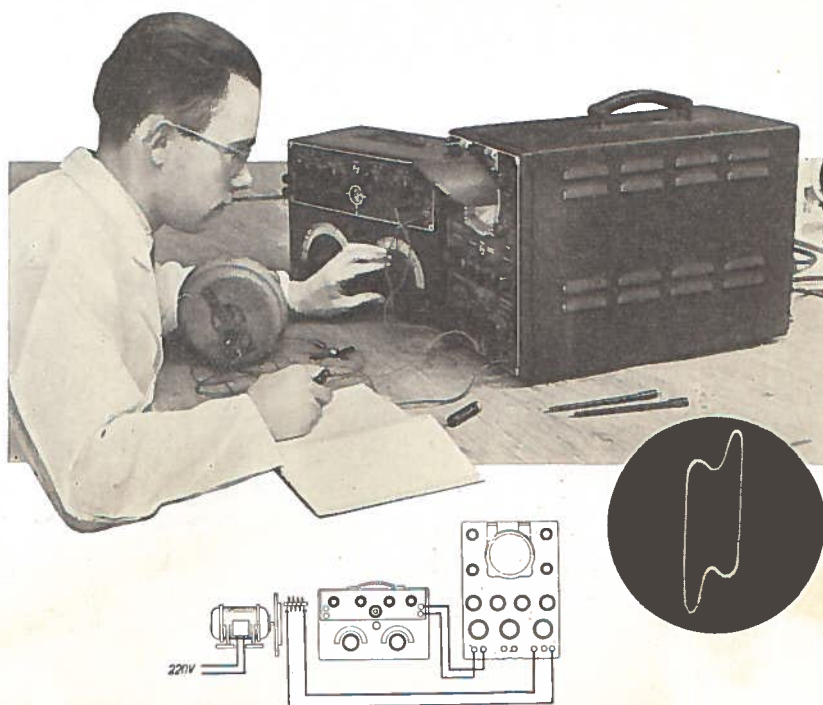
Bezwaar van een
tachometer

Deze spanning wordt toegevoerd aan den oscillograaf GM 3156, en na synchronisatie van de frequentie van den toongenerator met het toerental ontstaat op het scherm een enkelvoudige Lissajousfiguur. De schaal van den toongenerator is geijkt in per/sec., en daar het inductiesysteem hier tweepolig is, geeft de aflezing van den toongenerator, vermenigvuldigd

Directe aflezing
van het toerental
op den toon-
generator

*) Met voordeel kan hier de Philips magnetische trillingopnemer type GM 5527 gebruikt worden; de werking van dit apparaat berust eveneens op het magnetische principe.

*Toerentalmeting
met behulp van
toongenerator en
oscillograaf*



met een factor $60/2$, direct het aantal omwentelingen van den motor per minuut. *)

Het meten van faseverschuivingen

Het energieverbruik uit het net is voor den klant een punt van belang. Daar de faseverschuiving van invloed is op de belasting, welke de motor in het net vormt, wordt zij voor ieder type motor zoowel in belasten als in onbelasten toestand gemeten. Hiertoe wordt gebruik gemaakt van den electronenschakelaar GM 4196, welke den stroom en de spanning van den te onderzoeken motor tegelijkertijd op het scherm van den oscillograaf GM 3156 zichtbaar maakt.

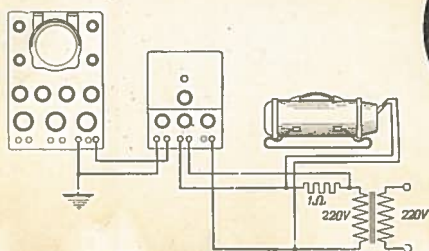
Het meten van trillingen

Voor het opsporen van de door den stofzuigermotor in het huis veroorzaakte trillingen gebruikt men den Philips dynamischen trillingsopnemer GM 5520/22, waarmede kleine trillingsamplituden tot in microns nauwkeurig gemeten kunnen worden. Men gaat na, op welke wijze, bijvoorbeeld door verstijvingsruggen, deze trillingen tot een minimum beperkt kunnen worden. Ook hier dient de oscillograaf GM 3156 om deze trillingen zichtbaar te maken.

*) Bij een toerental van bijv. 3000 omw./min. of lager, geeft het gebruik van een meerpoleg systeem (bijv. 10-poleg) gunstiger resultaten, daar dan de opgewekte frequentie nauwkeuriger gemeten kan worden.

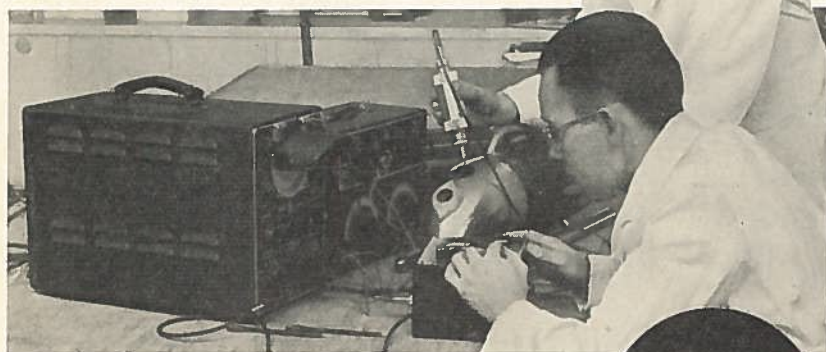


*De elektronen-
schakelaar maakt
de beelden van
stroom en spanning
tegelijktijd
op het scherm van
den oscillograaf
zichtbaar.*

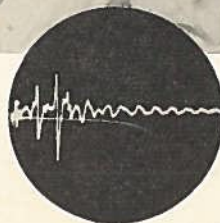
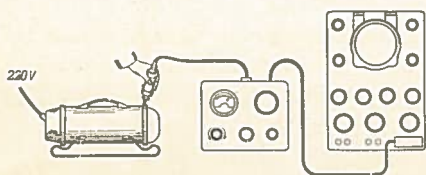


Het meten van luchtwervelingen

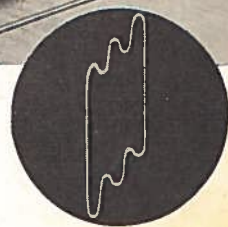
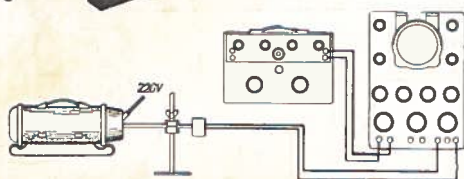
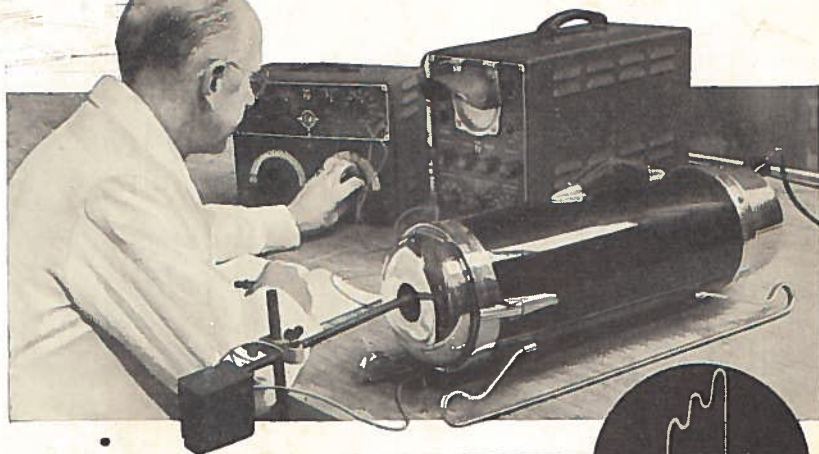
Belangrijk voor den gebruiker is ook het ruisniveau van den stofzuiger. Dit ruischen wordt niet zoozeer veroorzaakt door den motor, dan wel door het „slaan” van de lucht in het stofzuigerhuis. Om dit euvel tot een



*Meting van
trillingen van een
stofzuigerhuis met
behulp van
trillingopnemer en
oscillograaf*

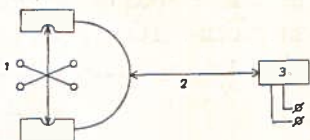


*Het meten van
luchtwervelingen
met behulp van
toongenerator en
oscillograaf*



Contrôle van het
ruischniveau

minimum te kunnen beperken, wordt aan ieder nieuw ontworpen model of bij wijzigingen in een bestaand huis de luchtwerveling gemeten. Om deze meting te kunnen uitvoeren werd in de betreffende fabriek een eenvoudig hulpinstrument geconstrueerd, bestaande uit een anemometer (luchtsnelheidsmeter) en een kristal. De excentrisch opgestelde anemometer (1) brengt door middel van een naald (2) de opgewekte mechanische trilling over op een kristal (3). Hierdoor ontstaan in het kristal spanningsvariaties, welke toegevoerd worden aan den electronenstraaloscillograaf



Directe aflezing
van de luchtver-
plaatsing

GM 3156. Na juiste instelling van den toongenerator GM 2307 verkrijgt men dan een enkelvoudige Lissajous figuur. Daar de snelheid van de doorstroomende lucht recht evenredig is met het toerental van den anemometer, welk toerental weer recht evenredig is met de frequentie van de in het kristal opgewekte spanning, is de aflezing van de synchronisatiefrequentie een directe maat voor de hoeveelheid doorgestroomde lucht. Met dezelfde meetopstelling worden ook de knopen en buiken van de luchtwervelingen bepaald, zoodat de doode punten op de gunstigste plaats gebracht kunnen worden.

ELECTRONISCH METEN

DE TOEPASSING DER MODERNE
ELECTRONISCHE MEETAPPARATEN
IN LABORATORIA EN BEDRIJVEN



JAARGANG 1

NUMMER 2



Voor vloeistofmetingen maakt de industrie in steeds stijgende mate gebruik van de Philips „Philoscop”, de universele meetbrug, die mechanische ongevoeligheid paart aan een hoge elektrische gevoeligheid.



47246

VERSNELDE PRODUCTIE

DOOR RATIONEELE VLOEISTOFMETINGEN

Een der vele problemen, waarvoor de bedrijfsleiding zich bij haar streven naar efficiency geplaagd ziet, is dat der controle, in het bijzonder de controle tijdens het fabricageproces. De moeilijkheid is, dat hier tegelijkertijd moet worden voldaan aan verschillende eischen, die zich tot dusverre in de praktijk tegenstrijdig hebben getoond; de controle moet snel kunnen geschieden, afdoend zijn en zoo mogelijk door leken op technisch gebied kunnen worden uitgevoerd.

Nemen wij als voorbeeld de meting van de geleidbaarheid van vloeistoffen, die in talrijke bedrijven, zooals wasscherijen, suikerraffinaderijen, textiel-fabrieken e.a. als een dagelijks veelvuldig herhaalde routine-controle belangrijke gegevens kan verstrekken. Weliswaar staan voor het uitvoeren van zulke metingen verschillende inrichtingen ter beschikking, doch hun karakter van precisieinstrumenten voor laboratoriumgebruik maakt hen voor het gestelde doel: het verrichten van controles *tijdens het bedrijfsproces*, als regel minder geschikt. Vooral hun gevoeligheid voor schokken en trillingen, waardoor ze gemakkelijk ontregeld raken, is een groot bezwaar bij geregeld gebruik door niet-vakmensen.

Voor deze vloeistofmetingen maakt de industrie daarom in steeds stijgende mate gebruik van de Philips „Philoscop”, de universele meetbrug, die

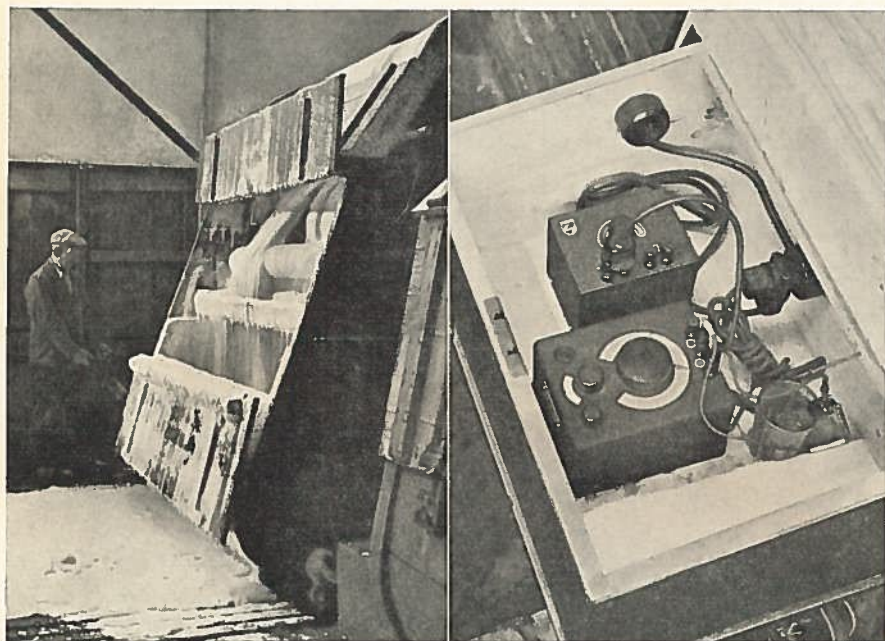
„ELECTRONISCH METEN” is een regelmatig verschijnende publicatie, waarin toepassingen der elektronische meettechniek besproken worden. Hierbij wordt bijzondere aandacht geschonken aan de verkregen resultaten; tevens wordt de technische uitvoering der metingen beschreven. Wij hopen hierdoor den bedrijfsleider een indruk te geven van de betekenis dezer nieuwe meettechniek en hem in staat te stellen de gebruiksmogelijkheden voor zijn eigen bedrijf vast te stellen. Nadere gegevens over onze elektronische meetapparaten zullen wij op aanvraag steeds gaarne verstrekken.

mechanische ongevoeligheid paart aan een hooge elektrische gevoeligheid, en een zeer eenvoudige bediening aan een groote nauwkeurigheid. Aldus is het apparaat geschikt voor talloze metingen. Ter voorkoming van polarisatie voedt men de brug met een wisselspanning van 1000 Hz, welke wordt geleverd door een hulpapparaatje, den generator type GM 4260. Als opnamer dient een speciaal voor dit doel ontwikkelde meetcel, type GM 4221.

Een belangwekkende toepassing van deze apparatuur in de praktijk, waarbij een opvallende toename van de productiesnelheid het gevolg was, vonden wij in een Nederlandsche textielfabriek. ¹⁾

Een der eerste bewerkingen die de ruwe

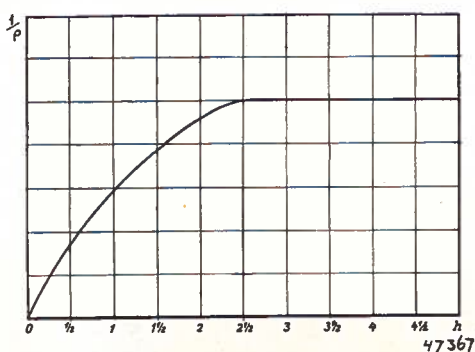
¹⁾ De N.V. Wollendekenfabriek „Nederland” te Geldrop, aan de vriendelijke medewerking van welker directie wij de gegevens voor de samenstelling van dit artikel danken.



wol ondergaat, is het z.g. „smouten”, d.i. invetten met oleïne. Na deze behandeling bevat de wol een zeker gewichtspercentage vet, en in dezen toestand wordt zij — na eenige verdere bewerking — gesponnen en ten slotte geweven. De van de weefstoelen komende dekens moeten nu van vet worden ontdaan. Dit geschiedt in een sodabad, waarin oleïne verzeep wordt, waarna de dekens met water worden uitgespoeld. Nu volgt het „vullen”, d.i. een opnieuw toevoegen van vet, bijv. in den vorm van zeep, waarna de dekens voor de laatste maal grondig met water worden gespoeld.

Het spoelproces was in de textielindustrie een kwestie van ervaring geworden, waarbij op den duur aan de practijk bepaalde regels waren ontleend. Overal hield men zich aan deze regels, ofschoon de tijd van spoelen in het eene bedrijf wat langer was dan in het andere. Algemeen gold : blijf spoelen tot het afvloeiende water zuiver is. Wat men onder „zuiver” had te verstaan, was niet nader aangegeven. En men kan aannemen, dat een op grond van zintuiglijke waarneming geconstateerde zuiverheid niet altijd overeenkomt met wat een exacte meting als zuiver aanwijst.

Om zeker te zijn kan men den spoeltijd ruim nemen. Zoo placht men in het hier ter sprake zijnde bedrijf 4 uren lang te spoelen. Om nu een goed inzicht in het spoelproces te verkrijgen, nam men tijdens het spoelen om het half uur een monster van het afvloeiende spoelwater en bepaalde hiervan het geleidingsvermogen met behulp van de „Philoscop”. Men achtte het spoelproces beëindigd, als het afvloeiende water hetzelfde geleidingsvermogen vertoonde als het zuivere water waarmee gespoeld werd, in dit geval 7600 ohm/cm. De bij de acht opeenvolgende monsters verkregen waarden zijn in



bijgaande grafiek samengevat. Het bleek, dat het afvloeiende water reeds na $2\frac{1}{2}$ uur het vereischte geleidingsvermogen vertoonde, m.a.w. dat na $2\frac{1}{2}$ uur spoelen geen verontreinigingen meer aanwezig waren en dat men dus in plaats van 4 uur, met $2\frac{1}{2}$ uur spoeltijd kon volstaan.

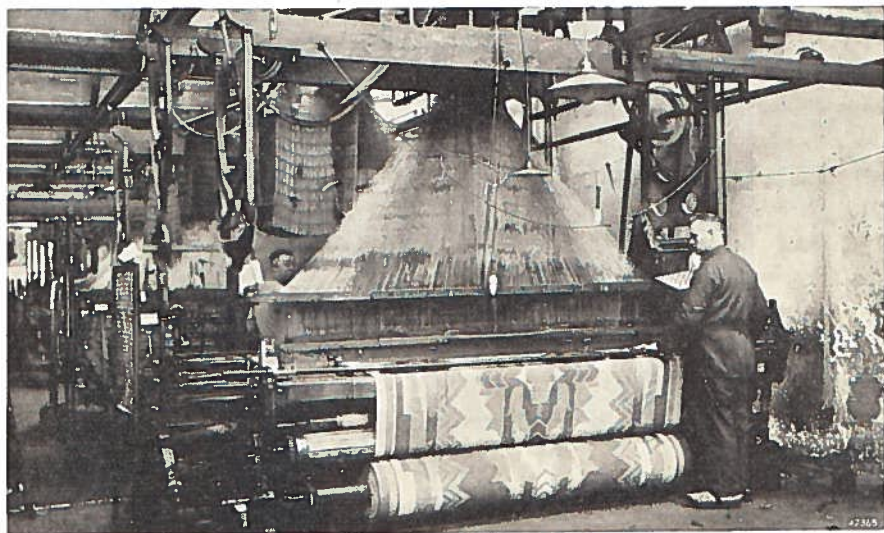
De op deze wijze verkregen voordeelen zijn in het kort de volgende:

snellere productie, hogere efficiëncy in het gebruik der waschmachines, besparing op water en electriciteit.

Sindsdien is de „Philoscop” hier regelmatig in gebruik. De bediening van het apparaat is zóó eenvoudig, dat men de meting aan iederen arbeider kan toevertrouwen.

Tot zoover deze beschrijving van het gebruik van de „Philoscop” universele meetbrug in de textielindustrie. Voor de uitvoering van vloeistofmetingen vindt het apparaat ook in vele andere gevallen toepassing, bijv. in den tuinbouw, voor het bepalen van het zoutgehalte van grondmonsters; in de suikerindustrie, voor het bepalen van het aschgehalte; in ketelhuizen, voor het onderzoeken van voedingswater; in waterleidingsbedrijven, voor het meten van drinkwater, en verder o.m. bij het verrichten van biologische onderzoeken.

Ten slotte vestigen wij er de aandacht op dat, naast het bepalen van het geleidingsvermogen met de „Philoscop”, die op het principe van de brug van Wheatstone met wisselstroomvoeding berust, ook capaciteiten en weerstanden kunnen worden gemeten over een groot meetbereik. Nadere bijzonderheden verstrekken wij gaarne op aanvraag.



EEN NIEUW PHILIPS PRODUCT

RELAISBUIS-SCHAKELAPPARAAT GM 4801

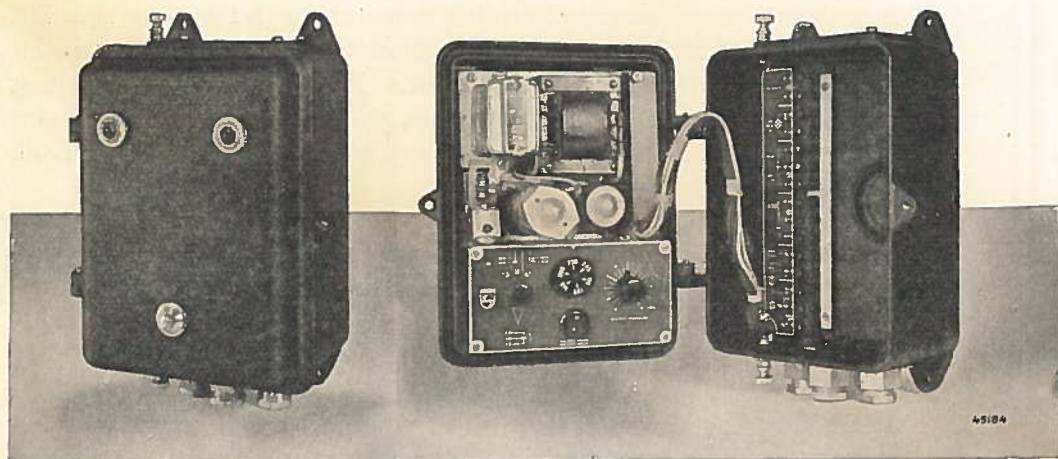


Fig. 1

Een apparaat dat in elke fabriek nuttig werk kan doen op het gebied van bedrijfsautomatisering, is het Philips relaisbuis-apparaat GM 4801. Dit is een traagheidloos relais met regelbare gevoeligheid, dat in werking gesteld kan worden door het openen of sluiten van een contact, een veranderende spanning, het belichten van een fotocel, enz.

Het daartoe vereischte vermogen is uitermate klein ; bij instelling op maximale gevoeligheid is slechts ca. 10 μ Amp. nodig, hetgeen overeenkomt met een vermogen van ongeveer 30 microwatt

Het secundaire enkelpolige contact, dat gesloten of geopend wordt, kan een vermogen schakelen van 250 W. Na een schakeling kan het apparaat met de hand of automatisch — al naar het gebruik vereischt — weer in bedrijfsklaren toestand worden gebracht. Het apparaat levert den noodigen stroom voor het voeden van verscheidene hulpapparaten, die eventueel gebruikt kunnen worden, bijv. een foto-electrische cel met gloeilamp, een elektrische teller om het aantal schakelingen te registreren, signaallampen enz.

Dit relaisbuisapparaat is ontworpen voor zeer uiteenlopende toepassingen. Hiervan dienen in het bijzonder genoemd de gevallen, waarbij gebruik wordt gemaakt van foto-electrische cellen.

Dank zij het uiterst geringe vermogen dat noodig is om het relais te doen functionneeren, kan het in werking worden gesteld door zeer lichte contacten met een minimale schakelcapaciteit, bijv. door middel van een kwikthermometer die voorzien is van een contact dat bij een bepaalde temperatuur den primairen kring sluit, of door een wijzer-instrument (bijv. manometer enz.) dat van een electrisch contact is voorzien. Aangezien de primaire stroom slechts enkele micro-ampères bedraagt, mag de inwendige weerstand van het contact betrekkelijk hoog zijn. Dit contact behoeft zelfs niet bepaald metallisch te zijn, doch kan bestaan uit min of meer electrisch geleidende vloeistof. Zulk een vloeistof veroorzaakt bijv. een maximum- of minimum niveauregeling van een eenigszins geleidende vloeistof, en dit zonder bewegende deelen, zooals vlotters en dergelijke.

Tevens is het, uit hoofde van den zeer geringen stroom die wordt vereischt, mogelijk schakelingen op afstand te verrichten, waarbij de verbindingsdraden zeer geringen diameter kunnen hebben.

Enkele toepassingen

In fig. 2 is aangegeven op welke wijze het tellen van (willekeurige) voorwerpen met behulp van een fotocelinrichting plaats heeft, en tevens op welke eenvoudige wijze de aansluitingen gemaakt worden. Het apparaat is hierbij geschakeld voor ruststroom; zoodra de lichtstraal onderbroken

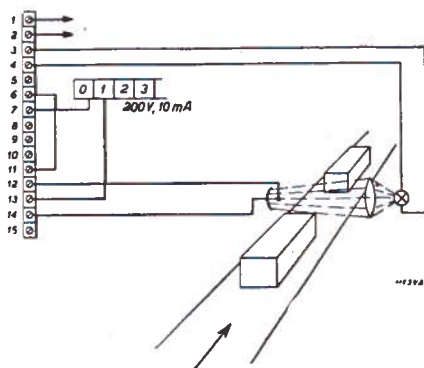


Fig. 2. Tellen van voorwerpen m.b.v. een foto-electrische cel

wordt en de fotocel dus een oogenblik geen licht ontvangt, treedt het apparaat in werking en registreert de schakeling op den electrischen teller. Direct daarna is de installatie weer gereed voor de volgende schakeling. Fig. 3 geeft het schema van een temperatuurregeling met behulp van een contactthermometer. Zoodra een bepaalde temperatuur (T^0) wordt bereikt, maakt de kwikkolom een electrische verbinding tusschen de klemmen 13 en 14 van het apparaat, waardoor de schakeling tot stand komt; secundair kan men bijv. als gevolg daarvan een verwarmingselement uitschakelen, een ventilator aanzetten enz., al naar het geval vereischt. Een

dergelijke schakeling kan natuurlijk ook zoodanig worden ingericht dat het apparaat functionneert zoodra de temperatuur *daalt* onder een bepaald van te voren vastgestelde grens.

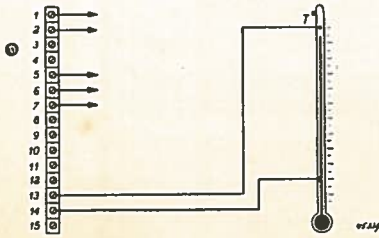


Fig. 3. Temperatuurregeling
m.b.v. contactthermometer

Een geheel andere toepassing is afgebeeld in fig. 4. Hierin is schematisch een deel van een textielmachine weergegeven, waarin een baan stof wordt bedrukt met een patroon. Op de plaats waar de banen stof aaneen gehecht zijn, ontstaat een vrij dikken naad, die niet zonder meer tusschen de drukwalsen (a en b) mag doorloopen, aangezien beschadiging dan het gevolg kan zijn. Ten einde nu tijdig het naderen van den naad (c) aan te kondigen,

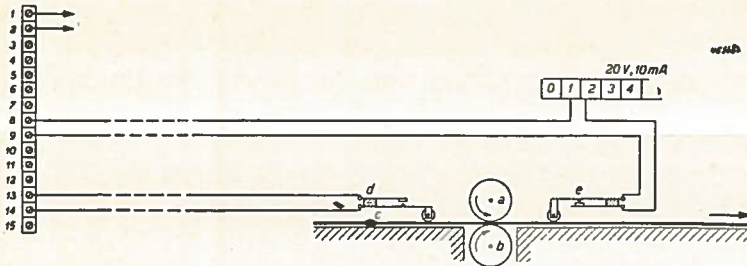


Fig. 4. Waarschuwinginrichting aan textielmachine

is een contact (d) aangebracht, dat het primaire circuit van de GM 4801 sluit en een claxon in werking stelt. De arbeider, die nu verschillende machines tegelijkertijd kan bedienen, wordt zodoende gewaarschuwd en kan maatregelen treffen opdat de naad de drukrollen passeeren kan. Het apparaat is hierbij zoo geschakeld, dat de claxon (evt. lamp) in werking blijft tot de bedienende persoon het apparaat buiten werking stelt door middel van den drukknop op het apparaat (zie fig. 1). Achter de drukwalsen is nog een tweede contact (e) aangebracht, dat tevens het aantal gepasseerde naden telt.

ELECTRONISCH METEN

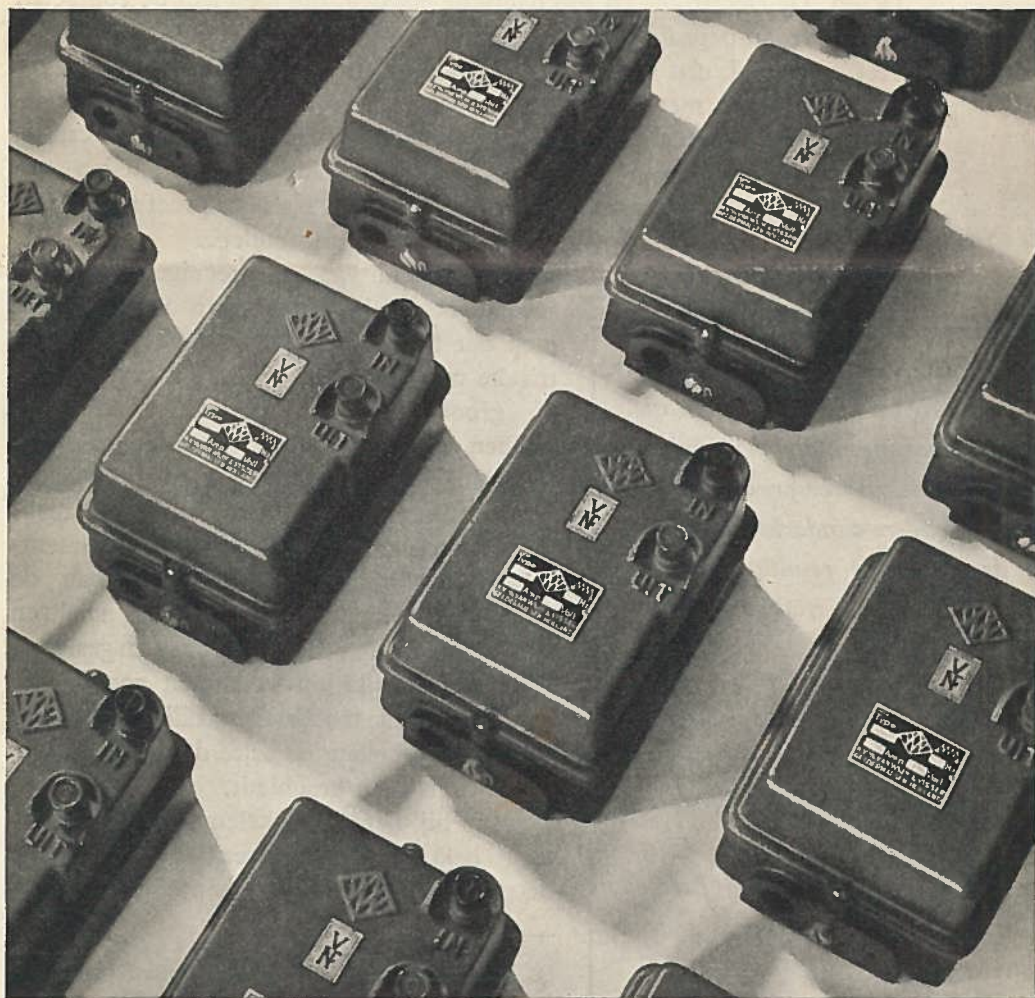
DE TOEPASSING DER MODERNE
ELECTRONISCHE MEETAPPARATEN
IN LABORATORIA EN BEDRIJVEN



JAARGANG 1

NUMMER 3

SCHAKELAARS ONDER HET „TIJDMICROSCOOP”



Een serie van de schakelaars waaraan de in dit nummer beschreven metingen worden verricht.

Het onderzoek van snelverlopende verschijnselen met den electronenstraaloscillograaf

Inleiding.

Een interessante toepassing van het fotografisch registreeren en meten van snelverlopende electrische verschijnselen vonden wij in een fabriek van electrisch schakelmateriaal ¹⁾, waar men met behulp van enkele Philips electronische meetinstrumenten contrôlemetingen aan het aldaar gefabriceerde schakelmateriaal uitvoert.

De belangrijkste onderdeelen van een schakelaar zijn wel de schakelcontacten. De electrische en mechanische eischen, die men aan de contacten stelt, worden bepaald door de te schakelen belasting.

Het onderzoek aan schakelaars bepaalde zich voorheen in hoofdzaak tot het nemen van mechanische duurproeven.

Met behulp van een voor dit doel ontwikkeld duurproefapparaat werd de schakelaar onder zoo natuurgetrouw mogelijke omstandigheden een bepaald groot aantal malen in- en uitgeschakeld. Na deze proef werden de contacten onderzocht op slijtage en eventueel inbranden.

Op deze wijze verkreeg men een beeld van de gevolgen van het schakelproces. Waarnemingen van het verloop der bij het schakelen optredende electrische verschijnselen waren, ten gevolge van de groote snelheid waarmede deze plaats hebben en de trage werking der gebruikelijke indicatiemiddelen, niet mogelijk. Een voorname eisch, waaraan iedere magneetschakelaar moet voldoen, is de moment-schakeling, waarbij, onafhankelijk van de wijze van bediening, het contact snel en volkomen moet worden verbroken en gesloten. De onmiddellijke en volkomen contactaanraking bij het inschakelen blijkt soms nog van grooter belang te zijn dan hetgeen bij het uitschakelen geschiedt.

Zoodra bij het inschakelen van een magneetschakelaar de beweegbare contacten de vaste contacten raken, bestaat de

„ELECTRONISCH METEN” is een regelmatig verschijnende publicatie, waarin toepassingen der electronische meettechniek worden besproken. Hierbij wordt bijzondere aandacht geschonken aan de verkregen resultaten; tevens wordt de technische uitvoering der metingen beschreven. Wij hopen hierdoor den bedrijfsleider een indruk te geven van de beteekenis dezer nieuwe meettechniek en hem in staat te stellen de gebruiksmogelijkheden voor zijn eigen bedrijf vast te stellen. Nadere gegevens over onze electronische meetapparaten zullen wij op aanvraag steeds gaarne verstrekken.

¹⁾ De N.V. Electrische Apparatenfabriek v/h Van Wijk en Visser te Geldermalsen.

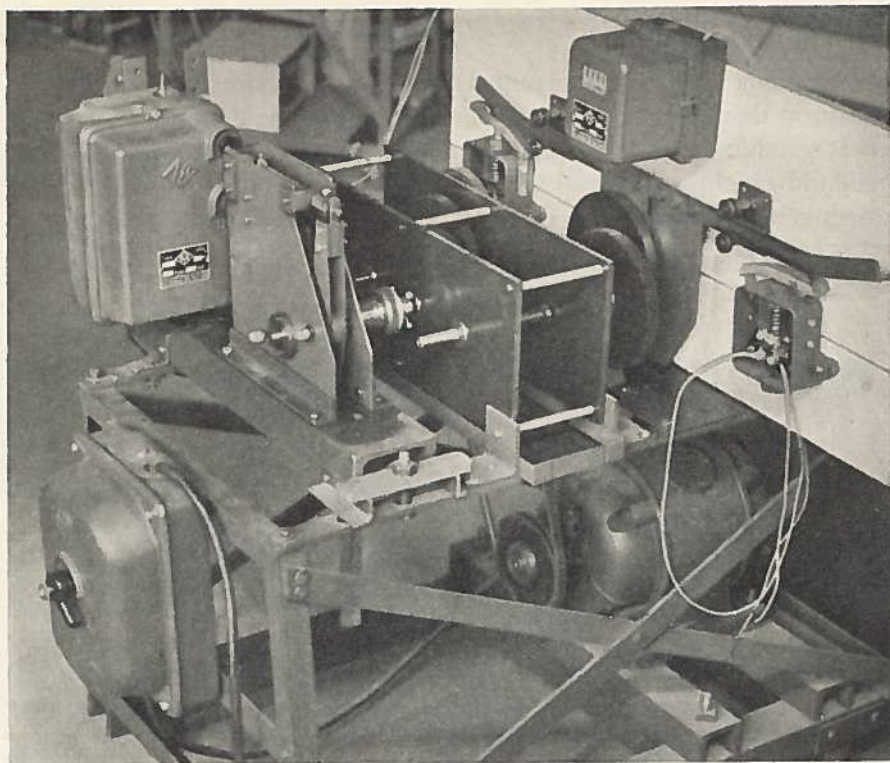


Fig. 2. Het duurproefapparaat, zooals dit bij de N.V. Electrische Apparatenfabriek in gebruik is.

kans, dat de bewegende contactstukken door de botsing worden teruggekaatst, hetgeen herhaalde malen kan gebeuren, voordat de definitieve contactaanraking tot stand is gekomen. Het gevolg is dan meestal sterk inbranden der contacten.

Met een electronenstraaloscillograaf kan echter het verloop van zulke snelle verschijnselen in den vorm van bijv. stroom of spanning, met behulp van het zoogenaamde tijdbasisapparaat, in den oscillograaf als functie van den tijd zichtbaar worden gemaakt.

Met behulp van het tijdbasisapparaat vergroot men als het ware visueel den tijd waarin een electrisch verschijnsel plaats heeft. Dit is te vergelijken met de vergrooting van een voorwerp, gezien door een microscoop, weshalve we hier met eenig recht van een „*tijdmicroscoop*” kunnen spreken. Zooals uit het volgende blijkt, kan men, bij gebruik van de noodige hulpinrichtingen (electronenschakelaar), stroom *en* spanning gelijktijdig als functie van den tijd, gedurende het onderbreken of sluiten van den schakelaar, zichtbaar maken. Bovendien kan men het verschijnsel fotografisch vastleggen.

De meetmethode

De belasting (stroom en spanning) van den te onderzoeken schakelaar wordt op de nominale waarde ingesteld. De stroom door den schakelaar en de spanning tusschen de contacten als functie van den tijd, worden dan gelijktijdig zichtbaar gemaakt op het scherm van den oscillograaf. Hiertoe wordt gebruik gemaakt van een Philips Electronenschakelaar GM 4196 ¹⁾,

¹⁾ Dit type is momenteel niet meer in den handel en is vervangen door het type GM 4580, dat aan nog hogere eischen voldoet.

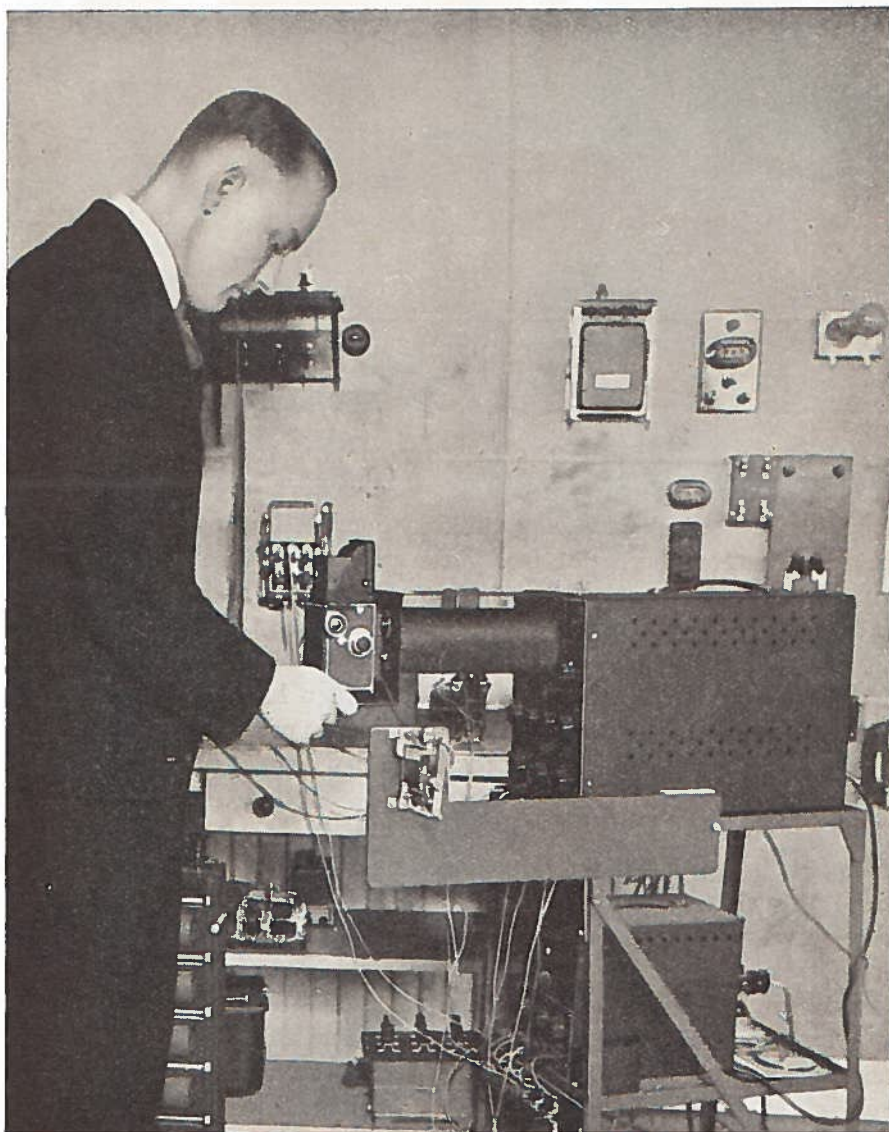


Fig. 3. De meettafel in gebruik. Boven: de Electronenstraaloscillograaf GM 3152 met Fotostatief GM 4192. Onder: de Electronenschakelaar GM 4196. Op den voorgrond de schakelaar met behulp waarvan de apparaten worden bediend.

die het mogelijk maakt twee verschijnselen tegelijkertijd op het scherm van den oscillograaf te brengen, en van den Philips Electronenstraal-oscillograaf GM 3152.

De camera voor de fotografische opname is met behulp van een fotostatief GM 4192 vóór het scherm van den oscillograaf geplaatst.

Voor het opnemen van het verschijnsel moet achtereenvolgens de sluiting van de camera worden geopend, het beeldpunt op het scherm zijn weg van links naar rechts over het scherm beginnen, de te onderzoeken schakelaar worden in- of uitgeschakeld en ten slotte, aan het einde van het schakelverschijnsel, de lens weer worden afgedekt. Al deze handelingen moeten in een fractie van een seconde geschieden.

De N.V. Electriche Apparatenfabriek construeerde daarom hiervoor een apparaat, bestaande uit een slinger (die in den beginstand electrisch vergrendeld is), gekoppeld met een contactschijf, die langs drie paar contactarmen loopt (zie figuur 3). Door het indrukken van een knop wordt het vergrendelrelais bekrachtigd, de slinger komt vrij en de beschreven manipulaties worden achter elkaar uitgevoerd.

Het verschijnsel wordt hierdoor dus automatisch vastgelegd.

De meetresultaten

Uit de op bovenvermelde wijze verkregen fotografische waarnemingen kunnen conclusies worden getrokken omtrent de sterkte van de schakelstroom en de grootte van de schakelspanningen als functie van den tijd. Om de details van de botsing van een contactstuk nauwkeurig te bestudeeren, dient afzonderlijk een opname gemaakt te worden, waarbij slechts een zeer gering vermogen wordt geschakeld, zoodat na iedere kortstondige contactaanraking de stroom telkens geheel wordt onderbroken, zonder boogvorming.

Op de laatst beschreven wijze is nevenstaand oscillogram van het inschakelverschijnsel opgenomen, waarop duidelijk uitkomt dat, na de eerste contactaanraking, de stroom nog eenige malen binnen een tijdverloop van 0,01 sec wordt onderbroken, alvorens de schakelaar definitief contact maakt.

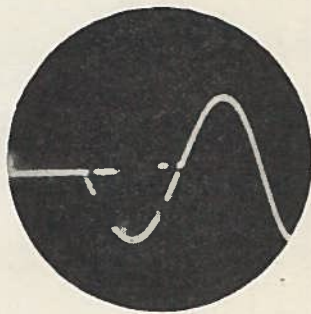


Fig. 4.

Contrôle van den overgangsweerstand van de contacten

De contacten worden tevens gecontroleerd op een juisten overgangsweerstand tusschen de contacten onderling. Genoemde firma voert deze controle uit met den uiterst gevoeligen Philips Thermionischen Voltmeter, type GM 4132.

Contrôle van relais

Daar bij de schakeling van elektrische apparaten tegenwoordig hoe langer hoe meer tot afstandbediening wordt overgegaan, welke bedieningswijze aangewezen is op de relaisbesturing, worden ook de relais aan bepaalde metingen onderworpen. Zoo worden met de Philips Universele Meetbrug GM 4140, de „Philoscop” o.a., vergelijkende zelfinductiemetingen gedaan aan relais.

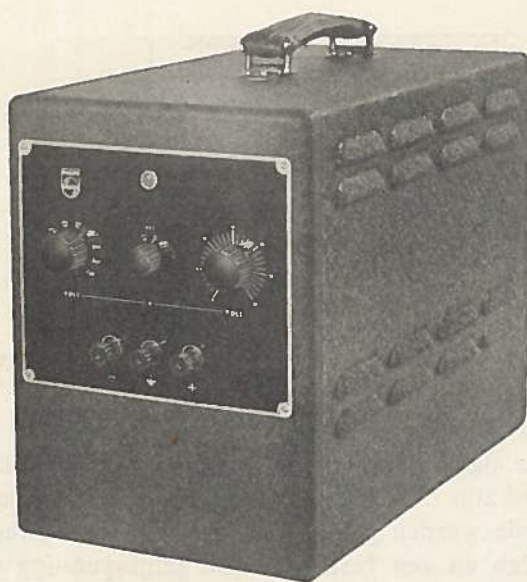


Fig. 5. Zelfinductiemetingen aan relais met behulp van de „Philoscop”.
Op den achtergrond de Thermionische Voltmeter GM 4132.

Onderzoek van dynamoblik

Het onderzoek van het gebruikte dynamoblik (hysteresislusmeting) wordt hier op dezelfde wijze uitgevoerd als beschreven in : „Electronisch Meten”, Jaargang 1, Nr. 1.

GELIJKSTROOMVOEDINGSAPPARAAT GM 4560



Een apparaat dat bijzondere aandacht verdient is het Philips Gelijkstroomvoedingsapparaat GM 4560 met gestabiliseerde spanning voor 145—310 volt bij een stroomsterkte van max. 100 mA.

Dit apparaat is een vervanger voor de aloude gelijkstroombron: de accubatterij, en heeft, daarmee vergeleken, vele voordeelen.

Direct in het oog springend is het feit, dat men geen zorgen van onderhoud, contrôle, bijvullen en laden meer heeft; verder neemt het apparaat belangrijk minder ruimte in beslag.

De elektrische eigenschappen zijn zeer gunstig, nl.:

Bijzonder constante gelijkspanning, ook bij varieerende en langdurige belasting.

Nagenoeg onafhankelijk van schommelingen van de netspanning.

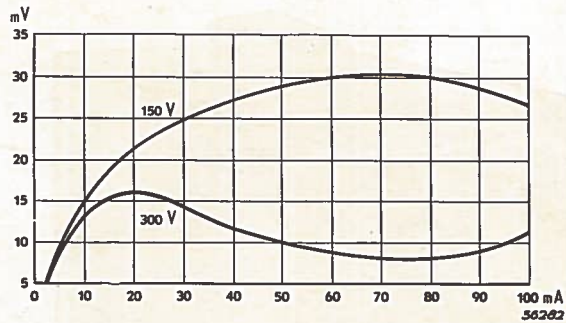
Continu regelbare gelijkspanning tusschen ca. 145 en 310 volt.

Zeer geringe inwendige weerstand, nl. < 1 ohm bij stroomen groter dan 30 mA en < 4 ohm bij stroomen kleiner dan 30 mA.

Kortsluitstroom automatisch begrensd tot max. 400 mA.

Bij netspanningvariaties van bijv. 5% is de verandering van de gelijkspanning bij 300 volt kleiner dan 0,012 volt, bij 150 volt kleiner dan 0,006 volt of $< 0,004\%$; dit is minstens een factor 1250 kleiner dan bij een niet-gestabiliseerd voedingapparaat. De gelijkspanning varieert bij verandering van de belasting van nul tot volle belasting (100 mA) minder dan 0,1 volt bij 300 volt of 0,03%. De bromspanning van de GM 4560 is bijzonder laag; bij een gelijkspanning van bijv. 300 volt bedraagt deze, onafhankelijk van de stroomafname, minder dan 3 millivolt ($< 0,001\%$).

Hieronder is als voorbeeld een kromme van de gelijkspanningvariatie bij verschillende belastingen weergegeven.



Het totale opgenomen vermogen van het apparaat bij volle belasting (100 mA) bedraagt slechts 150 watt.

Afmetingen van het apparaat: $40 \times 23 \times 31$ cm, gewicht: 19 kg.

Een belangrijke eigenschap is nog, dat beide gelijkspanningklemmen geheel geïsoleerd zijn t.o.v. aarde. Daardoor mogen zoowel de — als de + pool aan aarde worden gelegd en is het mogelijk twee apparaten in serie te schakelen en een gestabiliseerde gelijkspanning van maximum 600 volt te verkrijgen.

Heeft men een gelijkspanning van minder dan 145 volt nodig, dan kan men twee voedingapparaten tegen elkaar in schakelen, dus door de beide + polen met elkaar te verbinden. De werking van de stabilisatie wordt hierdoor niet beïnvloed.

ELECTRONISCH METEN

DE TOEPASSING DER MODERNE
ELECTRONISCHE MEETAPPARATEN
IN LABORATORIA EN BEDRIJVEN



AARGANG 1

NUMMER 4



48082

Inhoud: Oscillografen bij het bestudeeren van afkoelingseigenschappen van hardingsoliën.

UITGAVE DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN — EINDHOVEN
AFD. MEETAPPARATEN

Gebruik van den Electronenstraal-Oscillograaf bij het fotografeeren van afkoelingskrommen van hardingsoliën

Door Civiel Ingenieur BENT LEVY, Stockholm

In een aantal onderzoeken verricht in de IVA laboratoria ten behoeve van de AB. Wahlén & Block, omtrent het koelvermogen van hardingsoliën, bevonden wij het gebruik van den electronenstraal-oscillograaf bij het fotografeeren van afkoelingskrommen zeer practisch. Daar deze inrichting voor het genoemde doel uitstekend geschikt is gebleken en, voor zoover ons bekend, voor dergelijke doeleinden nog niet werd gebruikt, meenen wij dat een korte beschrijving in wijden kring van belang kan zijn.

Normaal wordt de electronenstraal-oscillograaf gebruikt voor het fotografeeren van zeer snelle trillingen, van 2 p/s tot 60 Mp/s (5 m golflengte)¹⁾. Het principe van de constructie der electronenstraalbuis is weergegeven in fig. 1. Uit de gloeikathode K worden electronen gezonden door een rooster en vervolgens door een dubbele anode, die is voorzien van openingen voor het passeeren der electronen. Bij de juiste spanning op het rooster en de anoden worden de electronenstralen verzameld tot een bundel, die een fluoresceerend scherm treft, dat zich op den glazen wand S van de buis bevindt. Normaal ontstaat hierdoor een lichtvlek in het midden van het fluoresceerende scherm. Als een spanning wordt aangelegd tusschen de platen V_1 en V_2 zal deze vlek zich in verticale richting verplaatsen, doordat

de negatieve electronen door de negatieve plaat worden afgestooten en door de positieve plaat worden aangetrokken. Als het spanning-verschil ongeveer 90 volt bedraagt, bereikt de lichtvlek den buitenwand van S. Indien een wisselspanning aan de platen wordt toegevoegd, gaat de lichtvlek op en neer met de frequentie van de wisselspanning; bij voldoende hooge frequentie handhaaft zich de vlek als een verticale lijn, waarvan de lengte in verhouding staat tot de spanning. Aldus kan de oscillograaf worden gebruikt als voltmeter. Een ingebouwde meertraps versterker maakt het meten van spanningen van slechts eenige millivolt mogelijk.

„ELECTRONISCH METEN” is een geregeld verschijnende publicatie, waarin toepassingen der electronische meettechniek besproken worden. Hierbij wordt bijzondere aandacht geschonken aan de verkregen resultaten; tevens wordt de technische uitvoering der metingen beschreven. Wij beoogen hiermee den bedrijfsleider een indruk te geven van de beteekenis dezer nieuwe meettechniek en hem in staat te stellen de gebruiksmogelijkheden voor zijn eigen bedrijf vast te stellen. Nadere gegevens over onze electronische meetapparaten zullen wij op aanvraag steeds gaarne verstrekken.

¹⁾ Nota redactie. Voor zoover ons bekend, zijn er nergens oscillografen te verkrijgen, die deze frequentie kunnen weergeven. Wel kon men tot zeer hooge frequenties komen, indien men de spanningbron direct, zonder tusschenkomst van den versterker, aan de afbuigplaten van de electronenstraalbuis aansluit.

Het juiste verloop van de wisselspanning, de kromme ervan, kan het gemakkelijkst worden onderzocht door de lichtvlek tevens in horizontale richting te verplaatsen, door aan de platen H_1 en H_2 een gelijkmatig toenemend spanningverschil aan te leggen. De vlek zal zich dan horizontaal met constante snelheid bewegen. Heeft de wisselspanning een sinusvorm, dan kan aldus worden bereikt, dat de vlek zich volgens een sinuskromme beweegt. Een in den oscillograaf ingebouwde inrichting veroorzaakt een automatische, horizontale beweging van de lichtvlek met snelheden van 2 tot 150 000 perioden per seconde. Het is mogelijk de vlek de beweging onafgebroken te doen herhalen, waardoor de krommen voor langeren duur zichtbaar kunnen worden gemaakt, dan wel kan, door de kromme niet periodiek te doen herhalen, slechts één oscillatie worden verkregen.

De platen H_1 en H_2 kunnen eveneens worden verbonden met een buiten den oscillator gelegen spanningbron. Dit zal men doen als men geen constante beweging in horizontale richting wenscht, zooals bijv. bij het fotografeeren van het drukdiagram van verbrandingsmotoren enz., of als men een langzamere, constante beweging wenscht dan de oscillator automatisch kan geven. Dit laatste nu was het geval voor het door ons uitgevoerde

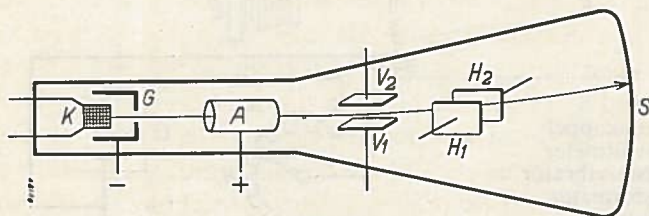


Fig 1

onderzoek, waarbij afkoelingskrommen met een horizontale afbuigperiode van 1 tot 60 seconden moesten worden gemeten. Opdat de lichtvlek zich zoo langzaam zou bewegen, moest, op de wijze als hierna beschreven, gebruik worden gemaakt van een mechanisch aangedreven spanning-regelaar.

Het principe onzer proeven is in groote trekken als volgt:

Een zilveren kogel met een diameter van 20 mm wordt tot ca. 800°C verhit en gedompeld in de olie, waarvan men de koeleigenschappen wenscht te bepalen. In den kogel bevindt zich een thermo-element in goed warmtegeleidende verbinding met het metaal van den kogel. De maximum temperatuur wordt gecontroleerd met een millivoltmeter van gewone constructie. Als de zilveren kogel wordt gekoeld daalt de spanning in het thermo-element betrekkelijk snel. Deze spanningval nu wil men registreeren met den oscillograaf, met behulp waarvan de afkoelingskromme direct kan worden gefotografeerd.

Echter, daar de thermo-electrische spanning een gelijkspanning is en derhalve te zwak, max. ong. 45 mV, om rechtstreeks een uitslag op den oscillograaf te geven, dient zij te worden versterkt. Dit kan niet zonder meer met den in den oscillograaf ingebouwden versterker, daar deze voor wissel-

spanning is bestemd. Het probleem kan echter op zeer eenvoudige wijze tot oplossing worden gebracht door tusschen het thermo-element en den oscillograaf een vibrator aan te brengen en deze de thermospanning te doen omzetten in een serie spanningimpulsen van zoodanige frequentie, dat de wisselspanningversterker de spanning in de vereischte mate kan vergrooten.

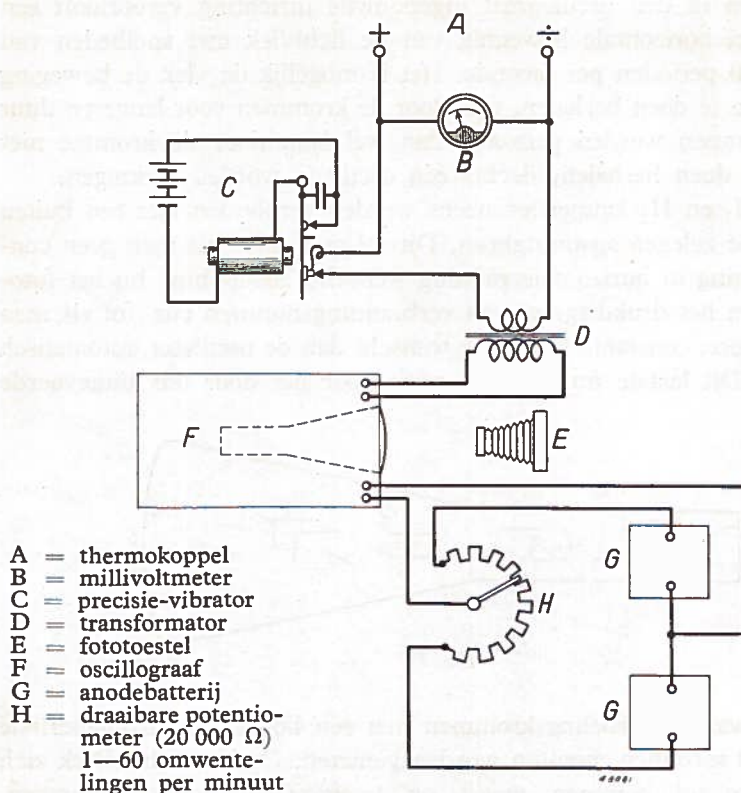


Fig. 2. Principeschema van de proefopstelling

Fig. 2 is een schematische voorstelling van de inrichting. De vibrator bestaat uit een trillende stalen veer, die met een electromagneet en een veercontact, als in een gewone schel, in trilling wordt gehouden. Een ander zich op de veer bevindend contact sluit en verbreekt den thermo-electrischen stroom. De twee elektrische kringen zijn van elkaar geïsoleerd en goed afgeschermd, ten einde wederkeerige beïnvloeding te vermijden. De vibrator moet zeer sterk zijn geconstrueerd en de contactinstelling moet van een fijnregelinrichting zijn voorzien, daar goede meetresultaten geheel afhankelijk zijn van de juistheid der vibratorinstelling. Kleine variaties in de frequentie van de stalen veer of in den contactweerstand van den thermosroomkring oefenen grooten invloed uit op den uitslag van den oscillograaf. Echter is het mogelijk gebleken om met een goed geconstrueerden vibrator (plus eenige oefening in het gebruik ervan) volkomen stabiele uitslagen en derhalve betrouwbare meetresultaten te verkrijgen.

Bij onze eerste proeven gebruikten wij contacten van wolfram en hadden wij groote moeite om constante resultaten bij dezelfde temperatuur te verkrijgen. Dit was te wijten aan de omstandigheid dat wolfram gemakkelijk oxydeert, waardoor de weerstand in de contacten steeg. Ofschoon de contacten na iedere proef zorgvuldig werden gereinigd, was men niet steeds zeker van een constant resultaat.

Wij zijn dank verschuldigd aan Prof. C. Benedicks en Ing. Sederholm voor hun zeer gewaardeerde adviezen en in het bijzonder voor hun aanwijzing van een zeer geschikt contactmetaal, bestaande uit een alliage van 93% goud en 7% platina. — Zie de verhandeling van Prof. C. Benedicks en Civiel Ingenieur J. Härden: „Untersuchungen über die Metallüberführung bei Kontakten bzw. dafür geeignete Goldlegierungen”, Zeitschr. für Techn. Physik 13, Jahrg. No. 2, 1932.

Bij gebruik van deze legering werden de aanzienlijke moeilijkheden, die tot nu toe aan de toepassing van het vibratorprincipe eigen waren, voorkomen, zoo zelfs dat wij bij verscheidene dagen beproeving hoegenaamd geen oxydatie of verandering in den contactweerstand hebben kunnen constateeren. De versterking, en derhalve de lengte van de verticale lijn, wordt ingesteld met een knop op den oscillograaf. Extra groote versterking wordt verkregen door aanbrenging van een transformator tusschen den vibrator en den oscillograaf. Bij onze proeven verkregen wij bij een temperatuur van 800°C een lijn ter lengte van 50 mm. Bij dalende temperatuur volgt de lengte van de lijn nauwkeurig de spanning in het thermo-element en is dus practisch evenredig met de temperatuur. Bij 400°C is de lijnlengte 24 mm, bij 200°C 11,5 mm enz.

De beweging in horizontale richting wordt geregeld met een roteerenden potentiometer; het schakelschema ervan is eveneens weergegeven in fig. 2. De potentiometer, waarvan de weerstand 20 000 ohm bedraagt, wordt zoodanig geschakeld, dat de spanning bij draaien gelijkmatig varieert van minus 70 volt tot plus 70 volt, waarbij de horizontale verplaatsing 50 mm bedraagt. De potentiometer wordt aangedreven door een gramfoonmotor, via een schakelinrichting die alle omwentelingsperioden van 1 tot 60 seconden verzekert. Tusschen den motor en den schakelaar bevindt zich een electromagnetische koppeling die, door middel van een relais, den potentiometer in werking stelt op hetzelfde oogenblik dat de zilveren kogel in de koelvloeistof valt. Daar de snelheid van den gramfoonmotor vóór de proef nauwkeurig kan worden ingesteld, en de potentiometer kan worden ingeschakeld terwijl de motor werkt, kan men zeker zijn van een met den tijd evenredige horizontale beweging.

Moet een afkoelkromme worden gefotografeerd, dan wordt de kogel op de gewenschte temperatuur gebracht — bij onze proeven op 800°C — de vibrator wordt in werking gesteld en de potentiometer op -70 volt ingesteld. Men ziet dan op het scherm van den oscillograaf, geheel links, een 50 mm lange verticale lijn, symmetrisch ten opzichte van haar horizontale middellijn. De zilveren kogel valt in de koelvloeistof, de potentiometer wordt gestart, en nu verplaatst zich de lijn met de ingestelde snelheid naar rechts,

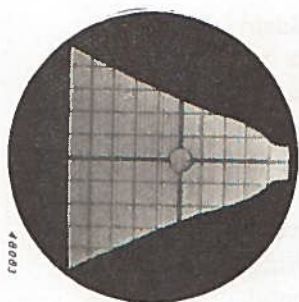


Fig. 3

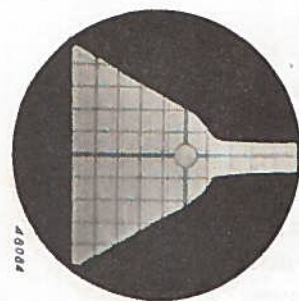


Fig. 4

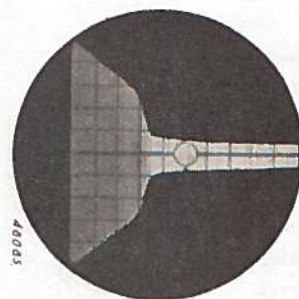


Fig. 5

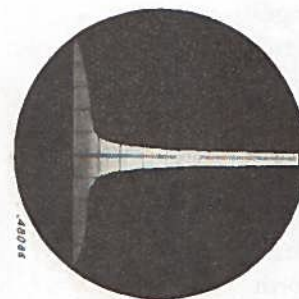


Fig. 6

waarbij zij — terwijl zij symmetrisch blijft ten opzichte van de middellijn — in verhouding tot de temperatuurdaling wordt verkort. De einden van de lijn beschrijven daarbij twee symmetrische afkoelingskrommen.

Vóór het scherm van den oscillograaf is een camera met twee voorzetlensen opgesteld. Daar onze proeven werden uitgevoerd in de donkere kamer, kon gebruik worden gemaakt van een gewone „Voigtländer” camera 6×9 met „Skopar” anastigmat 1: 4,5; $f = 10,5$. De afstand van de voorzetlens tot het beeldscherm bedraagt 190 mm; de foto wordt 1:2 van de beeldgrootte van het scherm. De gebruikte film is Agfa Isochrom 18/10. DIN. Als de opname niet kan worden verricht in de donkere kamer, moet de camera met den oscillograaf worden verbonden door middel van een lichtdichte buis. Alsdan gebruikte men bij voorkeur een „Rolleicord” camera, waarbij het krommebeeld tijdens het fotografeeren op het matglas van de camera kan worden waargenomen. In de figuren 3 tot 6 zijn foto's van afkoelingskrommen in zuiver water bij temperaturen van resp. 98°C , 90°C , 80°C en 70°C weergegeven. De aanvangstemperatuur van den kogel bedroeg 800°C ; de koeltijd was 46 seconden. Zooals men ziet is water, dat zich ongeveer op kooktemperatuur bevindt, een zeer slecht koelmiddel, daar een isoleerend laagje rond den kogel wordt gevormd. Bij een iets lagere temperatuur van het water wordt de koeling beter, daar het laagje stoom reeds bij een hogere kogeltemperatuur wordt gecondenseerd. Bij 70°C is de koeling practisch oogenblikkelijk; het laagje stoom condenseert klaarblijkelijk, ofschoon de temperatuur van den kogel ongeveer 800°C bedraagt. Hieruit blijkt dat het Leidenfrost verschijnsel niet optreedt als een gloeiende kogel in koud water wordt gedompeld, waarschijnlijk omdat de groote watermassa hier den om den gloeienden kogel gevormden stoom oogenblikkelijk kan condenseeren. Deze waarneming geeft ons eveneens aanleiding onze opvatting omtrent de krachtige damplaagvorming bij afkoelen in olie te herzien. Normaal wordt deze damplaag beschouwd als een Leidenfrost verschijnsel, dat wordt veroorzaakt door verdamping van de vluchtige bestanddeelen van de olie. Waarom condenseert deze damp niet, zooals in water? Dit is een niet gemakkelijk te beantwoorden vraag. Mogelijk is het verschil te wijten aan het geringe warmtegeleidingsvermogen van de olie. Het meest waarschijnlijk echter is, dat kleine hoeveelheden permanente gassen worden gevormd door kraken bij contact van de olie met het gloeiende metaal. In alle geval geeft het probleem reden tot nadenken.

Fig. 7 toont de kromme voor zuiver water bij 70°C , evenals fig. 6, doch hier bedraagt de koeltijd slechts 2 seconden, zoodat een duidelijker beeld van het aanvankelijke verloop bij snelle koeling wordt verkregen. Hieruit blijkt duidelijk de beteekenis van het feit, dat

de horizontale snelheid van de kromme op eenvoudige wijze kan worden gevarieerd.

Nemen wij thans het geval van de olie, dan komen een aantal belangrijke gezichtspunten naar voren. Het is bekend, dat vele plantaardige en dierlijke oliën in verschen toestand een betere harding veroorloven dan minerale oliën. Beschouwt men fig. 8, die de kromme is voor koolzaadolie (koeltemperatuur 800°C ; koeltijd 23 sec., die eveneens geldt voor alle volgende krommen, althans indien niet anders is vermeld), dan onderscheidt men duidelijk de volgende drie karakteristieke fasen:

1. Langzame koeling wegens de dampplaat om den kogel. Voor koolzaadolie is deze fase zeer kort, 2 à 3 sec.
2. Zeer snelle koeling tot ongeveer 400°C . Het laagje damp is verdwenen; de warmte wordt gebonden door het koken van de olie.
3. Langzame koeling, door geleiding en stroomingen in de olie, tot ongeveer 150°C .

Het snelle verloop van de twee eerste fasen is van de grootste betekenis. Hierdoor wordt de omzetting van het austeniet bij hoge temperatuur verhinderd. Beschouwt men de kromme voor gewone spindelolie (minerale olie), fig. 9, dan verloopt de eerste fase klaarblijkelijk veel langzamer dan bij koolzaadolie; de duur is namelijk 12—13 sec. Dit moet geringere hardheid in de te harden voorwerpen tot gevolg hebben. Een voordeel van de minerale olie echter is de langzame koeling in de laatste fase, beneden 400°C , daar hierdoor geringere spanning in de werkstukken en dus minder gevaar voor scheurvorming ontstaat.

Niettegenstaande het geringere koelvermogen van minerale oliën, geeft men er in de praktijk dikwijls de voorkeur aan boven plantaardige en dierlijke oliën. De reden hiervan is, dat van deze laatste de samenstelling spoedig verandert door inwerking van de zuurstof der lucht; zij worden dik en kleverig en verliezen hun oorspronkelijk goede koelvermogen. Door oxydatieproeven die werden genomen in aansluiting op de bovengenoemde onderzoeken, hebben wij geconstateerd dat koolzaadolie meer dan zes maal zooveel zuurstof in een bepaalden tijd opneemt als gewone minerale olie. Het is dus niet aan te bevelen op den langen duur dergelijke gemakkelijk verzurende oliesoorten te gebruiken.

Door geschikte keuze van minerale olie als hoofdbestanddeel van de hardingsolie en onder inachtneming van de chemische en thermische eigenschappen van de oliesoorten, is het toch mogelijk hardingsoliën samen te stellen met eigenschappen, welke die van koolzaadolie nabij komen, doch zonder de slechte eigenschappen van deze.

Uitgaande van de bekendheid met de samenstelling van de oliën

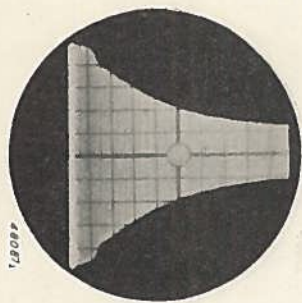


Fig. 7

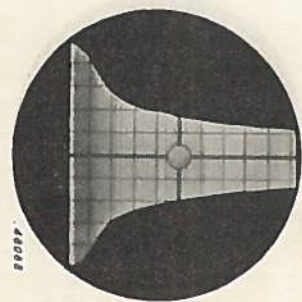


Fig. 8

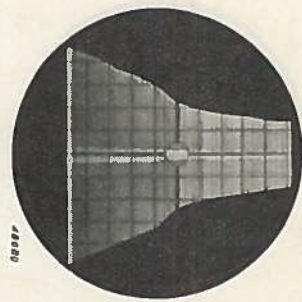


Fig. 9

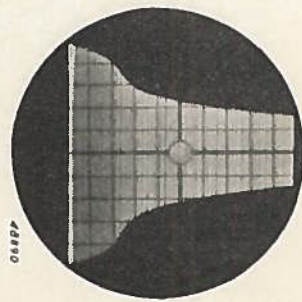


Fig. 10

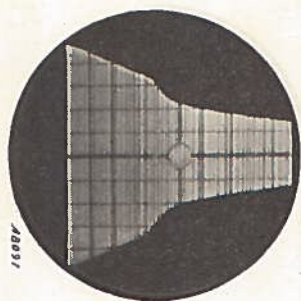


Fig. 11

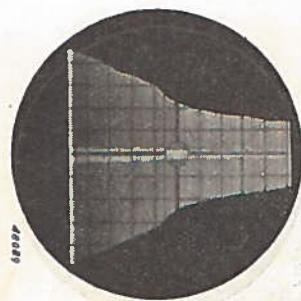


Fig. 12

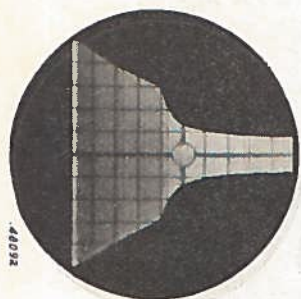


Fig. 13

en na een honderdtal krommen te hebben gefotografeerd, zijn wij erin geslaagd oliën met betere afkoelingskrommen samen te stellen dan tot nu toe bekend waren. Fig. 10 toont de kromme van zulk een soort olie, de hardingsolie Wabo M 41; fig. 11 toont de kromme van een bekende hardingsolie van buitenlandsch fabrikaat. De aandacht zij hier gevestigd op een andere belangrijke omstandigheid. Zooals bekend, dienen hardingsoliën zooveel mogelijk watervrij te zijn. Groote waterdruppels in de olie veroorzaken bij aanraking met het gloeiende staal waterdampbellen op de werkstukken. Daar deze waterdamp bij het in contact komen met de olie niet kan condenseeren, zal een isoleerende laag worden gevormd, waardoor zachte plekken op het oppervlak der werkstukken ontstaan. Dit euvel is in de practijk algemeen bekend. Doch als men afkoelingskrommen van olie, die kleine, fijn verdeelde hoeveelheden water bevat, fotografeert, ziet men dat deze de tweede en de laatste fasen van de koeling ten zeerste beïnvloeden. De fig. 12 en 13 toonen de kromme van dezelfde olie, de eene watervrij, de andere met 0,2% water. Zooals men ziet, veroorzaakt het water heftig koelen tijdens de tweede fase, een koeling die zoo sterk is dat men lager komt dan ong. 150°C , zoodat de temperatuur op het laatste oogenblik practisch constant is. Zulk een sterke koeling is zeer gevaarlijk, en scheuren van de werkstukken is welhaast onvermijdelijk.

Het hier beschreven principe kan eveneens worden toegepast op andere gebieden, waar thermo-electrische of andere zwakke gelijkstroomen moeten worden geregistreerd. Smelt- en hardingskrommen van metalen en zouten, temperatuurvariaties in hardend beton, keteltemperaturen enz., kunnen op eenvoudige en economische wijze worden gefotografeerd. De oscillograaf is een uitstekend hulpmiddel en is veel prettiger in het gebruik dan een snaargalvanometer met lichtvlekregistrering. Ook biedt de oscillograaf zoovele andere toepassingsmogelijkheden, dat de groote industrieën er meestal reeds een bezitten of zich er een met voordeel kunnen aanschaffen.

Ing. Schnell-Larsen van de Svenska Aktiebolaget Philips is ons bij onze onderzoekingen, zoowel practische als theoretische, zeer van dienst geweest.

Tevens is de auteur dank verschuldigd aan de Kon. Academie van Wetenschappen (IVA) voor de betoonde belangstelling en aan de A. B. Wahlén & Block voor de toestemming tot het publiceeren van dit artikel.

ELECTRONISCH METEN

DE TOEPASSING DER MODERNE
ELECTRONISCHE MEETAPPARATEN
IN LABORATORIA EN BEDRIJVEN



AARGANG 1

NUMMER 5



48638

Fig. 1. Het gebruik van trilling-meetapparatuur voor het controleren van centrifuges.

VERBETERDE PRODUCTIE

MET BEHULP VAN

ELECTRONISCHE MEETAPPARATEN

HET GEBRUIK VAN TRILLINGS-MEETAPPARATUUR VOOR HET CONTROLEEREN VAN CENTRIFUGES

Onder de vele toepassingen van de trilling-meetapparatuur, die door Philips werd ontworpen, vonden wij er een ¹⁾ die heel in het bijzonder de aandacht verdient. Het betreft het controleren van centrifuges op hun goede werking met behulp van een Philips trillingopnemer GM 5520, een amplitudemeetkastje GM 5522 en een electronenstraaloscillograaf GM 3156. Elke centrifuge wordt vóór de aflevering aan dit onderzoek onderworpen, waarbij aan de volgende fasen aandacht wordt geschonken.

„ELECTRONISCH METEN” is een geregeld verschijnende publicatie, waarin toepassingen der electronische meettechniek besproken worden. Hierbij wordt bijzondere aandacht geschonken aan de verkregen resultaten; tevens wordt de technische uitvoering der metingen beschreven. Wij beoogen hiermee den bedrijfsleider een indruk te geven van de beteekenis dezer nieuwe meettechniek en hem in staat te stellen de gebruiksmogelijkheden voor zijn eigen bedrijf te bepalen. Nadere gegevens over onze electronische meetapparaten verstrekken wij gaarne op aanvraag.

Het critische toerental bij het aanloopen

Men monteert den trillingopnemer op het huis van de centrifuge, op de in fig. 1 weergegeven wijze en schakelt het amplitudemeetapparaat GM 5522 in den stand „Verplaatsingsmeting”. Op het scherm van den oscillograaf wordt het beeld van de uitwijking, die ontstaat bij toenemende omwentelingsnelheid, waargenomen. Bij het passeeren van het critische toerental vertoont het oscillogram een belangrijke vergrooting van de amplitude.

Door middel van een tachometer wordt het critische toerental vastgesteld (fig. 2). Aldus worden de sterkte van de trillingen bij het critische toerental en de frequentie getoetst aan de controlevoorschriften voor de betreffende centrifuge.

¹⁾ In de „Machinefabriek Reineveld” te Delft (Holland).

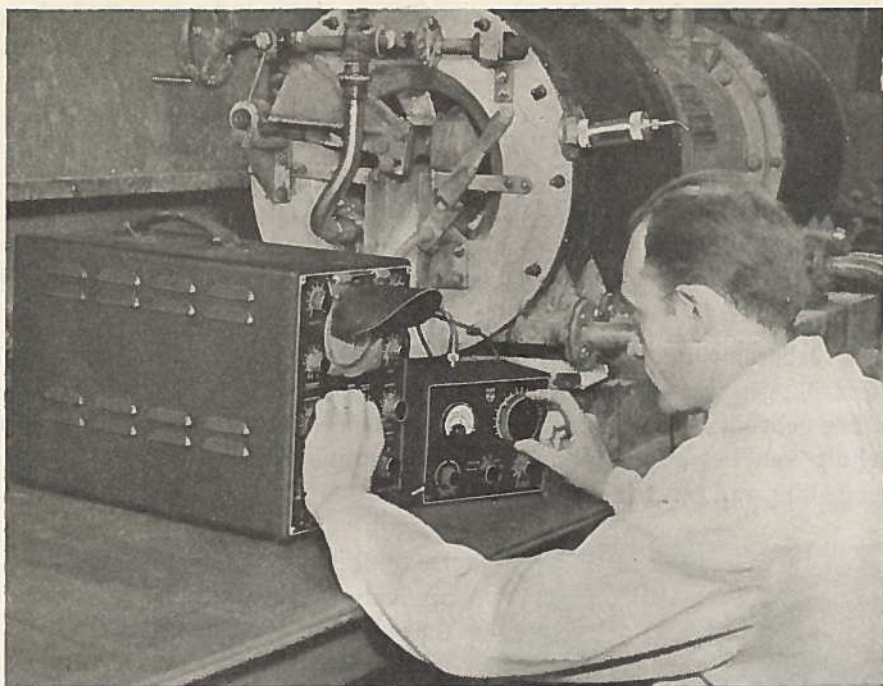


Fig. 2. Het bepalen van het kritische toerental met behulp van de in den tekst omschreven elektronische meetapparatuur.

Het vullen van de centrifuge.

Voor het inbrengen van de te centrifugeeren vloeistof geldt de eisch, dat de snelheid van den vloeistofstroom nagenoeg gelijk is aan de omtrek-snelheid van de trommel waarin de vloeistof stroomt. Deze vloeistof wordt tangentiaal ingebracht. De trilling-meetapparatuur wordt op dezelfde wijze toegepast en opgesteld als boven omschreven. Een eventueel verschil tusschen de snelheid van den toegevoerden vloeistofstroom en de omtrek-snelheid van de trommel is merkbaar door het toenemen van de sterkte der trillingen en dientengevolge door de vergrooting van de amplitude van het oscillogram.

Het „schillen” van de gecentrifugeerde massa in de trommel.

De vaste substantie die zich na het centrifugeeren tegen den trommelwand bevindt, wordt met een snij-inrichting afgeschild. Het mes drukt daarbij tegen den trommelwand. Onjuist instellen van het mes heeft sterke trillingen ten gevolge, welke met behulp van de trilling-meetapparatuur op het scherm van den oscillograaf kunnen worden waargenomen. Aan de hand van de verkregen trillingbeelden kan men het mes dan in zijn juiste stand brengen.

Deze methode van controleeren der centrifuges vóór de aflevering toont aan, op welke nuttige wijze gebruik kan worden gemaakt van de Philips trilling-meetinstrumenten.

Met de aangehaalde voorbeelden is slechts één van de mogelijkheden genoemd, die de Philips trilling-meetapparatuur biedt; uiteraard kunnen vele andere trillingsmetingen met de Philips meetapparaten worden uitgevoerd. Zou men zich echter beperken tot de bovenomschreven contrôle van centrifuges of van de productie van een groote serie van andere gelijksoortige apparaten, waarbij de vorm van de trillingen minder belangrijk is, dan kan zulke contrôle eenvoudig en door niet geroutineerde menschen worden uitgevoerd met den trillingopnemer GM 5520 en den thermionischen voltmeter GM 4132, die dan den oscillograaf GM 3156 vervangt.

Fig. 3. Het bepalen van het toerental met behulp van een tachometer.

Voor laboratoriumonderzoekingen, in het bijzonder indien men ook met trillingen van zeer lage frequenties (kleiner dan 25 Hz) heeft te maken, is het gebruik van den oscillograaf GM 3156 onontbeerlijk en kan met behulp van het amplitude-meetkastje de amplitude, de snelheid of de versnelling van een trilling worden bepaald.



De Philips elektrische trilling-meetapparatuur heeft typische voordeelen ten opzichte van zuiver mechanisch werkende trillingmeters. De begrenzungen, opgelegd aan mechanische trillingmeters houden verband met wrijving in lagers, de massa en de elasticiteit van de hefboomvergrooting. Daardoor liggen de storende eigenfrequenties laag, zoodat de toepassing van mechanische opnemers is beperkt tot het onderzoek van trillingen van lage frequenties; bovendien kan men er moeilijk zwakke trillingen mee meten. Bij de moderne, snel loopende machines kunnen echter zwakke trillingen — met een verplaatsingsamplitude van soms niet grooter dan enkele micron — reeds gepaard gaan met hoogst belangrijke onbalanskrachten. Voor het onderzoeken van deze trillingverschijnselen nu is de elektrische apparatuur onontbeerlijk.

De opnemers van de elektrische apparatuur kan men veel kleiner en lichter construeeren dan de mechanische trillingopnemers, zoodat ook aan betrekkelijk lichte machinedeelen trillingsmetingen kunnen worden

uitgevoerd. Een niet te onderschatten voordeel van elektrische opnemers is, dat men een elektrische spanning met behulp van elektrische schakelingen zeer gemakkelijk kan differentiëren of integreren, waardoor men, al naar de meetopgave dit gewenscht maakt, de verplaatsing, de snelheid of de versnelling kan meten met denzelfden trillingopnemer.

Van de mogelijkheid om met elektrische trilling-meetapparatuur op afstand te meten wordt dankbaar gebruik gemaakt o.a. in het geval van metingen aan groote constructiewerken, bijv. bruggen. Op verscheidene plaatsen worden dan opnemers gemonteerd, die alle hun spanning afgeven aan een centralen waarnemingspost. Ook heeft men wel trillingopnemers permanent gemonteerd op lagers van groote roterende machines, zoodat de toestand van deze lagers op een centraal observatiepaneel voortdurend kon worden gecontroleerd. Het toepassingsgebied van deze Philips trilling-meetapparatuur is zoo uitgebreid, dat het moeilijk is alle mogelijkheden te noemen. Vele toepassingen worden door de gebruikers zelf tijdens het onderzoek ontdekt. Zoo werden bijv. trillingsmetingen verricht aan liften, machines voor de duur-beproeving van gloeilampen, kiezers in telefooncentrales en nog vele andere objecten. In de moderne techniek gaat men steeds meer over tot het electrisch onderzoeken van mechanische trillingverschijnselen, en de hiervoor door Philips ontworpen apparatuur vindt hierbij een steeds breeder toepassingsgebied. Zoo kan de Philips trilling-meetapparatuur belangrijke diensten bewijzen bij velerlei onderzoeken, die tot verbetering van nieuwe constructies moeten leiden. Ook voor het analyseren van ongewone verschijnselen, en ten slotte voor het materiaalonderzoek, is de Philips trilling-meetapparatuur uitermate geschikt.

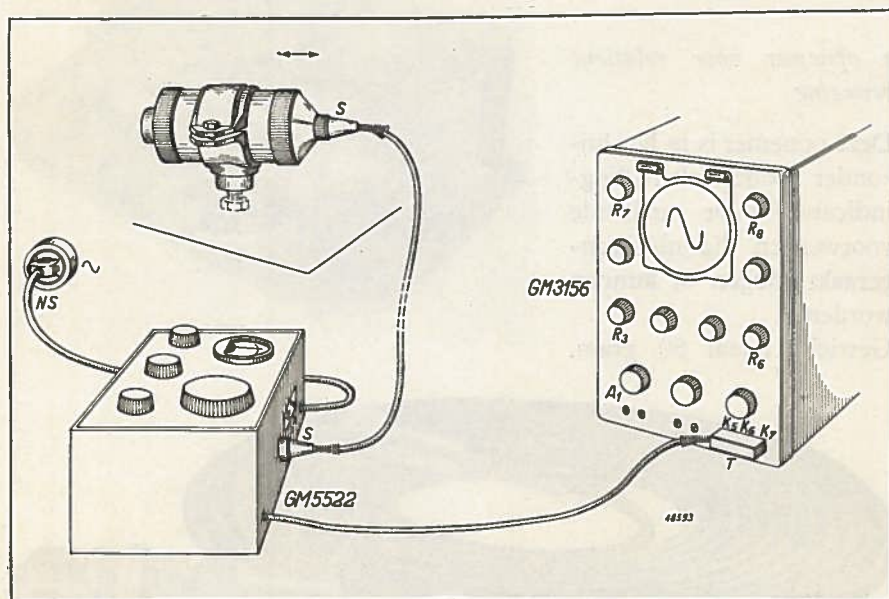


Fig. 4.
Eenvoudige
meetopstelling
voor het meten
van trillingen
met den trilling-
opnemer
GM 5522,
het amplitude-
meetapparaat
GM 3156 en den
electronenstraal-
oscillograaf
GM 3156.

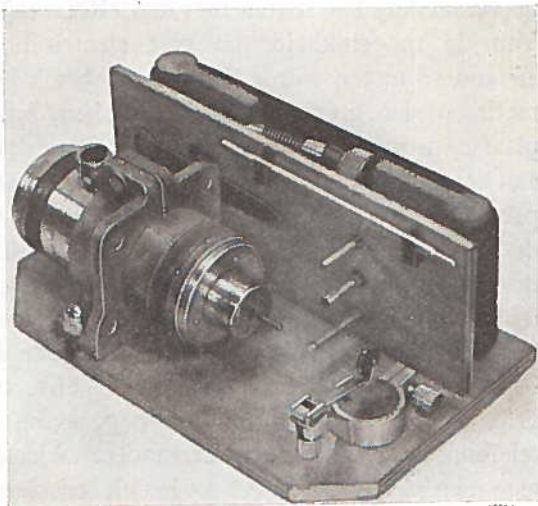
Overzicht van de Philips trilling-meetinstrumenten en bijpassende apparaten

Electrodynamische trillingopnemer voor relatieve beweging

GM 5526

Massa: van het huis 1000 gram, van het beweeglijke deel 10 gram. Geschikt voor het meten van zwakke tot zeer sterke trillingen. Kan gebruikt worden als opnemer voor absolute beweging in de gevallen waarin de trillingen voor den opnemer GM 5520 te krachtig zijn, of indien de massabelasting van het voorwerp door de GM 5520 te groot zou zijn. Constante veerspanning ca. 850 gr. Frequentiegebied, ca. 1 tot 1000 Hz.

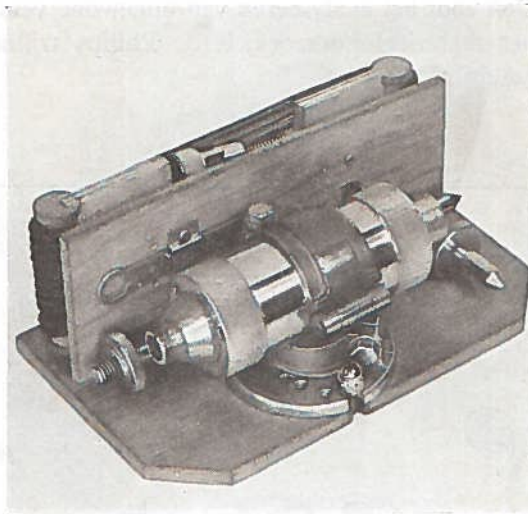
Deze opnemer kan ook worden gebruikt als kleine trillingexcitator.



Electrodynamische trillingopnemer voor absolute beweging

GM 5520

Totale massa ca. 600 gram; eigenfrequentie ca. 12 Hz; halfcritische demping; bruikbaar frequentiegebied ca. 10 tot 1000 Hz.

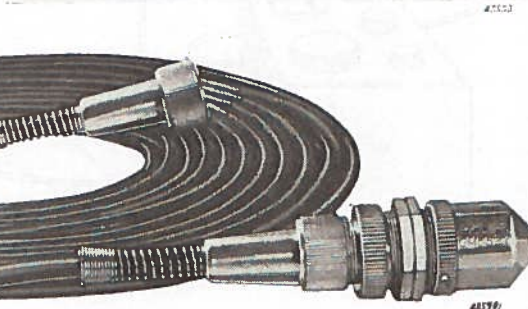


Electromagnetische opnemer voor relatieve beweging

GM 5527

Deze opnemer is in het bijzonder bedoeld als trilling-indicator voor trillende voorwerpen die niet aangeraakt mogen of kunnen worden.

Gewicht totaal 80 gram.



Amplitude-meetapparaat

Dit apparaat wordt gebruikt in combinatie met een der bovenvermelde opnemers en een electronenstraaloscillograaf of een thermionischen voltmeter (GM 4132). Met deze apparatuur kunnen de verplaatsings-, snelheids- en versnellingsamplituden van mechanische trillingen worden gemeten door vergelijking met een in het apparaat verkregen wisselspanning van 50 Hz, waarvan de amplitude kan worden ingesteld tusschen 1 mV en 25 V. Indien met meer dan één opnemer, tot een maximum van vijf opnemers, moet worden gewerkt, kan met behulp van het omschakelkastje GM 5525 snel worden omgeschakeld.



GM 5522

Laagfrequent-electronenstraaloscillograaf

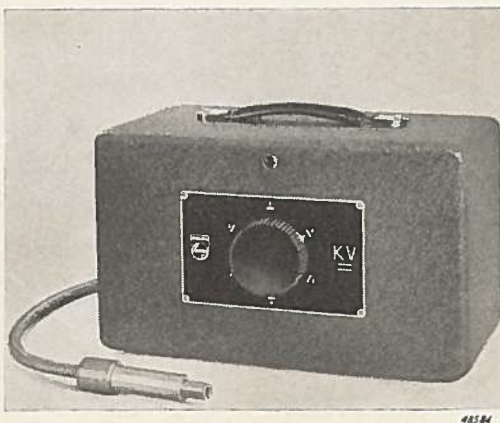
Deze oscillograaf is speciaal ontworpen voor het onderzoeken van laagfrequente verschijnselen. Het frequentiegebied van den verticalen versterker ligt tusschen 0,1 en 10 000 Hz. De maximale gevoeligheid van dezen versterker bedraagt 1 mV eff per cm uitslag op het scherm. De lineaire tijdbasisfrequentie is instelbaar tusschen 0,25 en 2000 Hz. Deze oscillograaf wordt o.a. gebruikt voor het zichtbaar maken van periodieke mechanische trillingen. Ook kan men, met behulp van een ijkspanning, de amplitude, de frequentie, enz. van de trillingen meten. Het registreren, ook van niet-periodieke verschijnselen, is mogelijk met behulp van een camera.



GM 3156

5000 V voedingapparaat

Voor het verkrijgen van een groote lichtintensiteit van het oscillogram kan de electronenstraaloscillograaf GM 3156 worden voorzien van een electronenstraalbuis DN 9/5



GM 4198

met naversnellingsanode. De voor deze buis noodige hoogspanning van 1 tot 5 kV wordt geleverd door het voedingapparaat GM 4198.

Thermionische voltmeter

GM 4132

Dit is een in effectieve waarden geijkte voltmeter met ingebouwden versterker. 10 meetbereiken van 0—0,01 V tot 0—300 V. Frequentiegebied 25 tot 15 000 Hz. Deze voltmeter kan in vele gevallen in de plaats van den electronenstraaloscillograaf als indicator of als meetinstrument worden gebruikt.

Laagfrequent-generator

GM 2307

Met dit apparaat kan een sinusvormige wisselspanning van een frequentie tusschen 30 en 16 000 Hz en een uitgangsvermogen van maximaal 1 V worden opgewekt. Frequentienauwkeurigheid 1 % of 2 Hz (tusschen 30 en 200 Hz). Aanpassing aan 1000 ohm, 500 ohm, 250 ohm, 5 ohm en 25 000 ohm (geijkte verzwakker). Deze laagfrequent-generator kan dienen voor vergelijkende frequentiebepalingen, tevens als wisselspanningsbron voor het opwekken van trillingen met den opnemer. GM 5526 (als excitator).



ELECTRONISCH METEN

DE TOEPASSING DER MODERNE
ELECTRONISCHE MEETAPPARATEN
IN LABORATORIA EN BEDRIJVEN



JAARGANG 1

NUMMER 6



UITGAVE DER N.V. PHILIPS' VERKOOP-MIJ. VOOR NEDERLAND
AFD. MEETAPPARATEN EINDHOVEN

Electronisch Meten in den Tuinbouw



Een nieuwe methode van grondonderzoek

Het scheikundig onderzoek van den grond is voor den land- en tuinbouw van zoo groot belang, dat het reeds vele jaren tot de geregelde taken van het Bedrijfslaboratorium voor Grondonderzoek te Groningen behoort. Dit laboratorium heeft, tezamen met het Rijkslandbouwproefstation en Bodeminstituut, eveneens te Groningen, op dit gebied en inzake de ermee samenhangende problemen van den groei der gewassen, waren pioniersarbeid verricht.

Waren de bemoeiingen van genoemde instellingen aanvankelijk voornamelijk ten behoeve van den akker- en weidebouw, later werden ook onderzoekingen voor den tuinbouw verricht. De belangstelling van deze zijde nam zoo toe, dat werd overgegaan tot het inrichten van laboratoria te Boskoop en Aalsmeer, waar het eenvoudige grondonderzoek geschieden kan. Ook de Proeftuin van het Zuidhollandsche Glasdistrict te Naaldwijk stichtte een laboratorium.

Ter illustratie van de beteekenis van het grondonderzoek moge het volgende dienen. In Nederland is het zoutgehalte van den grond normaal zoo gering, dat de plantengroei er geen schade van ondervindt. Ook bij krachtige

bemesting, die veel z.g. ballaststoffen, die de plant niet opneemt, in den grond brengt, zorgt de neerslag van ons vochtig klimaat voor het oplossen en wegvoeren van het teveel aan deze stoffen. Bij de teelt in kassen echter (die bijv. in Aalsmeer en omgeving veel wordt beoefend) bestaat kans, dat door de jarenlang voortgezette bemesting, waarbij de reguleerende werking van den neerslag ontbreekt, het zoutgehalte van den grond ten gevolge van de opeenhoping van de ballaststoffen, zoo hoog wordt dat de planten er nadeel van ondervinden. Daar een kas, om rendabel te zijn, practisch het geheele jaar door in gebruik moet zijn en de bemesting in den tuinbouw veel intensiever dient te zijn dan bij den akkerbouw, is de kans op verzouting van den grond in de kassen zeer groot. Het is dan ook gebleken, dat minder gunstige resultaten van kasteelt in vele gevallen op rekening komen van het zoutgehalte van den grond. Inderdaad heeft een algemeen onderzoek van den teeltgrond in de Aalsmeersche kassen uitgewezen, dat in 60% der gevallen de grond te zout was.

Voorheen ging men bij het onderzoeken van den grond als volgt te werk. Men trok een grondmonster uit met water. Bij dit procédé gingen oplosbare verbindingen (zouten, humusachtige stoffen) in oplossing; het grootste deel van zulke verbindingen bestaat uit zouten, die afkomstig zijn van de meststoffen of van het gietwater. Het aftreksel werd ingedampt; nadat het water geheel verdampt was, bleven de in het water opgeloste stoffen over. Het totaal der oplosbare verbindingen heet droogrest. Deze droogrest werd gegloeid; de humusachtige bestanddeelen verbrandden en de minerale stoffen bleven over als gloeirest. Om deze gloeirest is het te doen; de hoeveelheid hiervan is de belangrijkste factor bij het beoordeelen van het zoutgehalte van den grond.

Deze methode is, vooral indien regelmatig groote aantallen grondmonsters moeten worden verwerkt, nogal tijdroovend en niet zoo heel eenvoudig. Nu kan men het zoutgehalte van een oplossing ook langs een anderen weg bepalen, nl. door meten van het elektrische geleidingsvermogen. Dit kan op eenvoudige, snelle en betrouwbare wijze geschieden met behulp van de Philips Universeele Meetbrug „Philoscop” in verbinding met de Philips dompelcel voor vloeistofmetingen.

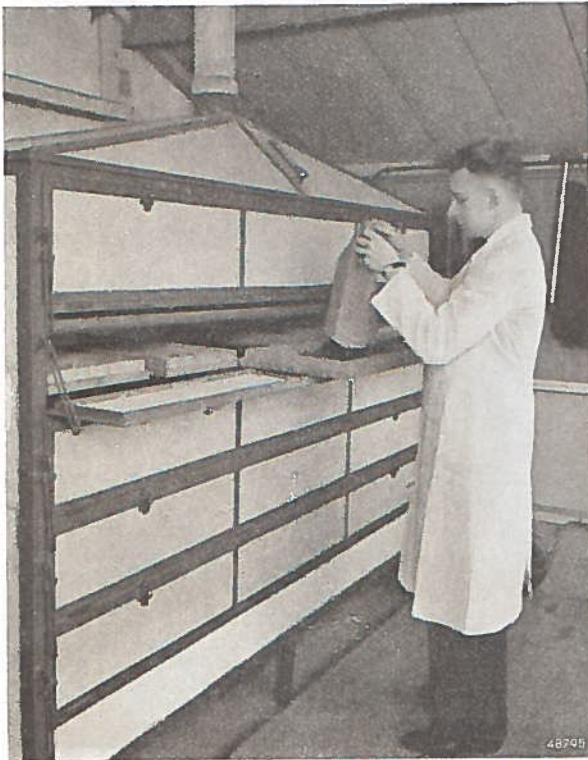
Fig. 2. De grondmonsters worden uit de teeltbakken gestoken.



In de genoemde Rijkslaboratoria wordt voor het grondonderzoek van deze nieuwe methode gebruik gemaakt. Aan een van deze instituten, het laboratorium van den Proeftuin te Aalsmeer, dat onder leiding staat van den Rijkstuinbouwconsulent voor de Bloementeel, danken wij de gegevens voor dit artikel.

Bij de nieuwe werkwijze meet men het electrisch geleidingsvermogen van den grond, d.w.z. het geleidingsvermogen van een waterig extract uit dien grond. Hoe meer zouten dit extract bevat, hoe grooter het geleidingsvermogen. Tijdens het meten is een nauwkeurige temperatuurwaarneming noodzakelijk, daar het geleidingsvermogen sterk afhankelijk is van de temperatuur.

Het met de grondboor getrokken monster wordt gedroogd, gemalen, gezeefd en vervolgens in gedestilleerd water geschud. In het bekersglas wordt een Philips pompcel, type GM 4221, en een thermometer geplaatst. Met behulp van de Philips Universeele Meetbrug „Philoscop”, type GM 4140, meet men dan den weerstand van de vloeistofkolom tusschen de elektroden van de pompcel bij stroomdoorgang. De omgekeerde waarde van dezen weerstand, vermenigvuldigd met de z.g. constante van de cel, die er op staat aangegeven, is het gezochte geleidingsvermogen. In het Bedrijfslaboratorium voor Grondonderzoek te Groningen zijn van een groot aantal grondmonsters het geleidingsvermogen en de gloeirest bepaald, waarbij gebleken is, dat er tusschen deze grootheden een bepaalde betrekking bestaat; deze is in een empirische schaal tot uitdrukking gebracht.



Op deze wijze onderzoekt men tegenwoordig in de kweekrijcentra den kasgrond op zoutgehalte; op grond van de verkregen resultaten adviseert men dan den kweker. Zooals wij hierboven reeds zeiden, is de methode van geleidbaarheidsmeting met de „Philiscop” verre te verkiezen boven de oude gloeirestbepaling. De reden hiervan ligt zoowel in het feit, dat de tusschenbewerkingen van droogdampen en glceien vervallen, gas bespaard wordt en geen porseleinen schaaltes meer kunnen breken, als in de omstandigheid dat de „Philiscop” betrouwbaar, uiterst eenvoudig en snel de verlangde waarden doet kennen. Normaal wordt het bruggedeelte (dus het deel dat een brug van Wheatstone

Fig. 3. De uitgestoken grondmonsters worden gedroogd.

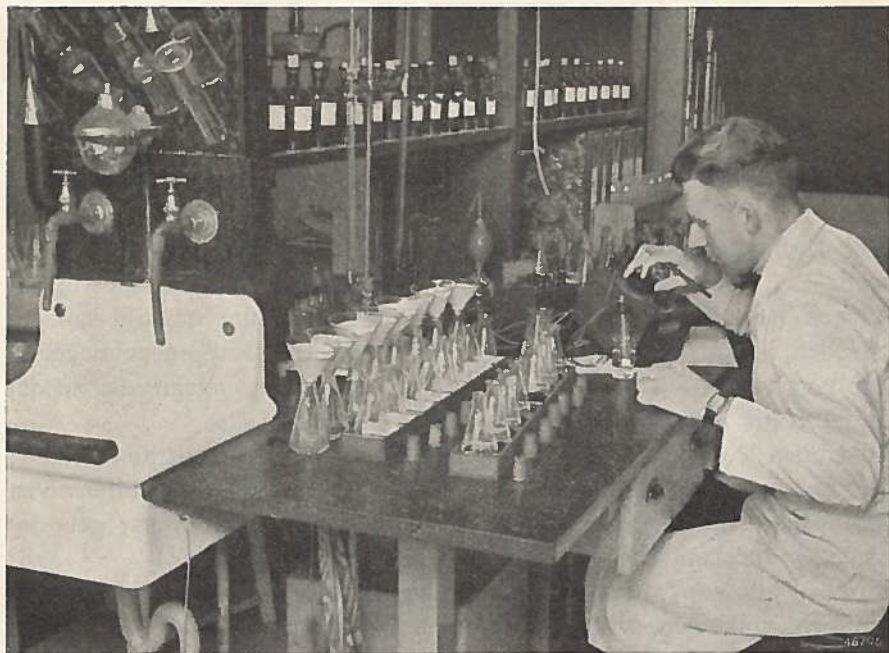


Fig. 4. Met behulp van de „Philoscop”, gebruikt in combinatie met den 1000-perioden oscillator en de meetcel, wordt het geleidingsvermogen van de grondoplossing gemeten.

vormt) door de „Philoscop” gevoed. Bij vloeistofmetingen kunnen echter bij deze lage elektrische voedingsfrequentie polarisatie- en ontladingsverschijnselen optreden. Daarom geeft men er de voorkeur aan vloeistofmetingen met een stroom van hogere frequentie te verrichten. Hiertoe gebruikt men den Philips Oscillator GM 4260. Het bruggedeelte wordt daartoe losgemaakt van den ingebouwden transformator. Men voedt dan de brug door middel van den oscillator GM 4260, door deze op de klemmen van het „Philoscop” apparaat aan te sluiten. Deze oscillator geeft een spanning van 2 V bij een frequentie van 1000 Hz. Hierbij is elke kans op polarisatie in de te meten vloeistof uitgesloten.

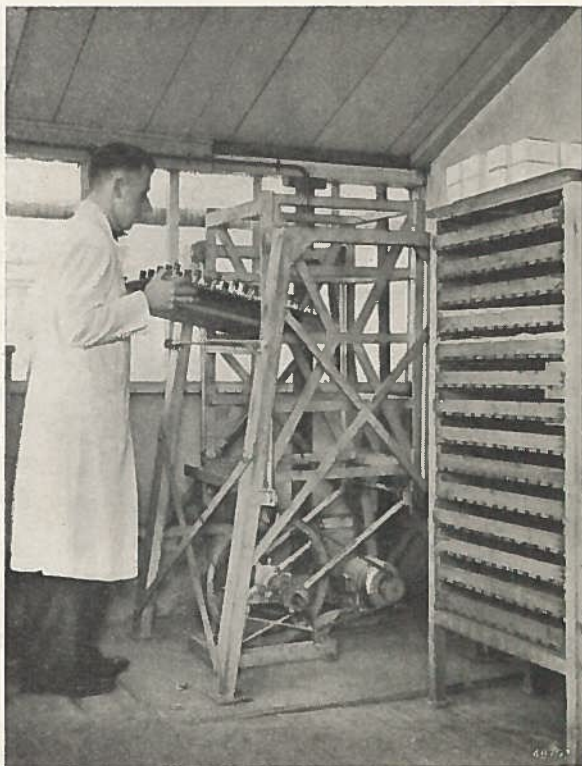


Fig. 5. De verschillende grondmonsteroplossingen worden automatisch geschud.

De Philips „Philoscop” dienstig gemaakt aan de suikerindustrie

Bij uitgebreide proeven in een Nederlandsche suikerfabriek bleek dat de „Philoscop” GM 4140, in combinatie met den 1000-perioden oscillator GM 4260 en de meetcel GM 4221, ook bij uitstek geschikt is voor een snelle en nauwkeurige bepaling van het aschgehalte in suikeroplossingen. Aangezien de bepaling hiervan thans in een minimum van tijd kan geschieden, is een voortdurende controle tijdens het indampproces mogelijk. Zoo noodig kan dus direct tijdens het proces worden ingegrepen, zoodat de fabricatie niet behoeft te stagneeren.

Bovendien leert de practijk dat de resultaten, verkregen uit de metingen met de robuste „Philoscop”, even nauwkeurig zijn als de resultaten van tijdroovende metingen met dure galvanometers, welke uiterst gevoelig zijn voor mechanische schokken.

Bij de „Philoscop” dient als nulpuntinstelling een kathodestraal-indicator, die een volkomen traagheidlooze, derhalve onmiddellijke en daarbij parallaxvrije indicatie geeft, waarop mechanische trillingen of schokken geen invloed hebben.

In de suikerindustrie gaat men ter bepaling van het aschgehalte als volgt te werk :

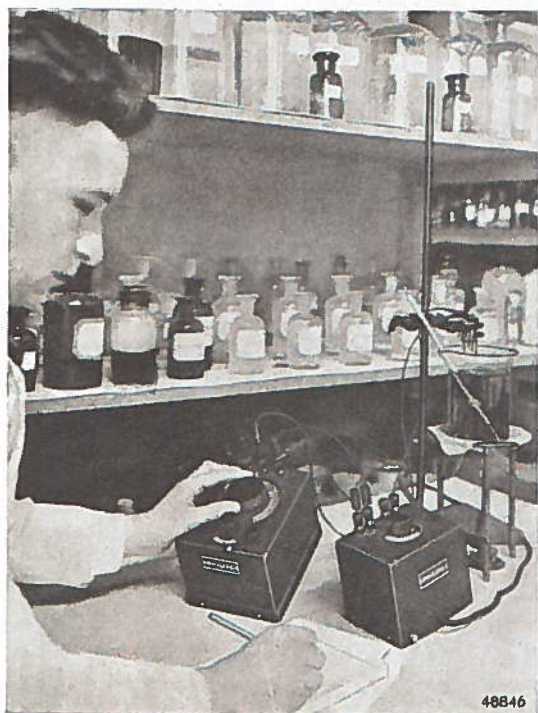
Men weegt 10 g suiker af en lost deze hoeveelheid op in 200 cm³ zuiver gedestilleerd water. Van deze oplossing bepaalt men den weerstand van de temperatuur; bovendien wordt de weerstand gemeten. Hierbij dient echter de meetcel eerst met de te meten vloeistof gespoeld te worden, opdat verontreinigingen worden vermeden.

Voor en na een serie metingen bepaalt men ook den weerstand van het gebruikte gedestilleerde water.

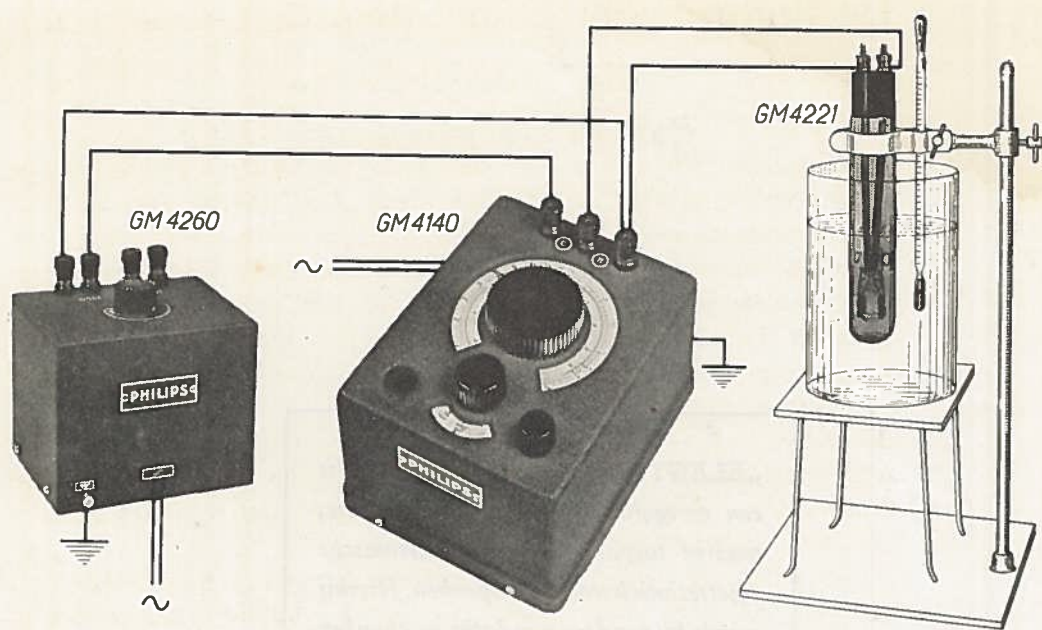
Zooals bekend, bestaat er een bepaalde verhouding tusschen het aschgehalte en de electriche geleidbaarheid van suikeroplossingen. Deze geleidbaarheid wordt gedefinieerd door de formule

$$L = \frac{1}{\text{spec. weerstand}}$$

De specifieke weerstand wordt rechtstreeks



De eenvoudige meetopstelling ter bepaling van het aschgehalte in suikeroplossingen.



Schematische opstelling der boven omschreven Philips meetapparatuur.

op de „Philoscop” afgelezen, waarna, met behulp van de tabellen van Lunden, van de elektrische geleidbaarheid direct het aschgehalte wordt bepaald.

Bij het meten van de elektrische geleidbaarheid van vloeistoffen en oplossingen in het algemeen, kunnen metingen bij de normale netfrequentie (50 of 60 Hz) worden beïnvloed door polarisatieverschijnselen. Daarom is het aanbevelenswaardig bij het meten van vloeistoffen steeds met een voldoende hoge frequentie te werken. Voor dit doel heeft Philips den 1000-perioden oscillator GM 4260 ontworpen, welke aan het bruggedeelte van den „Philoscop” een meetspanning met een frequentie van ongeveer 1000 perioden toevoert.

Op deze wijze is het aschgehalte in suikeroplossingen met een nauwkeurigheid van 0,05% en beter te bepalen.

„ELECTRONISCH METEN” is een geregeld verschijnende publicatie, waarin toepassingen der electronische meettechniek worden besproken. Hierbij wordt bijzondere aandacht geschonken aan de verkregen resultaten; tevens wordt de technische uitvoering der metingen beschreven. Wij beoogen hiermee den bedrijfsleider een indruk te geven van de beteekenis dezer nieuwe meettechniek en hem in staat te stellen de gebruiksmogelijkheden voor zijn eigen bedrijf vast te stellen. Nadere gegevens over onze electronische meetapparaten verstrekken wij gaarne op aanvraag.

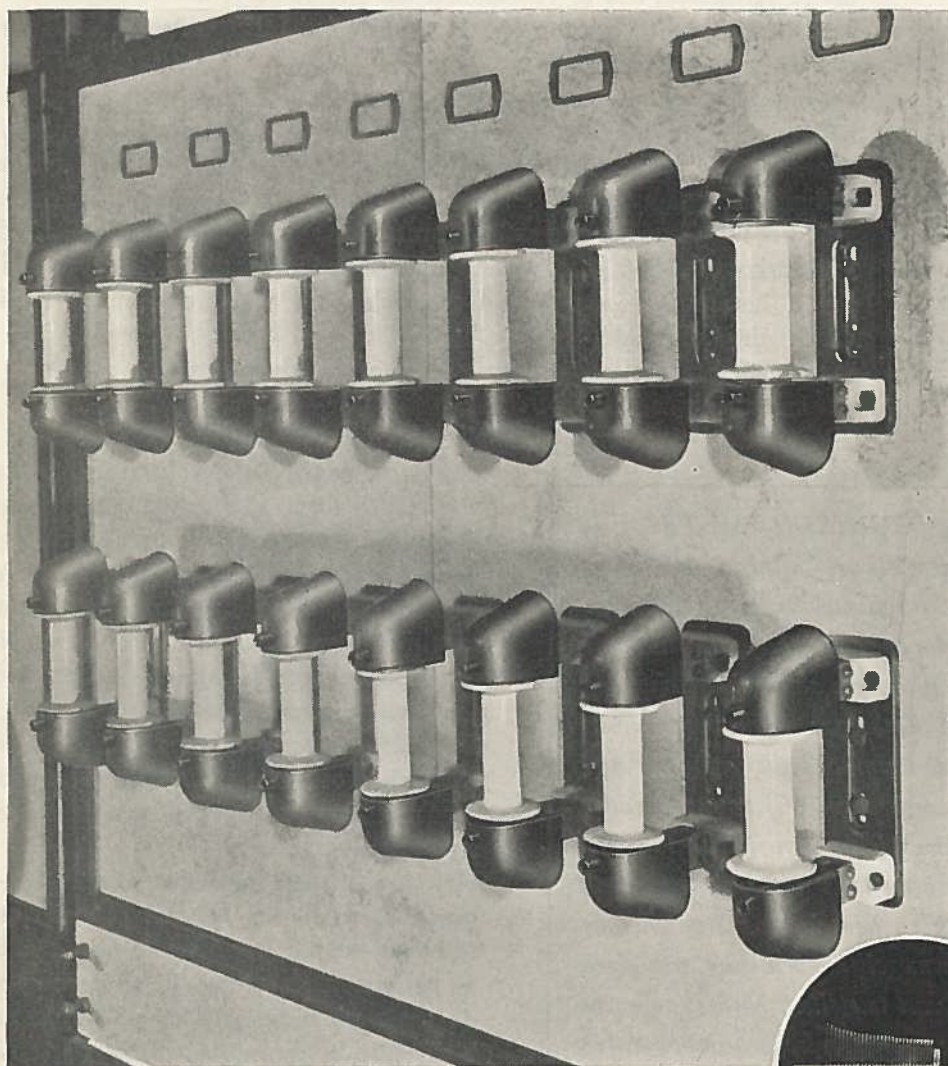
ELECTRONISCH METEN

DE TOEPASSING DER MODERNE
ELECTRONISCHE MEETAPPARATEN
IN LABORATORIA EN BEDRIJVEN

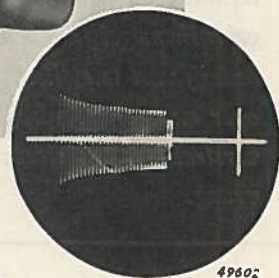


ARGANG 1

NUMMER 7



HET BEPROEVEN VAN
SMELTVEILIGHEDEN MET BEHULP VAN
DEN ELECTRONENSTRAALOSCILLOGRAAF



49602

UITGAVE DER N.V. PHILIPS' VERKOOP MIJ VOOR NEDERLAND
AFD. MEETAPPARATEN, EINDHOVEN

Het beproeven van smeltveiligheden met behulp van den electronenstraaloscillograaf

Als in een gedeelte van een electriciteitsnet een storing optreedt, bijv. een kortsluiting, dan is het noodzakelijk dit gedeelte zoo snel mogelijk uit te schakelen, om te voorkomen dat andere netgedeelten zonder noodzaak buiten bedrijf worden gesteld. Hierdoor wordt tevens het localiseeren van de fout vergemakkelijkt.

De uitschakeling moet betrouwbaar zijn en in alle fasen gelijktijdig plaats hebben. Het gevaar bestaat, dat bij een hevige sluiting alle in de leiding voorkomende veiligheden uitschakelen. Het is derhalve duidelijk, dat deze veiligheden aan bepaalde eischen betreffende den uitschakeltijd moeten voldoen, ten einde het ongewenscht uitvallen van verscheidene veiligheden te voorkomen. Een goed beveiligingssysteem moet dus „selectief” zijn, d.w.z. het moet zoodanig zijn ingericht, dat alleen de defecte leiding wordt uitgeschakeld.

De organen welke deze selectie uitoefenen, kunnen zijn :

1. smeltveiligheden;
2. automatische schakelaars, als max. relais, tijdrelais, enz.

„ELECTRONISCH METEN” is een regelmatig verschijnende publicatie, waarin toepassingen der electronische meettechniek worden besproken. Hierbij wordt bijzondere aandacht geschonken aan de verkregen resultaten; tevens wordt de technische uitvoering der metingen beschreven. Wij hopen hierdoor den bedrijfsleider een indruk te geven van de beteekenis dezer nieuwe meettechniek en hem in staat te stellen de gebruiksmogelijkheden voor zijn eigen bedrijf vast te stellen. Nadere gegevens over onze electronische meetapparaten verstrekken wij steeds gaarne op aanvraag.

Het is belangrijk, dat zoowel de fabrikant als de gebruiker van veiligheden beschikt over de meetapparaten om deze organen zoo nauwkeurig mogelijk te kunnen controleren. Zoolang men te maken heeft met geringe overbelastingen, is de uitschakeltijd van bijv. een smeltveiligheid lang, en kan eenvoudig met een uurwerk worden gemeten.

Bij tijden korter dan één seconde, is deze methode niet meer toe te passen en maakt men met succes gebruik van een electronenstraaloscillograaf.

Het doorsmelten van een veiligheid is te beschouwen als een eenmalig verschijnsel. Men kan het niet periodiek in een snel tempo herhalen. Het op het scherm verschijnende beeld moet dus worden gefotografeerd. Ten einde bij het aldus vastleggen van het beeld goede resultaten te bereiken, worden aan den oscillograaf eenige bijzondere eischen gesteld, en wel :

1. de electronenstraal moet tijdens den rusttoestand kunnen worden onderdrukt ;
2. de oscillograaf moet een eenmalige tijdbasis bezitten, die door een uitwendige impuls kan worden gestart.

De Philips oscillograaf GM 3156 ¹⁾ voldoet aan deze eischen en kan zonder meer voor dit doel worden gebruikt. Tevens bezit dit apparaat een inrichting waarmee op eenvoudige wijze, met behulp van een statief, een foto-toestel voor het scherm kan worden bevestigd. Er wordt dan een licht-dichte afsluiting verkregen, zoodat opnamen in normaal daglicht mogelijk zijn.

Daar, zooals reeds gezegd, de electronenstraal in den rusttoestand kan worden onderdrukt, is het mogelijk achtereenvolgens den sluiters van het foto-toestel te openen, de veiligheid te doen doorsmelten en den sluiters weer dicht te doen, zonder dat overbelichting van de film optreedt. Men zou deze tijdopname het best kunnen vergelijken met het fotografeeren van een bliksemstraal bij nacht.

Gelijktijdig met het inschakelen van den stroom welke door de veiligheid wordt gestuurd, moet de oscillograaf in werking worden gesteld, d.w.z. de tijdbasis moet worden gestart en de kathodestraal een oogenblik vrijgegeven. Dit inschakelen gaat natuurlijk gepaard met tijdverlies, indien men hiervoor gebruik maakt van mechanische middelen. Men kan echter nog met succes relais met snellen schakeltijd (bijv. van eenige milliseconden) gebruiken, indien de tijd van het te meten verschijnsel zelf voldoende lang is t.o.v. den inschakeltijd, zooals in het onderhavige geval bij het meten van smeltveiligheden.

De Provinciale Geldersche Electriciteitsmaatschappij (P.G.E.M.) was zoo welwillend, ons een schema van een dergelijke meetopstelling ter beschikking te stellen (zie fig. 2).

Onder in het schema zien wij het beproevingscircuit van de smeltveiligheid. De kortsluitstroom wordt ingesteld met de beide potentiometers, en gemeten met de stroomtransformatoren S_1 en S_2 . In het meetcircuit vervangt men eerst de te meten smeltveiligheid door een koperen strip, waarna de stroomsterkte waarbij de veiligheid moet doorsmelten, nauwkeurig wordt

¹⁾ Kenmerkende eigenschappen van den GM 3156:

Electronenstraalbuis: DN 9-3 of DN 9-5 (met naversnellingsanode);
scherm diameter 90 mm

Frequentiebereik van den versterker:
0,1 — 10 000 p/s

Gevoeligheid: 1 mV_{eff}/cm

Ingangsimpedantie: max. 2 Megohm

Tijdbasisfrequentie: 0,25 — 2000 p/s

Synchronisatie: intern met meetfrequentie
intern met netfrequentie
extern met willekeurig signaal

Verdere mogelijkheden:
eenmalige tijdbasis
straalonderdrukking
rechtstreeksche plaataansluiting
geheel uit het lichtnet

Voeding:

ingesteld met behulp van ampèremeter A. Tevens kan zodoende de oscillograaf, welke is aangesloten op stroomtransformator S_2 , worden geijkt. Deze ijkstroom is rechts in het oscillogram van fig. 3 zichtbaar. Vervolgens vervangt men de strip door de te meten veiligheid en laat de ingestelde stroom van bekend periodental (50 p/s) doorgaan.

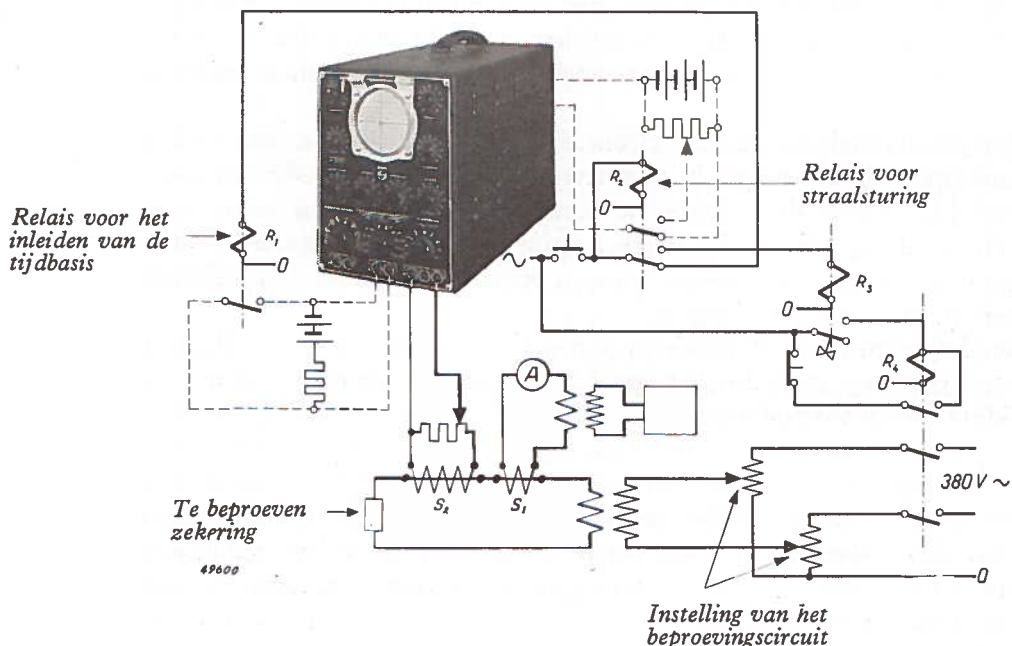


Fig. 2. Schema van de schakeling voor het beproeven van smeltveiligheden, zooals deze bij de Provinciale Geldersche Electriciteitsmaatschappij wordt toegepast.

Het inschakelen van dezen stroom, van de tijdbasis en van den electronenstraal van den oscillograaf geschiedt met relais. Deze zijn zoodanig geschakeld dat de reeds eerder besproken verliestijd geheel kan worden geëlimineerd. Bij het sluiten van de contacten van drukknop „in” worden namelijk eerst de relais (R_1 en R_2) voor de bediening van den oscillograaf bekrachtigd. De negatieve roosterspanning van de electronenstraalbuis wordt gedeeltelijk weggenomen, zoodat de electronenstraal niet langer is onderdrukt, en een van de batterij verkregen spanningimpuls wordt aan de synchronisatieklemmen van den oscillograaf toegevoerd, waardoor de tijdbasis wordt gestart. Het relais R_2 bekrachtigt tevens R_3 , dat op zijn beurt weer stroom stuurt door R_4 , waardoor de hoofdstroom wordt ingeschakeld. Men is er zodoende zeker van, dat het doorsmelten van de veiligheid niet plaats heeft voor de oscillograaf in werking is getreden.

Op het verkregen oscillogram is nu duidelijk het doorsmeltproces te volgen (fig. 3).

De veiligheid bestond uit drie parallel geschakelde zilverdraden. De eerste draad smolt door na 29 perioden, dus na 29/50 seconde. De beide

overige draden smolten 2/50 seconde later, zoodat het geheele verschijnsel zich binnen 31/50 sec afspeelde. Verder blijkt nog uit het oscillogram, dat ook de gedragingen van den stroom tijdens het proces nauwkeurig zijn te volgen. Zoo is bijv. uit het afnemen van de amplitude op te maken de vermindering van den stroom die is te wijten aan het toenemen van den weerstand der draden als gevolg van de verwarming.

Op dezelfde manier kan men ook het verloop van de spanning aan de zekering tijdens het doorsmelten zichtbaar maken.

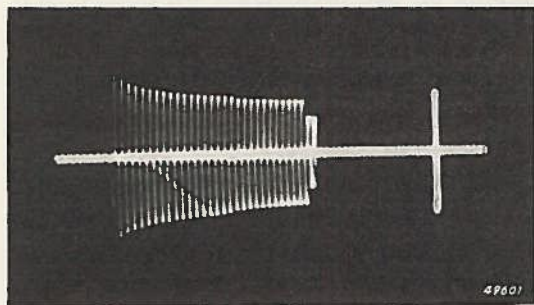


Fig. 3. Oscillogram van het doorsmelten van een veiligheid die bestaat uit 3 zilverdraden. Na 29 perioden werd de eerste draad verbroken en 2 perioden later bezweken ook de beide andere. Rechts in de figuur is de ijkstroom zichtbaar gemaakt.

Niet alleen smeltveiligheden kunnen op deze wijze worden onderzocht, maar ook automatische schakelaars, maximaalrelais en andere beveiligings-apparaten. In alle gevallen waarin men het te meten verschijnsel op een gewenscht oogenblik kan inleiden, kan gebruik worden gemaakt van een dergelijke schakeling met relais.

Moeilijker wordt het registreeren van willekeurig optredende eenmalige verschijnselen. Hierbij moet dan het verschijnsel zelf den oscillograaf in werking stellen en dient men rekening te houden met eenige tijdvertraging, welke afhankelijk is van de schakelsnelheid van de relais.

De lichtsterkte van den oscillograaf is voldoende om met een normale camera (F. 1: 4.5) opnamen te maken. Wil men echter de schrijfsnelheid opvoeren, bijv. voor het zichtbaar maken van zeer snel verloopende details van het oscillogram (spanningstooten door zelfinductie, oscillaties enz.) dan kan men met succes gebruik maken van een speciaal daarvoor geconstrueerde naversnellings-electronenstraalbuis type DG 9-5.

Men heeft hiervoor een extra spanning van enkele kilovolt nodig, welke kan worden betrokken van het Philips 5000 V Voedingapparaat GM 4198.

Registreeren van twee samenhangende eenmalige verschijnselen

Menigmaal komt het in de practijk voor, dat men twee samenhangende eenmalige verschijnselen gelijktijdig op den oscillograaf wil observeeren of fotografeeren.

Hiervoor kan dan zonder eenige verdere moeilijkheid in de schakeling de Philips electronenschakelaar GM 4580 ¹⁾ worden gebruikt.

Betreft het verschijnselen van niet te korten duur (bijv. eenige milliseconden), dan is het gebruik van de hiervoor genoemde naversnelling nog niet noodzakelijk. Bij het gebruik van een electronenschakelaar moet men namelijk rekening houden met het feit, dat er nu voor twee beelden op het scherm van de kathodestraalbuis niet meer lichtsterkte beschikbaar is dan anders voor één, zoodat per beeld de lichtsterkte wordt gehalveerd.

Wij willen hieronder nog een in ons laboratorium verrichte meting aan de bekende Philips „Photoflux” lampen beschrijven. Men interesseerde zich voor het verloop van den stroom door den gloeidraad en het verloop van de lichtsterkte als functie van den tijd, evenals voor het verband tusschen deze twee functies. Men heeft in dit geval weer te maken met eenmalige verschijnselen. (Zooals bekend, kan de lamp slechts eenmaal worden gebruikt).

Hier werd gebruik gemaakt van een electronenschakelaar, waarin de beide verschijnselen worden samengevoegd tot een enkel verschijnsel, waarvan het beginpunt samenvalt met het oogenblik waarop de stroomkring door de lamp wordt gesloten. Het schema van de toegepaste schakeling is weergegeven in fig. 4.

De lichtsterkte van de fotolamp A wordt gemeten met een fotocel B, die is aangesloten op een voedingspanning van 150 volt. Wordt de fotocel door

¹⁾ Kenmerkende eigenschappen van den GM 4580:
Twee identieke versterkerkanalen

Frequentiebereik: 1 — 350 000 p/s

Gevoeligheid: max. 120 mV_{eff}/cm bij aansluiting aan een van de electronenstraalbuizen DN 9—3 of DN 9—5, of aan buizen met overeenkomstige eigenschappen.

Ingangsimpedantie: asym. max. 1 Megohm

sym. max. 2 Megohm

Schakelfrequentie: 2,5 — 40 000 p/s

Verdere mogelijkheden:

afzonderlijke beeldverplaatsing en beeldhoogte-instelling
bruikbaar als generator voor rechthoekige spanningen
geheel uit het lichtnet

Voeding:

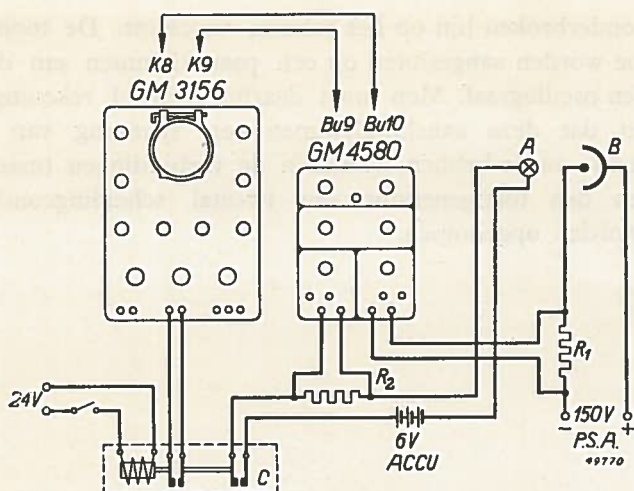


Fig. 4. Schakelschema voor het gelijktijdig registreren van twee eenmalige verschijnselen; in dit geval de stroomtijd en lichtsterkte-tijd karakteristiek van een „Photoflux” lamp.

licht getroffen, dan ontstaat een stroom die evenredig is met de lichtsterkte. Deze stroom doet aan den serieweerstand R_1 spanningvariaties ontstaan die naar den electronenschakelaar worden gevoerd. Op gelijke wijze wordt de stroom door den gloeidraad van de fotolamp gemeten met weerstand R_2 .

De eenmalige tijdbasis van den oscillograaf wordt in werking gesteld met een relais C, dat eveneens met een geringe tijdvertraging de lamp inschakelt.

Voor het verkrijgen van een tijddijking kunnen met behulp van een toongenerator eenige perioden van een bekende frequentie voor of na de opname van het te meten verschijnsel op hetzelfde negatief worden vastgelegd. Dit kan het eenvoudigst geschieden door op een van de beide versterkerkanalen van den electronenschakelaar de output van den toongenerator aan te sluiten en op de zoeven beschreven wijze met het relais de tijdbasis in werking te stellen en den sluiters van het fototoestel te bedienen.

Uit het verkregen diagram (zie fig. 5) kan men nu nauwkeurig het verloop en het afbreken van den stroom door den gloeidraad bestudeeren, terwijl in hetzelfde tijdverband het verloop van de lichtsterkte kan worden gemeten.

De tijddijking kan ook worden verkregen door de electronenstraal met een bekende frequentie te moduleren, waardoor het oscillogram als een

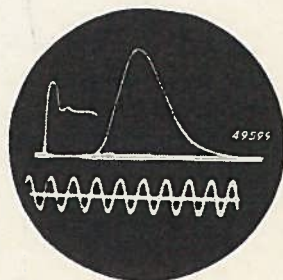


Fig. 5. Oscillogram opgenomen met behulp van de schakeling van fig. 4. De hooge piek in het midden is de lichtsterkte-tijd karakteristiek, terwijl het lijntje links in de figuur het verloop van den stroom met den tijd weergeeft.

regelmatig onderbroken lijn op het scherm verschijnt. De toongenerator moet hiertoe worden aangesloten op een paar klemmen aan de achterzijde van den oscillograaf. Men moet daarbij evenwel rekening houden met het feit dat deze aansluitklemmen een spanning van ongeveer 1200 volt t.o.v. aarde hebben, zoodat in de verbindingen tusschen deze klemmen en den toongenerator een tweetal scheidingcondensatoren dienen te worden opgenomen.



Noot van de redactie: Bij het ter perse gaan van dit nummer was het zetsel reeds in de oude spelling gereed. De volgende nummers zullen vanzelfsprekend in de nieuwe spelling verschijnen.

ELECTRONISCH METEN

DE TOEPASSING DER MODERNE
ELECTRONISCHE MEETAPPARATEN
IN LABORATORIA EN BEDRIJVEN



AARGANG 1

NUMMER 8

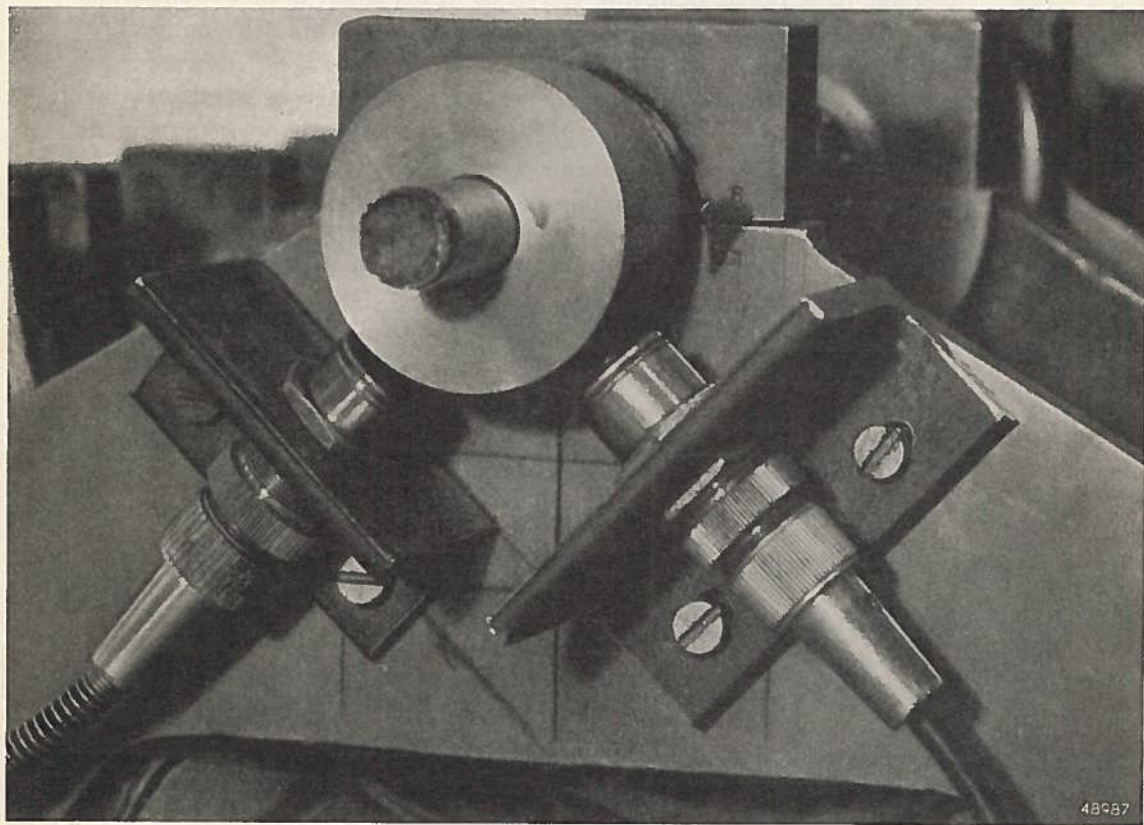


Fig. 1. Opstelling voor het meten van asverplaatsing, met behulp van twee electromagnetische trillingopnemers GM 5527.

HET METEN VAN TRILLINGEN AAN ROTEERENDE DEELLEN VAN MACHINES

Het meten van trillingen aan roteerende deelen van machines

Bij vrijwel alle roteerende deelen van machines treden in de lagers trillingen op, die onder andere hun ontstaan vinden in onbalans van den rotor. Indien de bewegingen ten gevolge van deze oorzaak te groot worden, kunnen zij aanleiding geven tot ernstige beschadiging van de lagers en zelfs van de geheele machine. De levensduur van een lager is immers niet slechts afhankelijk van de belasting en van een goeden olietoevoer, maar ook in sterke mate van de beweging van de as in het lager. Deze beweging kan in sommige gevallen zoodanig zijn, dat zich onmogelijk een ononderbroken oliefilm in het lager kan vormen.

Derhalve laat het zich gemakkelijk begrijpen, dat men er steeds naar zal streven reeds tijdens de fabricage van een machine de oorzaken van de asbewegingen voor zoover mogelijk weg te nemen. Dit wordt o.a. bereikt door de roteerende deelen vóór de definitieve montage in de machine op een z.g. balanceerbank te balanceeren.

Deze methode zal echter niet het gewenschte resultaat opleveren, daar de rotor in de eigen lagers onderhevig is aan verschillende invloeden, die op de balanceerbank niet gereproduceerd kunnen worden, zoodat na montage een volkomen gebalanceerde rotor toch nog bewegingen zal kunnen vertoonen.

„ELECTRONISCH METEN” is een regelmatig verschijnende publicatie, waarin toepassingen der elektronische meettechniek worden besproken. Hierbij wordt bijzondere aandacht geschonken aan de verkregen resultaten; tevens wordt de technische uitvoering der metingen beschreven. Wij hopen hierdoor den bedrijfsleider een indruk te geven van de beteekenis dezer nieuwe meettechniek en hem in staat te stellen de gebruiksmogelijkheden voor zijn eigen bedrijf vast te stellen. Nadere gegevens over onze elektronische meetapparaten worden op aanvraag gaarne verstrekt.

Het zal dus in vele gevallen noodzakelijk zijn metingen te verrichten aan reeds gemonteerde machines, teneinde de aanwezigheid van ongewenschte asbewegingen te kunnen constateren en de oorzaken ervan zoo goed mogelijk na te gaan.

Een dergelijk onderzoek is des te belangrijker, daar het theoretisch onmogelijk is uit de gegeven krachten die op de as werken, te concludeeren welke beweging de as zal maken. Omgekeerd is het echter wél mogelijk uit eenmaal gemeten asverplaatsingen af te leiden, welke ongewenschte (onbalans-) krachten op den rotor werken.

Hieruit komt reeds duidelijk het groote belang van trillingmetingen aan roteerende deelen van machines naar voren. Ter illustratie diene nog dat, zelfs bij zeer goed gebalanceerde turbines, generatoren, electromotoren, ventilatoren en andere sneldraaiende machines met een constant aandrijfkoppel,

ondanks het statische karakter van de belasting, in de lagers een beweging van de as kan ontstaan, die aanleiding kan geven tot ontoelaatbare trillingen.

Gebruikte meetapparaten

Naar gegevens, ons welwillend verstrekt door den Heer N. J. Visser, chef van de afdeling voor Fysisch en Organisch Onderzoek der N. V. Werkspoor te Amsterdam, laten wij hier een beschrijving volgen van een meting van asverplaatsingen, die in het laboratorium van genoemde machinefabriek werd uitgevoerd. Alvorens echter uiteen te zetten hoe zulke metingen worden verricht, willen wij een kort overzicht geven van de hierbij gebruikte apparaten.

a. Trillingopnemers

De Philips trillingopnemers dienen, zooals reeds in Nr. 5 van dit tijdschrift vermeld, voor het omvormen van mechanische trillingen in elektrische wisselspanningen. Dit omzetten geschiedt langs den weg der electromagnetische inductie. De Philips trillingopnemers kunnen in twee groepen worden gesplitst, nl. *electrodynamische* en *electromagnetische*. In principe is de werking van de opnemers der eerste groep (GM 5526) als volgt te verklaren:

In het veld van een permanenten magneet M, die aan het huis van den opnemer is bevestigd, kan een zeer elastisch opgehangen spoeltje S bewegen (zie fig. 2). De bewegingen van het trillende voorwerp worden door middel van een taststift op het spoeltje overgebracht, en hierdoor zal een voortdurende verandering van het door het spoeltje omvatte magnetisch veld optreden.

Ten gevolge van deze veranderingen zal in het spoeltje een wisselspanning worden opgewekt, die volgens de wet der electromagnetische inductie, evenredig is met de *snelheid* van de verandering, dus met de *snelheid* van de verplaatsing van het trillende voorwerp. Ook de opnemers der tweede groep (GM 5527) bevestigen op dit principe, doch hier wordt de verandering van de door het spoeltje S omvatte magnetische flux bewerkstelligd door het voortdurende veranderen van den afstand A tusschen den magneet en het trillende (ferromagnetische) lichaam (zie fig. 3). In dit geval wordt in het nu onmiddellijk op den magneet M gewikkelde spoeltje eveneens een wisselspanning opgewekt, die evenredig is met de *snelheid* van de verplaatsing (dus met $\frac{dx}{dt}$, als we de verplaatsing x noemen).

b. Amplitude-meetapparaat

Daar het bij het onderzoeken van trillingverschijnselen niet voldoende is, dat

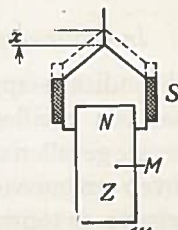


Fig. 2. Schematische voorstelling van het omvormende systeem van den electro-dynamischen trillingopnemer GM 5526.

men de snelheid van de verplaatsing bestudeert en meet, wordt de in den opnemer opgewekte spanning aan een z.g. amplitude-meetapparaat GM 5522 toegevoerd. Dit apparaatje bevat de schakelementen, welke noodig

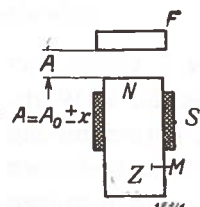


Fig. 3. Schematische voorstelling van het omvormende systeem van den electromagnetischen trillingopnemer GM 5527.

zijn om de door den opnemer geleverde spanning, die evenredig is met de snelheid van de trilling $\left(\frac{dx}{dt}\right)$, naar behoefte om te zetten in een spanning die evenredig is met de verplaatsing (x) of met de versnelling $\left(\frac{d^2x}{dt^2}\right)$ van het trillende lichaam.

De aldus rechtstreeks, na elektrische integratie of na differentiatie verkregen spanningen, worden naar den indicator (oscillograaf of buisvoltmeter) gevoerd, en men verkrijgt dus op het scherm van den oscillograaf of op het aanwijsinstrument van den buisvoltmeter, een uitslag die evenredig is met de snelheid

$\left(\frac{dx}{dt}\right)$ van de verplaatsing, met de verplaatsing (x) of met de versnelling $\left(\frac{d^2x}{dt^2}\right)$.

Het amplitude-meetapparaat kan tevens een ijkspanning leveren, die met behulp van een tweetal knoppen dusdanig kan worden ingesteld, dat op den indicator dezelfde uitslag verschijnt als die, welke werd veroorzaakt door de meetspanning. Uit de instelling van de beide knoppen kunnen op zeer eenvoudige wijze de waarden van de te meten grootheden worden bepaald (o.a. kan de verplaatsing direct in micron worden afgelezen).

c. Indicatie-apparaat

Als indicatie-apparaat kan op den uitgang van het amplitude-meetapparaat een oscillograaf of een buisvoltmeter worden aangesloten. In de meeste gevallen echter zal de kathodestraaloscillograaf de voorkeur verdienen boven een buisvoltmeter, aangezien eerstgenoemd apparaat ons in staat stelt, behalve de topwaarde van de te meten grootheden, ook het verloop ervan als functie van den tijd te bestudeeren. Dit is vooral van belang bij het onderzoeken van den vorm van de optredende trillingverschijnselen, waaruit dikwijls reeds conclusies kunnen worden getrokken aangaande de oorzaken ervan. De Philips kathodestraaloscillograaf GM 3156 is voor dit doel uitermate geschikt, dank zij de hoge gevoeligheid ($1 \text{ mV}_{\text{eff}}/\text{cm}$ beeldhoogte) en het zeer laag beginnende frequentiebereik ($0,1 - 10\,000 \text{ p/s}$) van den ingebouwden versterker, waardoor het geheele gebied der mechanische trillingen wordt bestreken. Een speciale eigenschap van dezen oscillograaf, die bij de te beschrijven proeven naar voren komt, is het feit, dat zich op de achterzijde van het apparaat twee paar aansluitbussen bevinden, die rechtstreeks met de beide paren afbuigplaten van de kathodestraalbuis zijn verbonden. Deze bussen kunnen, afhankelijk van den stand van een viertal contactstrippen, dienen om de op de afbuigplaten staande spanningen van het apparaat af te nemen of om een bepaalde spanning rechtstreeks aan de afbuigplaten toe te voeren.

Bij de N.V. Werkspoor worden de metingen van asverplaatsingen uitgevoerd met behulp van de electromagnetische trillingopnemers GM 5527, en, waar een lichte belasting van de as door rechtstreeksch contact toelaatbaar moet worden geacht, wordt gebruik gemaakt van de electrodynamische opnemers GM 5526. In het laatste geval zijn de verkregen resultaten nauwkeuriger dan bij toepassing van de opnemers GM 5527, daar hierbij de luchtspleet, die tusschen het trillende lichaam en den opnemer bestaat, een rol speelt. Om er zeker van te zijn dat deze luchtspleet geen aanleiding geeft tot vervorming van het op het scherm van den oscillograaf verschijnende beeld, moet men deze ongeveer 5 tot 10 maal zoo groot maken als de amplitude van de te meten verplaatsing.

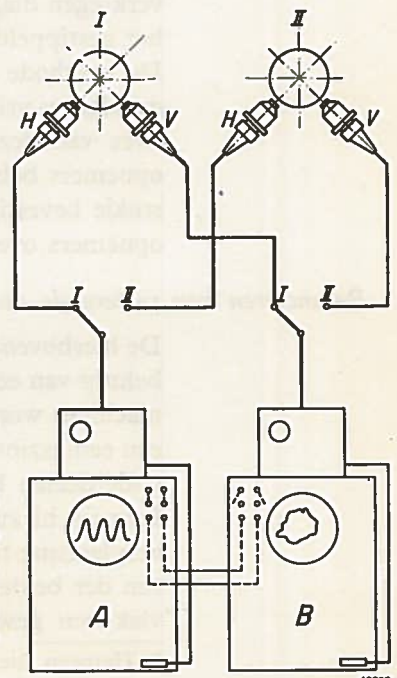
Het schakelschema van de meting is in fig. 4 weergegeven, terwijl de foto op de frontpagina een van de beide aseinden voorstelt. (Ter verkrijging van een zoo juist mogelijk inzicht in de bewegingen van de as, werd de meting namelijk aan beide aseinden gelijktijdig uitgevoerd.)

Op de beide aseinden zijn twee schijfjes, I en II (fig. 4), bevestigd, en op precies denzelfden afstand van elk schijfje zijn twee opnemers (radiaal op de asrichting) gemonteerd, terwijl de hartlijnen een hoek van 90° met elkaar maken.

De door de opnemers H geleverde spanning wordt via een schakelaar aan een amplitude-meetapparaat GM 5522 toegevoerd, en op dezelfde wijze zijn de opnemers V met een ander amplitude-meetapparaat verbonden. Beide apparaten zijn zoodanig ingesteld, dat de door de opnemers geleverde spanningen worden geïntegreerd, zoodat spanningen worden verkregen welke evenredig zijn met de verplaatsing (x). Elk dezer spanningen wordt aan den versterkingang van een oscillograaf GM 3156 toegevoerd. De spanning aan de verticale platen van oscillograaf A wordt echter, via de aansluitbussen achter op het apparaat, toegevoerd aan de horizontale afbuigplaten van oscillograaf B. Hiertoe is, met behulp van de contactstrippen, de verbinding tusschen het tijdbasisapparaat en de horizontale platen van oscillograaf B verbroken. ¹⁾

¹⁾ Het gebruik van twee oscillografen is niet noodzakelijk. Men kan voor het versterken van de spanning, geleverd bijv. door de opnemers H, ook van een afzonderlijken versterker gebruik maken. Men mist dan echter het voordeel van twee identieke versterkers, waardoor verschillen in fasedraaiing de betrouwbaarheid van de verkregen resultaten nadeelig kunnen beïnvloeden.

Fig. 4. Schema van een opstelling voor het meten van verplaatsingen aan twee aseinden tegelijk. De opnemers H zijn, via den versterker van oscillograaf A, met de horizontale afbuigplaten van oscillograaf B verbonden. De opnemers V staan, via den versterker van oscillograaf B, met de verticale afbuigplaten in verbinding. De beide amplitude-meetapparaten zijn zoodanig geschakeld, dat de door de opnemers geleverde spanningen geïntegreerd worden, waardoor spanningen ontstaan die evenredig zijn met de verplaatsing.



Aldus verschijnt op het scherm van oscillograaf A een beeld van de asverplaatsing, geregistreerd door een van de opnemers H als functie van den tijd. Het scherm van oscillograaf B vertoont vergroot een getrouwe weergave van de verplaatsing van de as.

Ten einde te kunnen bepalen op welk oogenblik van de omwenteling de storende invloeden optreden, wil men in het verkregen diagram een bepaald moment van de omwenteling kunnen terug vinden. Om dit te bereiken wordt gebruik gemaakt van een periodische onderdrukking van den kathodestraal, z.g. straalmodulatie.

Met behulp van een contact op de as, dat op een bepaald oogenblik van de omwenteling even wordt gesloten, wordt aan een paar aansluitbussen op de achterzijde van den oscillograaf, zoolang het contact gesloten is, een wisselspanning met een bekende frequentie toegevoerd. Hierdoor wordt tusschen het stuurrooster en de kathode een kort oogenblik een wisselspanning verkregen, en op de tijdstippen dat het stuurrooster negatief is t.o.v. de kathode, wordt de kathodestraal onderdrukt. Het diagram vertoont dus ergens een gestippeld gedeelte, en men weet nauwkeurig met welk oogenblik van de omwenteling dit overeenkomt.

Alvorens de meting te beginnen is het echter nog noodzakelijk de beide versterkers (in dit geval de versterkers van de beide oscillografen) zoodanig in te stellen, dat geen verschillen in fasedraaiing en versterking optreden. Dit instellen kan geschieden met behulp van de ijkspanningen, die door de beide amplitude-meetapparaten kunnen worden geleverd. Men stelt deze spanningen gelijk in en regelt de beide versterkers zoo, dat op het scherm van den oscillograaf B een rechte lijn wordt verkregen onder een hoek van 45° met de horizontale. Fig. 5 geeft een op deze wijze verkregen diagram. De schuine lijn in het midden is de ijklijn; links geeft het gestippelde gedeelte de plaatsmarkeering door het contact op de as aan. De methode die met de electrodynamische opnemers GM 5526 wordt gevolgd, is vrijwel gelijk aan de hierboven beschrevene. In fig. 6 ziet men twee van deze opnemers gemonteerd voor een meting. In de bij deze opnemers behorende klembeugeltjes wordt een zeer licht elastisch sleepstukje bevestigd, dat de radiale asverplaatsingen op de taststiften van de opnemers overbrengt.

Balanceeren van roteerende deelen¹⁾

De hierboven beschreven metingen kunnen zoowel bij het balanceeren met behulp van een balanceerbank als bij het balanceeren van in bedrijf zijnde machines worden toegepast. In het laatste geval moet men echter volgens een eenigszins andere methode tewerk gaan dan wanneer men roteerende onderdeelen balanceert op een speciaal daarvoor ingerichte bank.

Immers, bij zulk een bank gebruikt men zeer slappe lagers, welke gemakkelijk verplaatsing toelaten. Bovendien biedt een balanceerbank de mogelijkheid een der beide lagers vast te zetten; zoodoende kan men in een correctievlak een gewicht aanbrengen dat de trillingen in het tweede vrije lager

¹⁾ Hetgeen hier volgt hebben wij uit een andere bron dan de N.V. Werkspoor.

opheft. Zet men nu het tweede lager vast en herhaalt men de handeling voor een tweede correctievlak, waardoor de trillingen in het eerste lager tot nul worden gereduceerd, dan heeft men meestal snel de juiste plaats en het gewicht van de aan te brengen of weg te nemen massa's gevonden.

Bij een in bedrijf zijnde machine heeft men echter in de eerste plaats te maken met *stijve* lagerconstructies. De verplaatsingsamplituden van deze lagers zullen zelfs bij zeer groote onbalanskrachten uiterst klein zijn. Wil men deze verplaatsingen nauwkeurig kunnen meten, dan zal men gebruik moeten maken van zeer gevoelige, dus elektrische trillingopnemers, als de Philips opnemers GM 5520, GM 5526 en GM 5527. In de praktijk heeft men vrijwel altijd te maken met een combinatie van een statische en een dynamische onbalans.

Onder een statische onbalans verstaat men een massa die excentrisch is geplaatst t.o.v. de omwentelingsas. Deze is gemakkelijk te vinden door den rotor met zoo weinig mogelijk wrijving vrij te laten uitloopen. De ruststand wordt dan gevonden met het „zwaarste punt” onder.

Een dynamische onbalans¹⁾ wordt veroorzaakt door twee gelijke massa's op gelijke afstanden van de as, doch aan weerszijden hiervan en in verschillende radiale vlakken gelegen. De op deze massa's werkende centrifugale krachten veroorzaken een koppel en grijpen aan in de lagers; ten gevolge daarvan treden hier ongewenschte wrijving en slijtage op. De krachten draaien met den rotor mee

en veroorzaken dus trillingen waarvan de frequentie gelijk is aan het toerental. Men kan dus bij het meten van de frequentie van een trillend lager vaststellen of zulke trillingen zijn te wijten aan een onbalans dan wel ontstaan door andere invloeden (trillingen van de fundatie door nabij opgestelde machines). Ten einde gemakkelijk de



Fig. 5. Diagram van een asbeweging. Duidelijk zijn de ijklijnen en het gestippelde gedeelte zichtbaar.

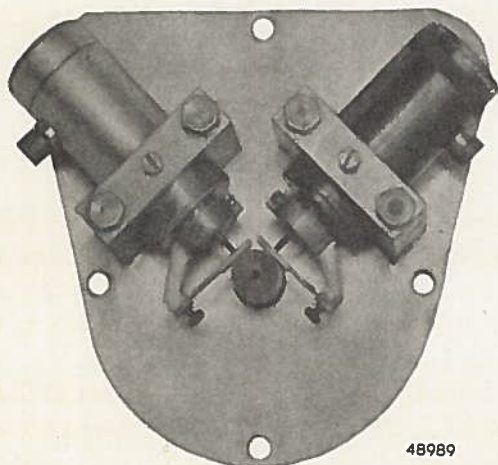


Fig. 6. Twee opnemers GM 5526 gemonteerd voor het meten van asverplaatsing.

¹⁾ Zie ook J. U. de Bruijn: Balanceeren van roterende machines na volledige montage, in „Electrotechniek” 20 (16 October 1942), No. 21, blz. 330

plaats van het aan te brengen correctiegewicht te kunnen vaststellen moet men, zooals reeds vermeld, de *fase* van de verplaatsingsamplitude van het lager kunnen meten, d.w.z. dat men moet weten welk punt van den rotoromtrek overeenkomt met bijv. de maximale amplitude van het beeld dat op het scherm van den oscillograaf zichtbaar wordt. De hierboven beschreven methode om een vast punt van de omwenteling in het diagram vast te leggen biedt nog vele onvolkomenheden, en daarom werd een eenvoudige verstelbare contactinrichting ontworpen, welke op de as wordt geplaatst en periodiek een kleine spanningstoot levert. Deze spanningstoot kan in serie worden geschakeld met de spanning afkomstig van den trillingopnemer, of men kan hiermede de kathodestraal van den oscillograaf moduleeren.

De door Philips ontwikkelde „fase-indicator” GM 5670 voorziet in beide mogelijkheden. Men kan den fase-indicator aansluiten op een paar bussen van het amplitude-meetapparaat GM 5522 dat behoort bij de Philips trillingopnemers, dan wel hem aan de achterzijde van den oscillograaf GM 3156 verbinden met het stuurrooster en de kathode van de kathodestraalbuis. In dit laatste geval dient de spanning van den indicator eerst te worden versterkt.

Men meet nu beurtelings de trillingen op de beide lagers en stelt zodoende de grootte en de fase van de onbalanskracht vast. Door het aanbrengen van proefgewichten in de gekozen correctievlakken en het verrichten van een eenvoudige vectorberekening, worden de gewichten, die uiteindelijk moeten worden aangebracht, bepaald. Men bedenke hierbij dat een gewicht aangebracht in een der correctievlakken invloed heeft op de trilling in beide lagers. Er is dus een soort wederzijdsche beïnvloeding, die de snelheid der meting eenigszins vertraagt.

Na eenige metingen heeft men echter spoedig een snel convergerende methode gevonden, welke in de practijk alleszins blijkt te voldoen.

ELECTRONISCH METEN

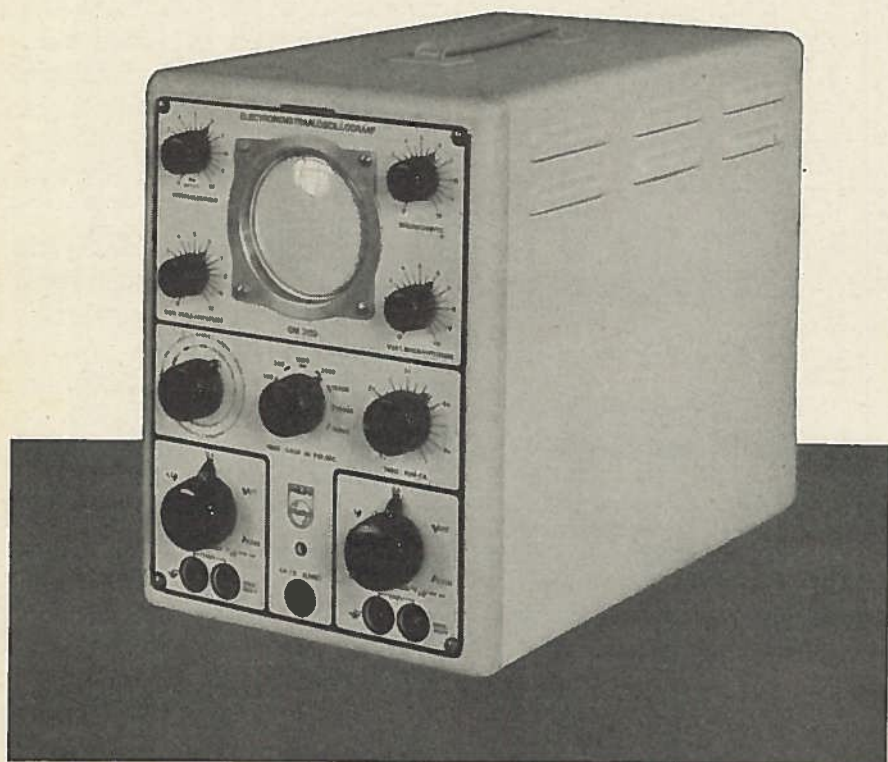
DE TOEPASSING DER MODERNE
ELECTRONISCHE MEETAPPARATEN
IN LABORATORIA EN BEDRIJVEN



ARGANG 1

NUMMER 9

DE NIEUWE OSCILLOGRAAF GM 3159



UITGAVE DER N.V. PHILIPS' VERKOOP MIJ VOOR NEDERLAND
AFD. MEETAPPARATEN, EINDHOVEN

De nieuwe oscillograaf GM 3159

In de industrie gebruikt men tegenwoordig de electronenstraaloscillograaf niet uitsluitend meer voor onderzoekingen in laboratoria. Ook voor de productiecontrôle in fabrieken wordt dit handige instrument steeds meer toegepast.

Hierbij komen de voordelen van de electronenstraaloscillograaf t.o.v. andere typen, lusoscillografen bijv., duidelijk naar voren ; onder andere noemen wij :

1. De mogelijkheid verschijnselen met zeer hoge frequentie (tot 1 Mp/s en hoger) waar te nemen als functie van de tijd, en ze zo nodig fotografisch te registreren.
2. Op het scherm van de electronenstraaloscillograaf verkrijgt men bij kleine ingangsspanningen — in vele gevallen slechts enkele millivolt — grote amplitudes. De als functie van de tijd te observeren verschijnselen behoeven dus slechts in zeer kleine spanningen te worden omgezet.
3. De geringe belasting van de spanningbron. Bij vele oscillografen is de ingangsweerstand van de grootteorde 1 megohm, zodat slechts een uiterst geringe stroom wordt afgenomen.

„ELECTRONISCH METEN” is een regelmatig verschijnende publicatie, waarin de electronische meettechniek wordt besproken. Hierbij wordt bijzondere aandacht geschonken aan de apparaten en de ermee verkregen resultaten; tevens wordt de technische uitvoering der met deze apparaten uitgevoerde metingen beschreven. Wij willen aldus een indruk geven van de betekenis dezer nieuwe meettechniek en van de mogelijkheden harer toepassing in laboratoria en bedrijven. Nadere gegevens over onze electronische meetapparaten worden gaarne verstrekt op aanvraag.

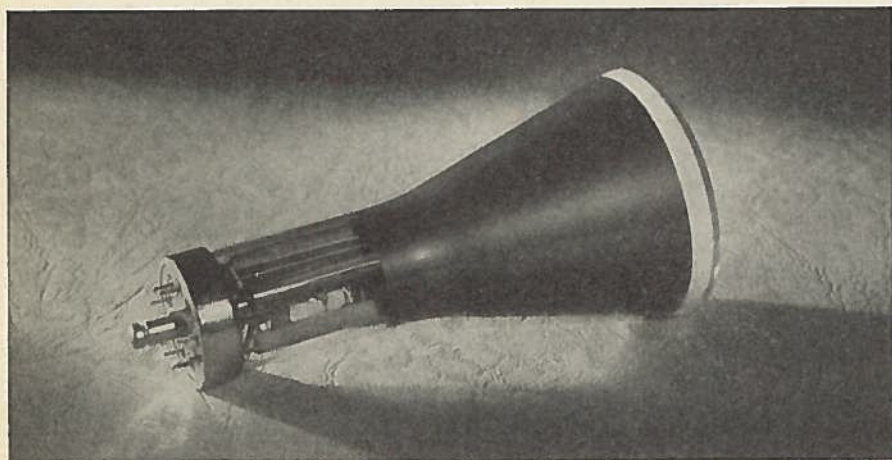
4. De grote mechanische sterkte en ongevoeligheid voor schokken. Daardoor zijn voor het gebruik en het transport van de electronenstraaloscillograaf geen bijzondere voorzorgmaatregelen nodig. Mechanisch zijn deze apparaten zelfs belangrijker sterker dan normale wijzerinstrumenten.
5. De onverwoestbaarheid van de electronenstraaloscillograaf bij het weerstaan aan te hoge spanningen. Indien per ongeluk een onevenredig hoge spanning op de ingangsklemmen terecht komt, kan in het ernstigste geval slechts een weerstand worden beschadigd ; deze is met weinig kosten te vervangen.

Dank zij deze voordelen, heeft de electronen-

Inhoud:

De nieuwe oscillograaf GM 3159 — Signalering van overspanningen in electriciteitsnetten met behulp van het relaisbuis-schakelapparaat GM 4801.

straaloscillograaf zijn plaats in de industrie als laboratoriuminstrument en als uiterst waardevol hulpmiddel bij de productie veroverd. Tot dusverre heeft Philips twee hoofdtypen oscillografen gebracht, een voor hoogfrequentonderzoek (tot 1 Mp/s) en een voor laagfrequentonderzoek (0,1 — 10 000 p/s). Beide typen zijn uitgerust met een electronenstraalbuis met een schermdiameter van 9 cm, en beide zijn ontworpen om het beste te presteren op het gebied waarvoor deze apparaten zijn bestemd. Er bestaat ook grote behoefte aan apparaten van lagere prijs met kleinere afmetingen en geringer gewicht dan die van bovenbedoelde hoofdtypen. Deze behoefte aan apparaten van lagere prijs spruit voort uit de wens om, behalve laboratoriummetingen, ook in de industrie routinemetingen op grote schaal te kunnen verrichten. Daar hiervoor grote aantallen oscillografen nodig zullen zijn, speelt de prijs een belangrijke rol. Toch moeten ook voor industrieel gebruik de hoge eisen die aan de kwaliteit van de oscillograaf zijn gesteld gehandhaafd blijven.



*Fig. 1
De nieuwe electronenstraalbuis DG 7-3 met bodem van geperst glas en vlak scherm.*

Ook voor demonstratiedoeleinden in scholen, technische onderwijsinrichtingen en hogescholen, alsmede voor proeven bij het technisch onderwijs, is er grote behoefte aan een apparaat dat goedkoper is dan die welke tot nu toe zijn uitgekomen. Technisch gezien, dient zulk een oscillograaf zeer veelzijdig te zijn, wat betreft de mogelijkheden van toepassing. Wij zullen thans overgaan tot het beschrijven van een nieuwe Philips oscillograaf, de GM 3159, waarmee getracht is aan de gestelde eisen te voldoen. Een voor een zullen de markante eigenschappen van dit nieuwe apparaat in het kort worden besproken.

De electronenstraalbuis

De genoemde wensen ten aanzien van lagere prijs, kleinere afmetingen en geringer gewicht konden worden vervuld door de ontwikkeling van de nieuwe oscillograaf te koppelen aan de ontwikkeling van een nieuwe electronenstraalbuis met een schermdiameter van 7 cm, type DG 7-3. De verbeteringen in deze buis t.o.v. de vroegere 7 cm buizen zijn :

- a. grotere punt- en lijnscherpte ;
 - b. veel geringere beeldfouten (astigmatisme en trapeziumvervorming sterk afgenomen) ;
 - c. mindere vervorming aan de rand van het scherm ;
 - d. geringere elektrische beïnvloeding van de deflectieplaten onderling.
- Deze verbeteringen resulteren in een veel fijnere en zeer lichtheldere oscillogramlijn; zij werden o.a. verkregen met een vlakker scherm. Hierdoor zijn zeer fijne details van het oscillogram nog zichtbaar en kan meer oppervlakte van het scherm voor het oscillogram nuttig worden gebruikt. De nieuwe buis DG 7-3 is voorzien van de voor radiobuizen ontwikkelde glazen bodemconstructie, welke tot het bereiken van de genoemde verbeteringen heeft bijgedragen.

De versterkers

De GM 3159 is voorzien van twee versterkers met gelijke versterking. De ene versterker dient voor het sturen van de straal in verticale richting, de andere voor het sturen in horizontale richting. Iedere versterker geeft een maximale versterking van $500 \times$. Hiermede wordt voor verticale afbuiging een max. gevoeligheid van $25 \text{ mV}_{\text{eff}}$ per cm beeldhoogte, en voor horizontale afbuiging een max. gevoeligheid van $35 \text{ mV}_{\text{eff}}$ per cm bereikt. Het frequentiegebied van deze versterkers is afhankelijk van de stand van de continuverzwakker ; het strekt zich voor de versterker voor verticale afbuiging (Y-versterker) uit van 5 tot 100 000 p/s op de stand van grootste gevoeligheid van deze potentiometer, en van 5 tot 800 000 bij een verzwakking van $5 \times$.

De faseverschuivingen in de versterkers zijn gelijk en verwaarloosbaar klein tot een frequentie van 10 000 p/s. De aanwezigheid van twee versterkers maakt het mogelijk frequentie- en faseverschuivingsmetingen te verrichten. Tot 10 000 p/s kan men dus zonder enige voorzorgsmaatregelen faseverschuivingsmetingen uitvoeren.

De tijdasgenerator

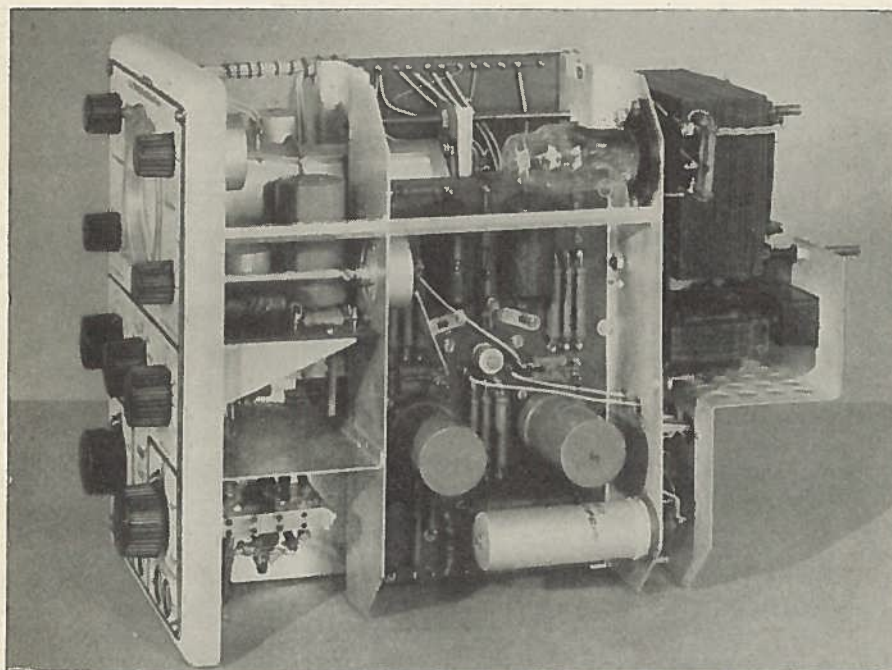
De tijdasgenerator levert een periodieke zaagtandvormige spanning, waarvan de frequentie kan worden ingesteld tussen 10 en 160 000 p/s. Deze tijdasfrequentie kan naar keuze worden gesynchroniseerd met de frequentie van de te onderzoeken periodieke spanning, met de frequentie van het net of met de frequentie van een willekeurige spanning. Een eenmalige tijdbasis is echter niet aanwezig. De synchronisatie werkt automatisch, d.w.z. men behoeft de koppeling met de te onderzoeken spanning niet meer te regelen ; de synchronisatie is uitstekend tot 1 Mp/s. Gedurende de terugloop is de electronenstraal automatisch onderdrukt ; deze onderdrukking kan op eenvoudige wijze worden opgeheven. Voor de tijdbasis kan men ook een willekeurige periodieke spanning gebruiken door deze aan de ingang van de versterker voor horizontale afbuiging (X-versterker) te leggen.

Instelling van het beeldpunt

Door de grote nauwkeurigheid van centreren van het electrodensysteem in de buis, is een horizontale of verticale regeling van de nulstand van het beeldpunt op het scherm overbodig geworden.

Periodieke straalonderdrukking

Tussen een daartoe aanwezige klem en de massa kan een wisselspanning worden aangelegd voor periodiek onderdrukken van de straal; deze spanning moet ongeveer 20 V bedragen. De klem is via een condensator verbonden met de Wehnelt cylinder van de electronenstraalbuis ¹⁾. Een voordeel van de schakeling van de nieuwe oscillograaf is, dat de Wehnelt cylinder niet op een hoge negatieve potentiaal t.o.v. de massa ligt.



*Fig. 2.
De electronen-
straaloscillo-
graaf GM 3159
buiten de kast.
Men ziet dui-
delijk de vak-
werkbouw van
het chassis en de
verdeling van het
apparaat in
eenheden.*

Directe aansluiting op de afbuigplaten

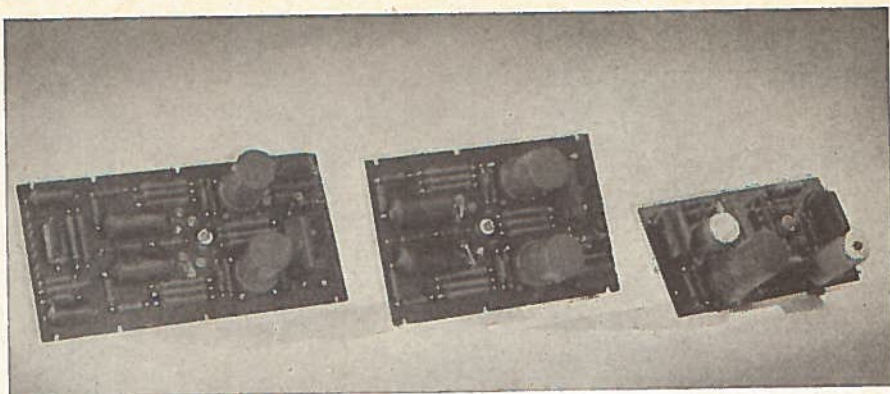
Men kan de te onderzoeken spanningen ook direct op de afbuigplaten aansluiten. Dit is o.a. van belang als men met behulp van de elektronische schakelaar GM 4580 twee verschijnselen gelijktijdig op het scherm zichtbaar wil maken. Men gebruikt dan niet meer de Y-versterker van de GM 3159, maar de twee versterkers in de elektronische schakelaar, die beurtelings in- en uit- worden geschakeld.

Mechanische opbouw

Deze oscillograaf is volgens geheel nieuwe inzichten geconstrueerd. Het apparaat bestaat uit een vakwerk van stalen platen (zie fig. 2). Hierdoor

¹⁾ De Wehnelt cylinder is een electrode in de electronenstraalbuis, waarmee men de sterkte van de electronenstraal kan regelen.

Fig. 3.
Van links naar
rechts de beide
versterkereenhe-
den en de tijd-
basiseenheid.



is het gesplitst in verscheidene onderling goed afgeschermden delen. Om de ontwikkelde warmte zo goed mogelijk af te voeren, zijn horizontale schotten, die de natuurlijke luchtstroming zouden belemmeren, zoveel mogelijk vermeden. Het inwendige van de oscillograaf is door twee metalen wanden in drieën verdeeld. In het middelste compartiment zijn ruggelings de twee versterkers aangebracht; beide zijn op een hardpapieren paneel gemonteerd (fig. 3). In deze platen zijn pennen van vertind messing geperst, waaraan enerzijds de elektrische onderdelen en anderzijds de bedrading is gesoldeerd. Deze laatste is hierdoor zeer kort, terwijl zij tevens, evenals de onderdelen, goed gefixeerd is. Aldus zijn hinderlijke capaciteitsveranderingen door verschuiving vermeden. Uit het oogpunt van fabricage heeft de gevolgde bouwwijze het voordeel, dat de eenheden van te voren kunnen worden gemonteerd en gecontroleerd. Ten slotte zij hier nog vermeld de verbeterde *magnetische afscherming van de elektronenstraalbuis*. Hiervoor dient een koker van een metaal

met een hoge permeabiliteit (μ -metaal). De afschermfactor — gedefinieerd als de verhouding van de magnetische veldsterkte buiten de koker tot die er binnen — bedraagt 500; het gewicht van deze koker is slechts 130 g (bij vroegere uitvoeringen van gietmetaal was het gewicht 600 g en de afschermfactor 12). Dank zij de verbeterde afscherming, kan men de nieuwe oscillograaf GM 3159 gebruiken in ruimten met vrij sterke magnetische velden.

Fig. 4.
De nieuwe elec-
tronenstraalos-
cillograaf GM
3159, compleet
met voordeksel
ter bescherming
van het voorpa-
neel bij transport



De afmetingen van deze oscillograaf zijn: lengte 38 cm,
 breedte 21 cm,
 hoogte 28 cm ;

zijn gewicht bedraagt 14 kg.

Ten einde beschadiging van het voorpaneel met de knoppen en het scherm gedurende het transport te vermijden, is het apparaat aan de voorzijde voorzien van een beschermdeksel, dat zeer eenvoudig en snel kan worden verwijderd (fig. 4).

Het apparaat is zodanig uitgevoerd dat het geschikt is voor de tropen.

SIGNALERING VAN OVERSPANNINGEN IN ELECTRICITEIT-NETTEN MET BEHULP VAN HET RELAISBUIS-SCHAKEL-APPARAAT GM 4801

Een interessante toepassing van dit apparaat¹⁾ is het signaleren van overspanningen in voedingsnetten. Het kan voorkomen dat spanningstoten van zeer korte duur optreden, welke noch door direct afleesbare,

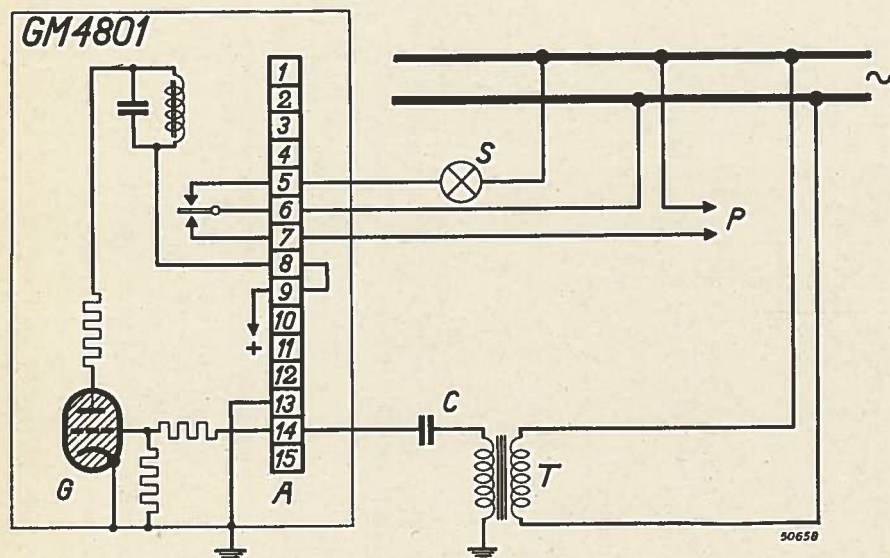


Fig. 1.
 Schakeling van het relaisbuis-apparaat GM 4801 voor het signaleren van overspanningen op netten.

A = aansluitstrip

S = signaallamp, gevoed door de netspanning

T = transformator

P = verbinding naar af te schakelen apparatuur (max. 1 A, 250 V)

G = gastriode (relaisbuis)

¹⁾ In „Electronisch Meten” Nr. 2 vindt men een korte beschrijving en een afbeelding van de GM 4801.

noch door registrerende voltmeters kunnen worden aangetoond. Deze spanningpieken kunnen, zo niet gevaarlijk, dan toch zeer hinderlijk zijn in een bedrijf. Het is zeker wenselijk te beschikken over een installatie welke kwetsbare apparatuur direct afschakelt en (of) door middel van een licht- of geluidsignaal waarschuwt als spanningstoten in het net optreden, zodat men maatregelen kan treffen tot het opheffen van de storing.

In fig. 1 is aangegeven op welke wijze het relais moet worden geschakeld. Ten einde het apparaat van het net te isoleren, wordt gebruik gemaakt van een scheidingstransformator.

Het apparaat wordt via een condensator van $0,1\mu\text{F}$ verbonden met de secundaire wikkeling van deze transformator, welke wikkeling bij nominale netspanning een spanning van ongeveer 7 V moet geven. De primaire wikkeling moet worden ontworpen in overeenstemming met de netspanning waarvan de overspanning moet worden gesignaleerd. Met behulp van de instelknop R_1 binnen in het schakelapparaat¹⁾ kan de schakeling zodanig worden geregeld, dat een overspanning van meer dan 20% van de nominale spanning wordt gesignaleerd; een impuls van 1/10 000 seconde is reeds voldoende om het relais te doen aanspreken.

Als signaalapparaat kan een elektrische lamp, bel of claxon worden gebruikt. Het signaal houdt aan tot door het indrukken van een drukknop het circuit een ogenblik wordt onderbroken, waarna de alarmering stopt en de schakeling gereed is om opnieuw op overspanningen te reageren. De schakelaar A_1 ¹⁾ van de GM 4801 wordt in de stand = A gebracht, terwijl de klemmen 8 en 9 van de aansluitstrip moeten worden doorverbonden. Het ingebouwde relais is in staat een stroom van 1 A bij 250 V te schakelen (250 watt).

Moet apparatuur van groter vermogen worden afgeschakeld, dan laat men het apparaat een magnetische schakelaar bekrachtigen, welke de hoofdstroom onderbreekt.

¹⁾ Zie de gebruiksaanwijzing van dit apparaat.

ELECTRONISCH METEN

DE TOEPASSING DER MODERNE
ELECTRONISCHE MEETAPPARATEN
IN LABORATORIA EN BEDRIJVEN



AARGANG 1

NUMMER 10

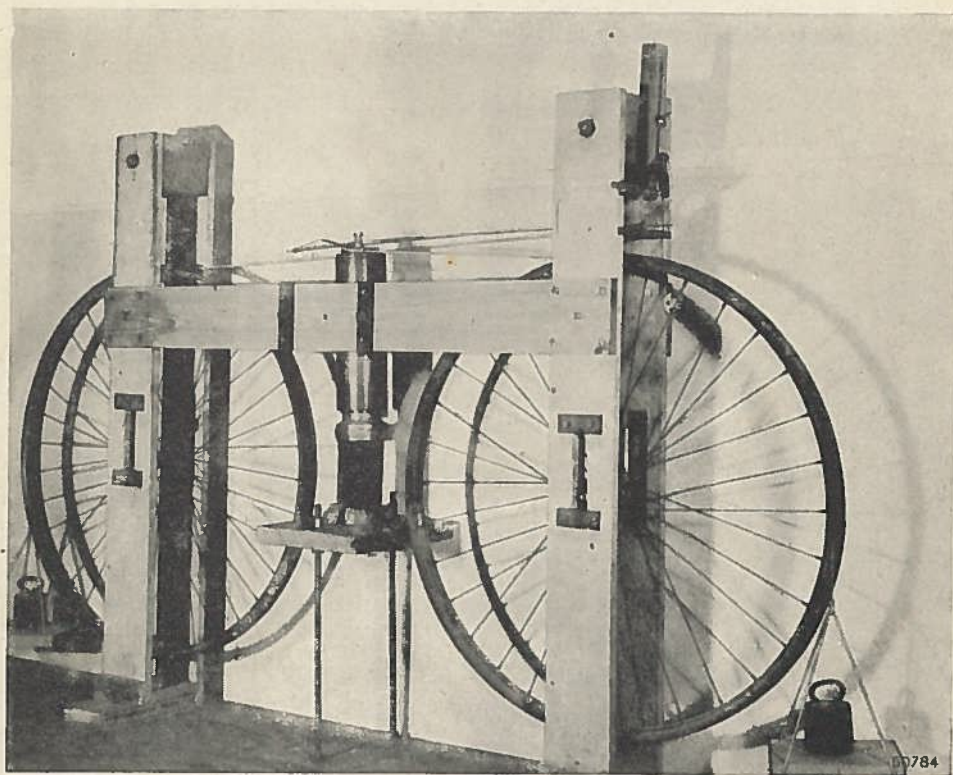


Fig. 1. Archaisch torsiemeetapparaat waarmee een grondmonster werd getordeerd en bepaalde bodemeigenschappen werden afgeleid.

De Philips trilling-meetinstrumenten, gecombineerd met de electronische meetapparaten, als oscillograafen versterker-voltmeter, vormen zeer waardevolle hulpmiddelen bij het technisch-wetenschappelijk onderzoek. In dit nummer wordt het bodemonderzoek met deze instrumenten beschreven, een studie welke ongetwijfeld grote belangstelling zal vinden.

Philips trilling-meetapparatuur en bodemonderzoek

Het is met zeer veel waardering dat wij van het Laboratorium voor Grondmechanica te Delft de medewerking verkregen voor de publicatie in „Electronisch Meten” van een artikel over het gebruik van elektronische meetapparatuur bij het grondonderzoek, in casu van de trilling-meetapparatuur, welke Philips levert in combinatie met de oscillograaf voor laag-frequente verschijnselen. Uit het hier gepubliceerde artikel blijkt eens te meer welke veelzijdige mogelijkheden de oscillograaf bij het technisch-wetenschappelijk onderzoek biedt. Vele van deze onderzoeken vertegenwoordigen grote economische belangen ; dit geldt in het bijzonder voor het bodemonderzoek.

Wat is „grondmechanica”, resp. bodemonderzoek? ¹⁾

Bij het lezen van de namen grondmechanica en bodemonderzoek zal men onwillekeurig denken aan „geologie”. Het betreft hier echter verschillende takken van wetenschap. De geoloog houdt zich bezig met de aarde in haar geheel, ten aanzien van haar samenstelling en wijze van ontstaan. De grondmechanicus daarentegen besteedt zijn aandacht aan de allerbuitenste schil onzer planeet. Hoewel hij zich uiteraard voor geologische problemen interesseert, is geologie voor hem toch niet van primair belang.

„ELECTRONISCH METEN” is een regelmatig verschijnende publicatie, waarin de elektronische meettechniek wordt besproken. Hierbij wordt bijzondere aandacht geschonken aan de apparaten en de ermee verkregen resultaten; tevens wordt de technische uitvoering der met deze apparaten uitgevoerde metingen beschreven. Wij willen aldus een indruk geven van de betekenis dezer nieuwe meettechniek en van de mogelijkheden harer toepassing in laboratoria en bedrijven. Nadere gegevens over onze elektronische meetapparaten worden gaarne verstrekt op aanvraag.

De grondmechanica stelt zich ten doel na te gaan welke eigenschappen de bodem heeft ten aanzien van deformaties die het gevolg zijn van het op of in de grond plaatsen van bouwconstructies, kunstwerken e.d. Het zal de lezer duidelijk zijn, dat de dikte van de bodem waarmee de grondmechanicus zich bezig houdt, kan worden uitgedrukt in tientallen meters. De dieper gelegen formaties nemen in de meeste gevallen geen deel aan vervormingen ten gevolge van kunstmatig opgebrachte belastingen, als bijv. gebouwen, sluizen, bruggen, dijken e.d. De eigenschappen van de bodem, waarop in het voorgaande werd gedoeld,

INHOUD.

Electronen en grondmechanica — Het meten van zeer kleine capaciteiten met behulp van de toongenerator en de versterker-voltmeter.

¹⁾ Dit overzicht danken wij aan de auteur van het hier volgende artikel.

zijn in hoofdzaak mechanische, welke evenwel een chemisch-physische achtergrond kunnen hebben.

Met opzet wordt hier niet gesproken van elasticiteiteigenschappen, daar zij voor het betreffende materiaal dermate van de gebruikelijke elasticiteitsbetrekkingen afwijken, dat het woord elasticiteit in de grondmechanica niet kan worden gebezigd.

Het is nodig de mechanische eigenschappen in het laboratorium te onderzoeken, vooral ten aanzien van samendrukking en afschuiving, welke beide processen een zeer gecompliceerd karakter kunnen hebben.

Voor zulk onderzoek worden in het algemeen op verschillende diepten monsters uit het terrein genomen, ten einde hierop verschillende proeven te verrichten.

Ook de vastheid van de bodemlagen moet worden bepaald, om, bijvoorbeeld, te kunnen aangeven welke lengte heipalen moeten hebben, opdat geen catastrophale verzakkingen zullen optreden.

Hiertoe wordt een staaf, die aan het ondereind is voorzien van een stalen conus, in de bodem gedrukt, waarbij dan op regelmatige diepten de indringingsweerstand wordt geregistreerd (zie de nevenstaande fotografie). Een dergelijke terreinproef noemt men „sondering”

Indien de mechanische eigenschappen der diverse bodemlagen bekend zijn uit laboratoriumproeven, is het mogelijk te berekenen hoe groot bij een bekende belasting de te verwachten verzakkingen — „zettingen” genaamd — zullen zijn.

In vroeger jaren werd aan het bodemonderzoek niet de nodige aandacht besteed, met het gevolg dat vele ongelukken zijn te wijten geweest aan een onvoldoende kennis van de bodemgesteldheid.

Dergelijke ongelukken gaven ook veelal aanleiding tot het instellen van een onderzoek; in de loop der jaren is dan ook het inzicht in hetgeen in de bodem gebeurt aanmerkelijk verbeterd. Een en ander heeft tot gevolg gehad dat heden in Nederland, bij het projecteren van een werk vrijwel steeds van te voren het advies wordt ingewonnen van het Laboratorium voor Grondmechanica te Delft.

Eerst worden ter plaatse de nodige boringen en sonderingen verricht: het terreinonderzoek. Dan volgt het laboratoriumonderzoek op grond waarvan het advies wordt gegeven.

Uit het bovenstaande zal het de lezer duidelijk zijn, dat de „grondmechanica” een zeer belangrijke plaats in de techniek is gaan innemen. In hetgeen nu volgt zal worden geschetst hoe de electronische meettechniek deze wetenschap meer en meer heeft geperfectionneerd.

Fig. 2. Apparaat waarmee op regelmatige diepten de weerstand registreert, die bij het indringen in de bodem wordt ondervonden door een staaf welke aan het ondereinde is voorzien van een conus.



Electronen en Grondmechanica

door

H. J. OOSTERBEEK Jr.

Medewerker van de afdeling Speurwerk van het Laboratorium
voor Grondmechanica te Delft

1. *Inleiding*

Electronen en grondmechanica zijn twee begrippen die uiteraard ver uiteenlopen, doch uit het onderstaande moge blijken, dat electronische meetinstrumenten ook in de grondmechanica hun toepassing hebben gevonden en vrijwel onmisbaar zijn geworden.

Vroeger werden met — men mag wel zeggen — zeer primitieve hulpmiddelen proeven van uiteenlopende aard uitgevoerd, zoals meestal het geval is als een wetenschap zich nog in statu nascendi bevindt. Veel is intussen veranderd ; met behulp van elektrische apparaten worden bijvoorbeeld verplaatsingen gemeten met een nauwkeurigheid waar vroeger niet aan kon worden gedacht. Kathodestraaloscillograaf, strain gauges (rekstrookjes), buisvoltmeter en toongenerator werden uitgevonden en worden thans met veel succes ook voor het grondonderzoek gebruikt.

Als men een dergelijk instrumentarium ziet en er mee werkt, komt weldra onwillekeurig de wens naar voren elk onderzoek met elektrische hulpmiddelen uit te voeren.

De grondmechanicus wenst, naast de methode van terreinonderzoek door middel van sonderingen en grondboringen, een andere, snelle wijze om eigenschappen van diverse bodemlagen te bepalen. Langzamerhand is het verlangen gegroeid te beschikken over een methode, met behulp waarvan men op snelle en eenvoudige wijze een terrein kan onderzoeken met betrekking tot gelaagdheid, zonder daartoe grote penetraties te moeten verrichten. Ook een ander probleem was het voorwerp van onderzoek geworden, namelijk dat der bodemtrillingen. Hoe plant een mechanische trilling zich in de grond voort, hoe verloopt haar amplitude met de afstand, en op welke wijze kan men doelmatig het euvel der bodemtrillingen bestrijden? Dit zijn vragen welke de bouwpraktijk heeft opgeworpen, en het was de grondmechanicus die hierop een antwoord moest kunnen geven. Het vermijden van trillingen in bouwconstructies kan van groot belang zijn, vooral in de gevallen waarin in een gebouw of een gedeelte daarvan precisie-apparatuur is opgesteld, welke voor trillingen zeer gevoelig kan zijn. Kortom, het probleem der bodemtrillingen had de aandacht van het Laboratorium voor Grondmechanica te Delft, en in het kader van het desbetreffend onderzoek werden dan ook terreinproeven genomen, waarbij gebruik werd gemaakt van een trilmachine, van de Philips trillingopnemer (GM 5520), de Philips amplitude-ijkkast (GM 5522) en de Philips kathodestraaloscillograaf (GM 3156).

2. Bodemonderzoek met trillingmeetapparatuur

De trilmachine, die een sinusvormige trilling opwekt, wordt op een ge-laagd terrein geplaatst. Deze machine brengt dus het terrein in trilling (zij werkt met roterende massa's). Met behulp van een trillingopnemer en de bijbehorende apparatuur meet men de amplitude van de trilling als

amplitude

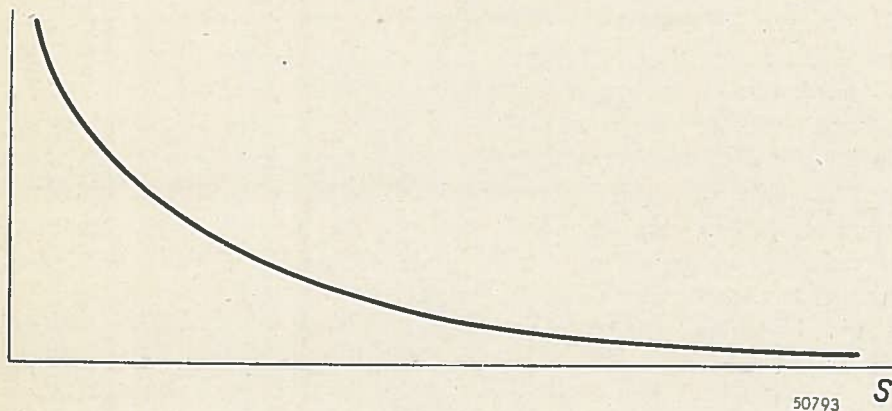


Fig. 3. Het te verwachten verloop van de amplitude der bodemtrilling met de afstand S van de trilling-excitor.

functie van de afstand tot de trilmachine. Men zou dan redelijkerwijze kunnen verwachten, dat het verloop van de amplitude van de trilling met de afstand kan worden weergegeven door een kromme van de gedaante als in fig. 3.

amplitude

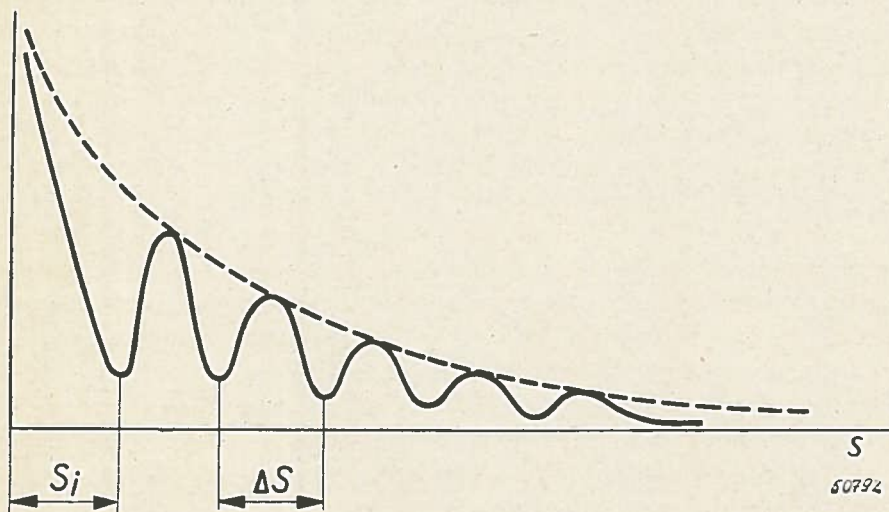


Fig. 4. Het zich in werkelijkheid voordoende en gemeten verloop van de amplitude van de bodemtrilling als functie van de afstand S van de excitor.

ΔS = afstand tussen twee minima van de constante periode van het amplitudeverloop als functie van de afstand van de excitor.

S_i = afstand tussen het eerste minimum van het amplitudeverloop en de excitor.

Echter is gebleken, dat zich een eigenaardig verschijnsel pleegt voor te doen. De kromme daalt namelijk niet monotoon, doch vertoont periodiek optima (fig. 4) met een constante periode ΔS .

In de desbetreffende literatuur vinden wij publicaties van de instelling „Degebo” (Deutsche Forschungsges. für Bodenmechanik), waar ook dergelijke meetresultaten worden genoemd. Kwalitatief zijn deze metingen minder goed, hetgeen vooral geweten moet worden aan de onvolmaaktheid van de gebruikte meetapparatuur.

De periode, welke bij onze metingen constant bleek, is bij de Degebo metingen veranderlijk; evenwel is het golvende verloop zeer duidelijk. In de loop van 1946 werden met behulp van dezelfde meetapparatuur nog enkele metingen uitgevoerd door de Bataafse Petroleum Maatschappij. De resultaten werden ons ter bestudering toegezonden; zij bleken hetzelfde golvende verloop te vertonen. Hier zij aan bovengenoemde instelling dank gebracht voor het ter beschikking stellen van deze resultaten, daar zij ertoe hebben geleid dat een diepgaand onderzoek naar de verklaring van het „golfverschijnsel” werd ingesteld, met vérstrekkende gevolgen. Het mocht ons gelukken niet alleen de verklaring voor het verkregen amplitudebeeld te vinden, doch tevens leidde deze studie tot een geheel nieuwe bodemonderzoekingsmethode, welke tot heden zeer goede resultaten heeft opgeleverd. De relatieve maxima en minima ontstaan namelijk door interferentie van golven die zich langs de oppervlakte en golven die zich door de onderlagen voortplanten.

Het is hier niet de plaats om zich te verdiepen in theoretische beschouwingen; resumerend kan echter worden gezegd, dat de plaats der „ups en downs” wordt bepaald door de diverse laagdikten en de voortplantingssnelheden in de lagen, en dat de onderlinge afstand der „ups en downs” alleen afhangt van de voortplantingssnelheden in de grondsoorten en van de trillingfrequentie.

3. De practische uitvoering van het trillingonderzoek in het terrein

In de praktijk komt deze onderzoeksmethode dus hierop neer, dat met behulp van een trillingopnemer, het amplitude-ijkkastje en een oscillograaf, de amplitude wordt gemeten op verschillende afstanden van de trillingbron. De trillingopnemer wordt met de korte verlengstift in de grond vast gezet. Vanaf de trillingbron (excitatormachine, zie fig. 5) wordt een meetband uitgelegd, en langs deze band wordt op afstanden van ongeveer

een halve meter de amplitude bepaald. De frequentie van de trilling kan worden bepaald, hetzij onmiddellijk met behulp van de kathodestraaloscillograaf, door middel van de dan als bekend veronderstelde tijdbasis-frequentie, dan wel met behulp van een toongenerator (door Lissajous figuren); beide bepalingsmethoden zijn zeer snel (in fig. 6 wordt de frequentie bepaald door het toerental van de excitator te meten.)

Fig. 5. Trilling-excitator welke is gebaseerd op centripetaalkrachten van roterende massa's. Deze excitator wordt aangedreven door een benzine-aggregaat.



Ook is het noodzakelijk de voortplantingsnelheid te bepalen bij een relatief hoge frequentie (≈ 50 Hz), hetgeen op eenvoudige wijze geschiedt door middel van twee trillingopnemers, welke op de verticale, resp. horizontale afbuigplaten der kathodestraalbuis zijn aangesloten. Tussen de opnemers wordt een zodanige onderlinge afstand genomen, dat het oscillogram een eenvoudige Lissajous figuur vormt. Uit deze afstand volgt dan de



voortplantingsnelheid. Indien de voortplantingsnelheden en frequentie bekend zijn, kan men met behulp van eenvoudige formules de dikten der onderliggende lagen bepalen.

Gebleken is dat men voor het verhogen van het meettempo met vrucht gebruik kan maken van een Philips versterker-voltmeter GM 4132 voor het bepalen van de amplitude; inderdaad is de wijzeruitslag van deze voltmeter direct evenredig met deze grootte. Men zou met deze voltmeter kunnen volstaan, ware het niet dat men voortdurend moet controleren of de trilling zuiver sinusvormig is, en hiervoor heeft men de kathodestraal-oscillograaf nodig, welke deze vorm reproduceert. Voorts is gebleken dat een voldoende graad van nauwkeurigheid wordt verkregen indien de trillingfrequentie wordt bepaald door middel van de daarvoor aangebrachte inrichting van de kathodestraaloscillograaf (de tijdbasis). De uitrusting van een dergelijke meetgroep bevat dus een kathodestraaloscillograaf (type GM 3156), één of twee trillingopnemers (GM 5520), een versterker-voltmeter (GM 4132), alsmede een voedingkabel of generator welke de noodzakelijke spanning levert.

Fig. 6. Het bepalen van de trillingfrequentie door middel van het toerental van de trillingexcitator.

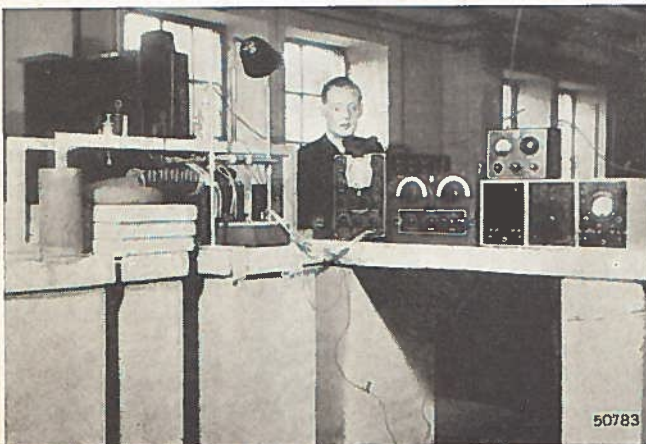
4. Practische ervaringen opgedaan met het bodemonderzoek door middel van de trilling-meetapparatuur

De economische zijde van deze meetmethode is gebleken uiterst gunstig te zijn; wij zullen dit nu met een enkel woord toelichten. Een oppervlakte van 1 hectare kan volledig worden onderzocht in twee uren. Hiervoor zijn twee man nodig, een voor het verplaatsen van de opnemer en een voor het doen van de waarnemingen. Voegen wij daarbij ongeveer een half uur voor het tot stand brengen der elektrische aansluitingen, dan is het terreinonderzoek binnen $2\frac{1}{2}$ uur voltooid; het uitwerken der resultaten zal ongeveer 15 minuten vergen. Het is van groot belang zulk onderzoek toe te vertrouwen aan zeer nauwgezet personeel, bijvoorbeeld technici die door hun ervaring goed op elkaar zijn ingesteld. Omdat beiden op enige afstand van elkaar verwijderd blijven, moeten door middel van afgesproken signalen de noodzakelijke mededelingen en aanwijzingen worden gegeven. Groot uithoudingsvermogen is niet noodzakelijk, doch het verdient aanbeveling



Fig. 7. De verplaatsbare apparatuuropstelling. Men ziet de oscillograaf GM 3156 en het amplitude-meetapparaat GM 5522.

Fig. 8. Overzichtsfoto der apparatuur waarmee in het laboratorium de voortplantingsnelheden van trillingen in grondmonsters worden bepaald.



na iedere 100 amplitudemetingen te rusten en van taak te verwisselen, daar dit de nauwkeurigheid en uiteindelijke snelheid zeer ten goede komt. Hoge intellectuele eisen behoeven aan het personeel niet te worden gesteld, daar het meten bestaat uit zeer eenvoudige handelingen, die in een paar dagen routine zijn geworden. Uit een en ander is wel duidelijk, dat men met de trilling-meetapparatuur aanzienlijk sneller en goedkoper een

terrein kan onderzoeken dan met behulp van sonderingen en grondboringen. Bij al onze terreinmetingen heeft zich geen enkele ernstige apparatuurstoring voorgedaan; wel kwam het af en toe voor dat kabelverbindingen waren losgeraakt, en dit euvel werd gemakkelijk verholpen door de verbindingen aan piketpaaltjes te bevestigen.

Door de gevolgde werkwijze is het mogelijk niet alleen een inzicht te verkrijgen in de laagdikten, doch ook de laaghellings bleken hiermede zeer goed te kunnen worden bepaald; de aard en de dichtheid der diverse bodemlagen kunnen ook uit de meetresultaten worden berekend.

Tot op heden bestond nog geen enkele werkwijze waaruit al deze gegevens tegelijk volgden, zodat deze nieuwe methode van dynamisch onderzoek grote voordelen biedt ten opzichte van de tot nu toe gebezigde. Ook de nauwkeurigheid in de eindresultaten is buitengewoon groot. In dit verband zij opgemerkt, dat bij alle metingen de laagdikte kon worden bepaald met een afwijking van 4% ten opzichte van de waarde gemeten met de oude methode (sonderingen en grondboringen). Van deze laatste is de nauwkeurigheid moeilijk in procenten op te geven, daar zij afhangt van de situatie; bij 5 m diepte bedraagt zij echter in het algemeen ook ongeveer 4%.

5. Het grondonderzoek in het laboratorium

Naast het terreinonderzoek staat het onderzoek in het laboratorium. Het is namelijk zeer noodzakelijk te weten hoe de voortplantingsnelheid van mechanische trillingen samenhangt met de grondsoort, de dichtheid van de bodem en zijn vochtgehalte; op deze factoren kan hier niet worden ingegaan. Voldoende zij het op te merken, dat in het laboratorium het meten van voortplantingsnelheden geschiedt op grondmonsters van beperkte afmetingen,

hetgeen neerkomt op het meten, met een uiterst grote graad van nauwkeurigheid, van zeer kleine tijdverschillen, of op het meten van zeer kleine faseverschuivingen in de orde van enkele graden.

Op bijgevoegde illustraties (fig. 8 en 10) ziet men een afbeelding van de apparaturopstelling op trillingvrije tafels. Aan één zijde wordt een grondmonster aangestoten; de daardoor ontstane trillingen worden op verschil-

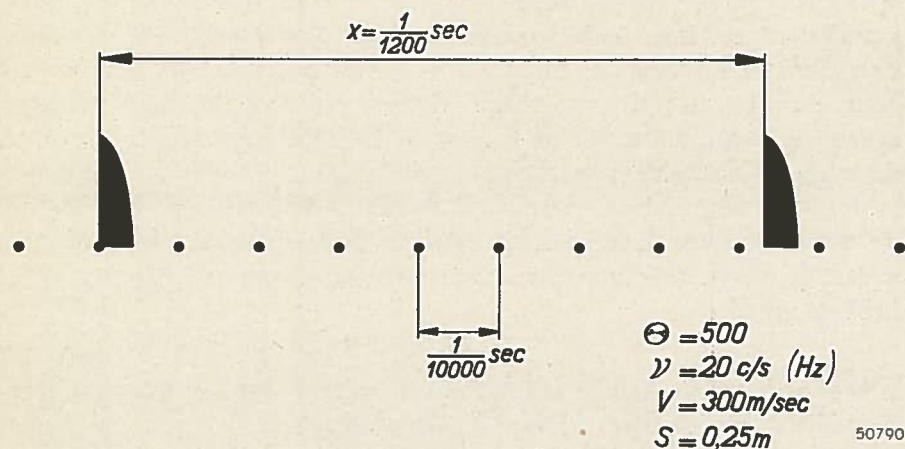


Fig. 9. Schema van het oscillogram dat wordt verkregen bij het bepalen van de voortplantingssnelheid van trillingen in grondmonsters met behulp van de meting van tijdintervallen.

ν = mechanische trillingfrequentie ;

$\Theta = n/\nu$ (n = verhouding tussen de interruptiefrequentie en de frequentie van de tijdbasis);

V = voortplantingssnelheid van de mechanische trilling ;

S = afstand tussen de opnemers.

lende wijzen naar de kathodestraaloscillograaf gevoerd, ter controle van de zuivere sinusvorm, waarna met behulp van een versterker-voltmeter verscheidene spanningen worden gemeten.

Met behulp van een toongenerator bepaalt men zeer nauwkeurig de fre-

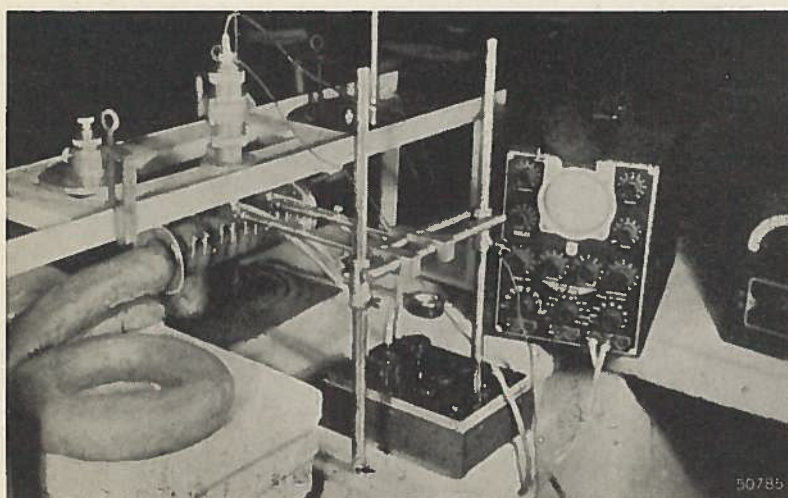


Fig. 10. De laboratoriumopstelling voor het onderzoek van grondmonsters van nabij gezien. De trillingopnemer GM 5520 wordt gebruikt ter controle van de trillingvrijheid van het chassis waaraan het grondmonster is bevestigd. De trillingen in het monster worden waargenomen door middel van twee kristalopnemers.

quentie. Door middel van deze metingen wordt dan de voortplantingsnelheid met een minimum nauwkeurigheid van $2\frac{1}{2}\%$ vastgesteld. Een andere contrôlemethode is gebaseerd op het meten van tijdsintervallen. Door middel van een toongenerator verkrijgt men een oscillogram als in fig. 9 is weergegeven hierbij; is de afstand tussen de stippen van de tijdmarkering bijvoorbeeld $\frac{1}{10000}$ sec. Aldus is een tijdmerk op het oscillogram verkregen. Door middel van een paar kristalopnemers en een speciaal voor dit doel vervaardigde impulsvormer, zijn twee pieken in het oscillogram aangebracht; de onderlinge afstand van deze pieken geven nauwkeurig de looptijd aan van de trilling die nodig is voor het afleggen van de weg tussen beide opnemers. Is deze tijd bekend door het opmeten van het oscillogram, dan kan hieruit de voortplantingsnelheid worden bepaald. Beide methoden worden toegepast en geven zeer goede resultaten, welke tot waardevolle gegevens hebben geleid.

Alhoewel het electrisch trillingonderzoek nog zeer jong is, zal het de lezer duidelijk zijn geworden, dat het electron en de electronica zich ook in de grondmechanica een belangrijke plaats hebben veroverd.

Het meten van zeer kleine capaciteiten

met behulp van de Philips toongenerator GM 2307 en de Philips versterker-voltmeter GM 4132

Het meten van zeer kleine capaciteiten brengt in de praktijk nogal eens moeilijkheden met zich. Neemt men de onbekende capaciteit op in een brugschakeling, met het doel ze te vergelijken met een bekende capaciteit, dan ondervindt men spoedig de storende invloed van onvermijdelijke parallelcapaciteiten van de brugschakeling zelf. Moeten capaciteiten van de grootteorde van 0,01 — 1 pF worden gemeten, dan zou men daarvoor de beschikking moeten hebben over een speciaal voor dit doel geconstrueerde condensatormeetbank.

Er bestaat echter een methode welke het mogelijk maakt, met normale elektronische meetapparaten zeer kleine capaciteiten te meten met voldoende nauwkeurigheid. De onbekende condensator wordt daartoe opgenomen in een capacatieve spanningdeler, waaraan een wisselspanning wordt gelegd (zie fig. 1). In deze schakeling is C_1 de te meten onbekende capaciteit en C_2 een condensator met bekende capaciteit. Nemen wij aan dat beide condensatoren van goede kwaliteit zijn, m.a.w. dat de verliesweerstand, welke parallel aan de condensatoren moet worden gedacht, zeer hoog is, dan verdeelt de wisselspanning zich omgekeerd evenredig met de capaciteiten. Wij vinden dan, na de totale spanning V en de spanning V_1 aan C_2 te hebben gemeten met de versterker-voltmeter GM 4132, de onbekende capaciteit uit de formule:

$$C_1 = \frac{V_1}{V} \times C_2.$$

Welke waarde moeten wij nu geven aan C_2 ?

Deze capaciteit wordt bepaald door de hoogste beschikbare meetfrequentie en de ingangsweerstand van de versterker-voltmeter. Er is immers als eis gesteld, dat de parallelweerstand van de condensatoren zo hoog mogelijk moet zijn. De ingangsweerstand van de Philips versterker-voltmeter GM 4132 bedraagt 1 megohm; dit apparaat is dus voor dit doel zeer geschikt. Als de impedantie van de condensator C_2 bij een meetfrequentie f_0 100 maal kleiner is dan de parallelweerstand veroorzaakt door de voltmeter, is de fout bij het meten van de spanning aan C_2 uiterst klein. Hieruit volgt dus, dat de impedantie van C_2 gelijk moet zijn aan :

$$\frac{1}{2 \pi f_0 C_2} = \frac{1 \text{ megohm}}{100} = 10\,000 \text{ ohm}.$$

De hoogste frequentie van de door de Philips toongenerator GM 2307 afgegeven wisselspanning bedraagt 16 000 Hz.

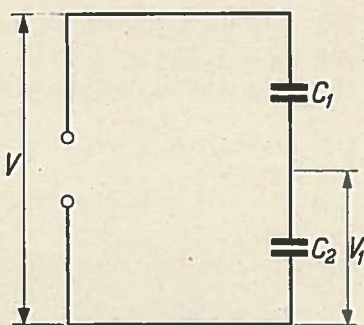
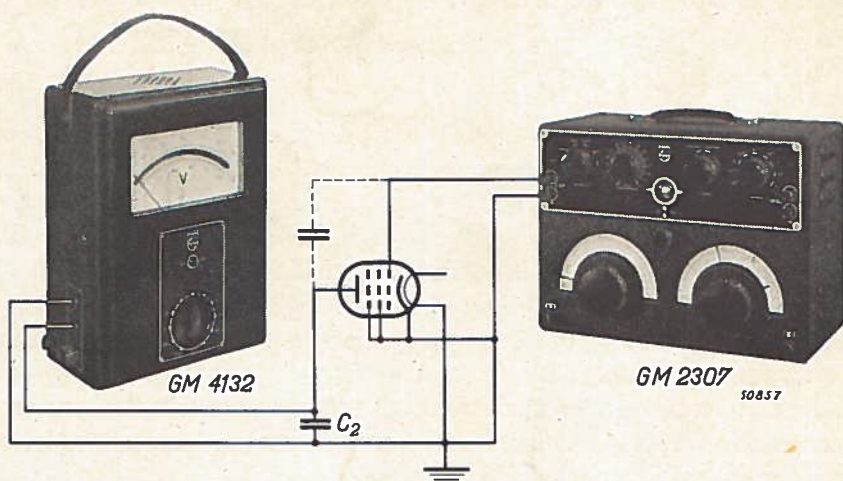


Fig. 1. Schematische voorstelling van het meten van een zeer kleine capaciteit.

50791

Substitueren wij deze waarde in bovenstaande formule, dan vinden wij voor C_2 een capaciteitswaarde van ongeveer 1000 pF.

Fig. 2. Schema-tische voorstel-ling van het me-ten van de anode-rooster capaci-teit van een pen-thode.



De kleinste spanning, welke nog met voldoende nauwkeurigheid op de voltmeter GM 4132 kan worden afgelezen, is 1 mV; de maximale uitgangsspanning van de toongenerator bedraagt 50 volt.

Dit betekent dat de factor $\frac{V_1}{V}$ een waarde kan krijgen van $\frac{10^{-3}}{50} = \frac{1}{50\,000}$ en dat de kleinste meetbare capaciteit met deze instrumenten

$$\frac{1}{50\,000} \times C_2 = \frac{1}{50\,000} \times 1000 \text{ pF} = \frac{1}{50} \text{ pF bedraagt.}$$

De eis welke hier aan de onbekende capaciteit wordt gesteld is, zoals reeds gezegd, dat deze een zeer geringe verlieshoek moet hebben. In de eerste plaats wordt hierbij gedacht aan het meten van buiscapaciteiten.

In fig. 2 is het schema voor het verrichten van een dergelijke capaciteitsmeting weergegeven. Als voorbeeld is hier gekozen het meten van de capaciteit tussen de anode en het stuurrooster van een penthode. Zoals in het schema is aangegeven, moeten alle overige elektroden van deze buis, dus de kathode, het schermrooster, het vangrooster en bovendien de gloeidraad, worden geaard. Dit heeft ten doel, de capaciteiten die deze elektroden vormen met de anode en het stuurrooster, uit te schakelen.

Natuurlijk dient men er verder voor te zorgen, dat extra capaciteiten, die eventueel zijn te wijten aan de bedrading, worden vermeden.

In fig. 2 is zulk een capaciteit gestippeld aangegeven. Meet men de buis in de houder, dan moet men rekening houden met een extra capaciteit van de aansluitcontacten. Dit behoeft echter geen bezwaar te zijn, daar men zodoende de capaciteit leert kennen, waarmee in de praktijk rekening moet worden gehouden.

Een buishouder met een zeer slechte isolatie zal evenwel de meetnauwkeurigheid nadelig beïnvloeden, zodat voor dit doel een houder van goede kwaliteit („Philite”, trolituul of keramisch materiaal) moet worden gekozen.

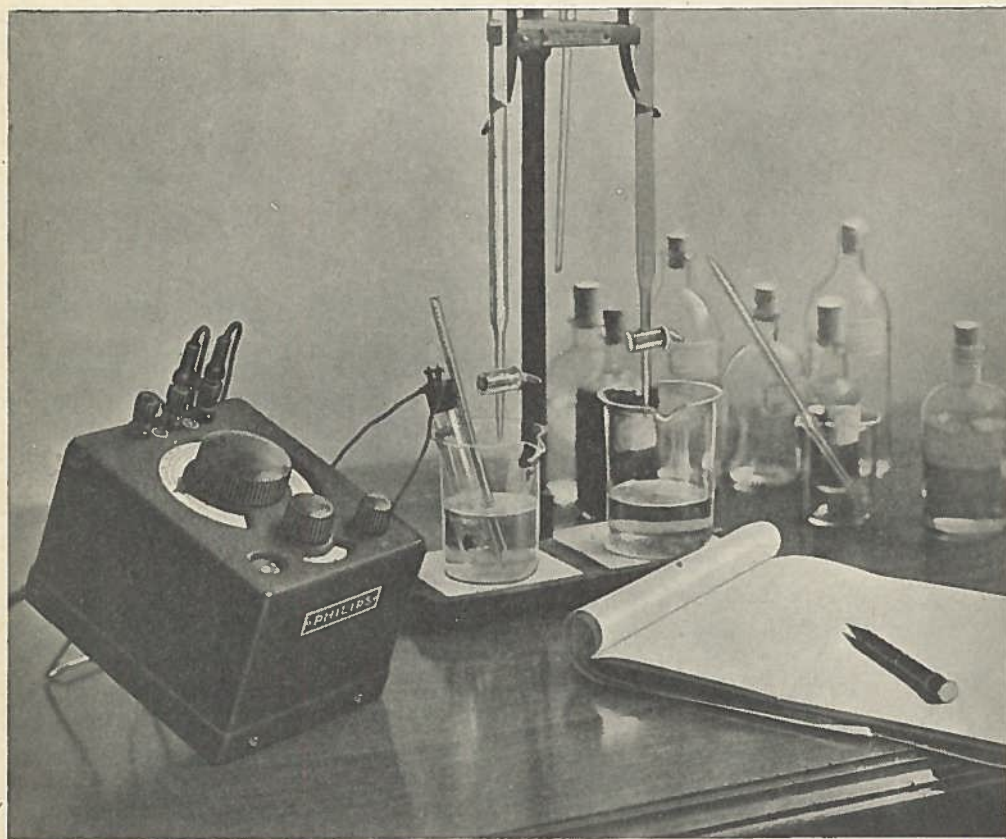
ELECTRONIC MEASURING

THE APPLICATION OF MODERN
ELECTRONIC MEASURING APPARA-
TUS IN LABORATORIES AND WORKS



VOLUME 1

NUMBER 11



51426

The Philips "Philoscop" measuring bridge for determining the conductivity of liquids.

MEASURING THE RESISTANCE OF LIQUIDS

Philips electronic measuring instruments, i.a. the "Philoscop" with cell for measuring conductivity, render valuable service in the chemical industry. In this number an article is devoted to conductimetric titrations with the aid of the "Philoscop", measurements which will undoubtedly attract attention.

MEASURING THE RESISTANCE OF LIQUIDS¹⁾

In many industries it is necessary to check regularly the specific conductivity of liquids, for instance that of waste water, boiler water and rinsing water in laundries, in the last mentioned case in order to see whether the washing is complete or not (see "Electronic Measuring" No. 2). In the sugar industry the ash content of the sugar can now be determined, much more easily than in the old way, by measuring the specific resistance of the sugar solution, since this resistance is directly related to the ash content. For industrial measurements of conductivity, that is to say for finding the reciprocal value of the resistance of liquids, Philips have available the "Philoscop" GM 4140 measuring bridge, the conductivity measuring cell GM 4221 and the generator GM 4260, which latter supplies an alternating voltage with a frequency of 1000 c/s and is used for feeding the Wheatstone bridge built into the "Philoscop". These instruments are illustrated in Figs. 1, 2 and 3.

The principle of the "Philoscop" measuring bridge

The "Philoscop" consists of a Wheatstone bridge, which is normally fed from the 50-cycle a.c. mains, the voltage of which is reduced to about 3 volts by the built-in transformer. The fundamental circuit diagram of the "Philoscop" is given in Fig. 4.

On one side the bridge consists of the resistances R_1 , R_2 and R_3 ; R_2 is a wire potentiometer, the position of which is regulated with the adjusting knob, connected to a pointer which moves over a circular dial. On the other side the bridge is formed by a built-in standard resistance R_N (the value of which is adjustable) and the resistance to be measured R_X or the capacity to be measured C_X and a built-in standard capacity C_N (the value of which is likewise adjustable) — it is to be noted that capacities can also be measured with the "Philoscop". The unknown resistance is determined by turning the knob of the potentiometer R_2 until the bridge is balanced, i.e. when there

„ELECTRONIC MEASURING" is a periodical in which the electronic measuring technique is discussed, particular attention being paid to the apparatus and the results obtained with them. Descriptions are given of methods of measurement. It is thereby hoped to give an idea of the significance of the new technique for laboratories and works. Further information about our electronic measuring apparatus will be gladly furnished upon application.

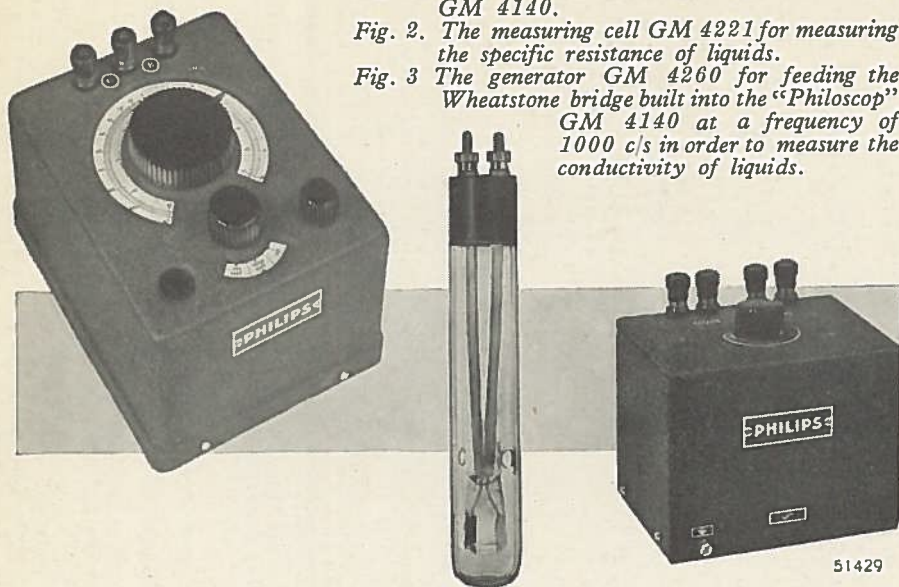
¹⁾ See also A. Claassen, "A Simple Arrangement for the Measurement of the Specific Resistance of Liquids", Philips Technical Review, Vol. 3 (1938) No. 6, page 183.

From left to right :

Fig. 1. The universal measuring bridge "Philoscop" GM 4140.

Fig. 2. The measuring cell GM 4221 for measuring the specific resistance of liquids.

Fig. 3. The generator GM 4260 for feeding the Wheatstone bridge built into the "Philoscop" GM 4140 at a frequency of 1000 c/s in order to measure the conductivity of liquids.



is no longer any alternating voltage between the points P and Q of the bridge. Then the resistance R_x is read off on the scale of R_2 . The bridge balance is found with the aid of the highly sensitive zero indicator, consisting of an amplifier A and a cathode-ray indicator (magic eye) I. With the "Philoscop" resistances of 0.1 up to 10^7 Ohms are measured with a maximum error of 3%, a degree of accuracy amply sufficient for most industrial purposes. Furthermore — and this is very important — the "Philoscop" gives these measurements very quickly in the small as well as the large ranges of resistance values. The accuracy of the measurements can be appreciably increased by using instead of the built-in standard resistances R_N an external standard resistance connected between the terminals K_1 and K_2 .

The four built-in standard resistances have values of 1, 100, 10 000 and 10^6 Ohms respectively, thus giving four ranges for the measurement of resistances, while the bridge is so arranged that each range extends from 1/10 to 10 times the value of the standard resistance. The scale division of the potentiometer R_2 is logarithmic.

The cell for measuring conductivity

In measuring the specific resistance of liquids there is the difficulty that it is not so easy to determine the right length and cross section of the column of liquid to be tested. If, for instance, two equal electrodes having a potential difference are placed a certain distance apart in a liquid then the lines of current will not run absolutely parallel from one electrode to the other. There is a certain dispersion making the effective cross section of the column of liquid greater than the surface of the electrodes, unless

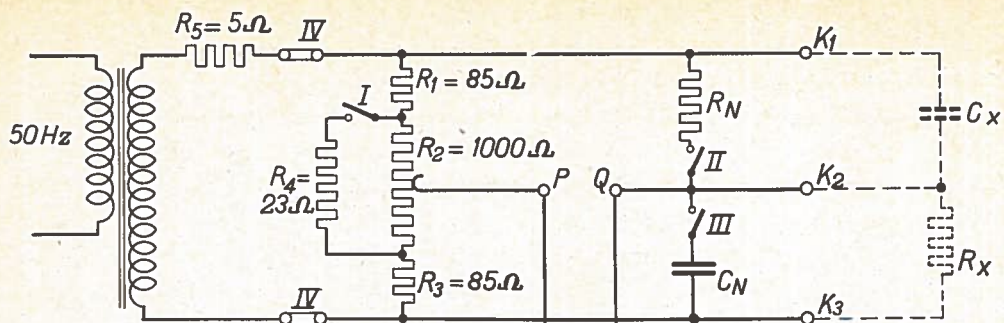


Fig. 4
The simplified circuit diagram of the "Philoscop" GM 4140 universal measuring bridge.

the cross section is limited in space with a non-conductor. However, once the specific resistance of

some liquids has been determined with the aid of a small vessel in which the spreading of the lines of current has been precluded by applying certain devices, then these liquids can be used for calibrating a vessel of simpler construction and answering the requirements for practical measuring: with this calibrated vessel one can then easily measure the specific resistances of other liquids. As such a measuring vessel Philips have constructed the conductivity measuring cell GM 4221, which is made in the form of an immersion cell (see Fig. 2) containing two platinum electrodes. These electrodes each have a surface of 1 cm^2 and are set up vertically with a distance of about 8 mm in between. Platinum wires fused into the glass connect the electrodes to the copper leads, which in turn are contacted to the terminals. On the outside the electrodes are entirely covered with fused-on glass and are held rigidly in place by a glass bridge. The electrodes are protected by the strong glass outer wall of the vessel. This outer jacket has openings at the bottom and at the side for easy filling with the liquid. The arrangement chosen for the electrodes offers the following advantages:

1. No air adheres to the electrodes when immersed.
2. The lines of current in the liquid are fixed, their dispersion being limited by the outer wall, whilst further, when immersing, the liquid automatically rises high enough above the top of the electrodes.

The specific resistance ρ of a liquid is proportional to the resistance R of the measuring cell filled with that liquid, according to the equation

$$\rho = cR,$$

where c is the characteristic constant for the measuring cell. This is therefore determined by calibrating the measuring cell with a solution of a

known specific resistance. The value of this cell constant is engraved on the cap of every cell (for the Philips immersion cells it averages 2). In order to avoid phenomena of polarization, to which we will revert presently, the electrodes are electrolytically covered with a thin coating of platinum black (platinum sponge), so that their effective surface is many times enlarged. Platinization of the electrodes has the drawback that the very finely distributed platinum sponge strongly absorbs dissolved substances in the solution (especially acids and bases, and to a much lesser degree salts) and does not immediately give them up again in more dilute solutions. Platinizing is especially recommended for the measurements of solutions with low specific resistance. If one is concerned only with solutions not having a very low specific resistance, for instance higher than 1000 Ohms.cm it is recommendable to carry out these measurements with bright electrodes; in that case the platinum black can be dissolved with aqua regia. There need then be no fear of polarization.

With properly platinized electrodes it is possible to take accurate measurements in the range of specific resistances extending from approximately 20 Ohms.cm to the highest values known to occur (several hundred thousand ohm.cm). In the case of solutions with a specific resistance less than 20 Ohms.cm polarization occurs to a small extent, but its effect, manifested in a reduction of the cell constant (10—15%), can be allowed for by calibrating the cell with solutions having a very low specific resistance, for instance sulphuric acid of maximum conductivity (specific resistance 1.3 Ohm.cm) or a saturated solution of sodium chloride (specific resistance 5 Ohms.cm). If the absolute value of the conductivity in this range is of less importance, relative measurements are still possible with a high degree of accuracy.

When measuring the conductivity of poorly conducting solutions it is necessary to take into account the conductivity of the water used.

Temperature has a very great influence upon the specific resistance of liquids. The resistance of practically all aqueous salt solutions drops by 2 to 2.5% for every degree centigrade rise in temperature. With most acids this reduction of specific resistance amounts to 0.9—1.6%, and with alkali solutions to 1.9—2%. For accurate measurements it is necessary to measure the temperature accurately to within 0.2 °C.

Polarization in conductivity measurements

The resistance of the liquid cannot be measured with direct current. If a direct current is sent through a liquid, changes take place at the electrodes (for instance development of gases and precipitation) accompanied by a potential difference opposed to the current. Consequently one cannot deduce the resistance of the liquid from the voltage applied and the current measured. This disturbing potential difference is called polarization voltage. The effect of polarization is avoided by measuring resistances with an alternating current of sufficiently high frequency. If, as mentioned above, the necessary precautions to prevent polarization

are taken also in the measuring cell itself, the effect of polarization becomes practically negligible, since in the short time that the current is flowing in a certain direction there is no opportunity for the building-up of a polarization voltage.

The effect of polarization is small when:

1. the frequency is high enough,
2. the polarization factor is kept small by giving the electrodes a large surface (that is why the electrodes are coated with platinum black),
3. the liquid has a high resistance.

Further, care must be taken that the alternating voltage used is as free of harmonics as possible. Since the frequency of the alternating voltage with which the bridge of the "Philoscop" is normally fed (50 c/s) is too low for conductivity measurements, Philips have constructed a separate oscillator, the GM 4260, for feeding the bridge. This oscillator supplies an alternating voltage of 1000 cycles. The secondary transformer winding in the "Philoscop" (see Fig. 4) has to be disconnected from the bridge (by means of the strips IV) and the generator GM 4260 connected to the terminals K_1 and K_3 .

The generator GM 4260 is made in such a way that the bridge part of the measuring bridge can be fed either at mains frequency or at a frequency of 1000 cycles. The latter frequency is for measuring resistances of liquids. It is sufficiently high to allow of the polarization being ignored, when the measuring cell GM 4221 is used, and sufficiently low to avoid any hindrance from undesirable capacity influences. The circuit of the oscillator valve in the generator is provided with a variable grid resistance, so that by adjusting for weak oscillation one can make sure that the alternating voltage is sufficiently sinusoidal for any load.

The foregoing is a brief description of an apparatus for measuring the resistance or the conductivity of liquids and solutions. In the article that follows, "Conductimetric Titrations", K. Verlaan describes how these conductivity measurements can be applied in practice for determining the point of equivalence when titrating aqueous solutions. Although the method is not a new one it will be found that the Philips apparatus is quite suitable for this purpose. This method offers advantages particularly in the case of solutions the colour of which makes it impracticable to use colour indicators.

CONDUCTIMETRIC TITRATIONS

by

K. VERLAAN, GOOR (Netherlands)

This article gives an account of some experience we have had with the method of titration based on the measuring of the conductivity of aqueous solutions.

As is known, the resistivity of a salt solution generally varies with its concentration. By comparing the resistivity of a predetermined unit volume of the solution with that of the same volume of a solution of known concentration the unknown concentration can be found.

Also with the aid of conductivity measurements a titration can be carried out which is comparable to the known method with indicators as applied in the titration of acids and bases. In the latter case the change of colour of the indicator indicates the equivalence point; in the former case the equivalence point is found from the behaviour of the conductivity of the solution before and after the equivalence point when adding the reagent. This can be explained by giving an example. Fig. 5 is a diagram of the apparatus used. The glass contains, for instance, a measured quantity of tap water, the chloride content of which is to be determined. A pre-determined solution of AgNO_3 is added from a burette into 250 cm^3 of the water while stirring with the immersion cell. The AgNO_3 reacts with the NaCl contained in the tap water, forming a practically insoluble precipitate of AgCl and further a quantity of NaNO_3 which remains in solution and is dissociated into ions. Owing to the disappearance of chloride ions from the solution the conductivity should change, but since NO_3^- ions are added the change will be very small.

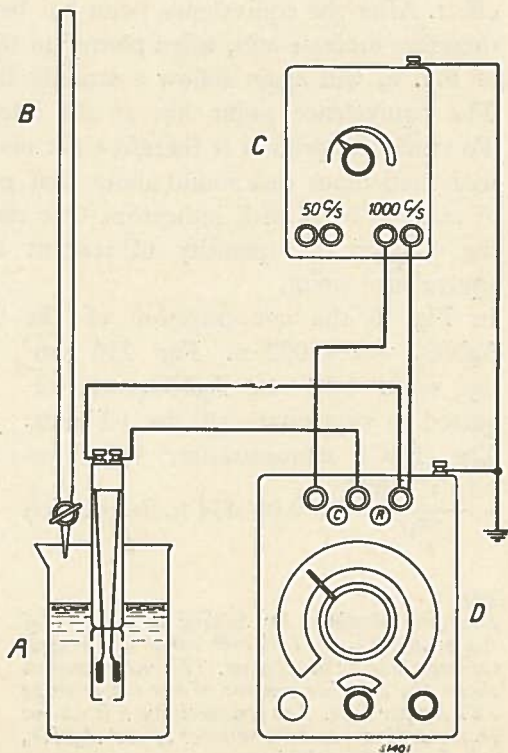


Fig. 5. Diagram of the apparatus for conductimetric titrations.

A — titration vessel with the immersion cell.

B — burette.

C — generator GM 4260 supplying the bridge circuit with an alternating voltage of about 3 volts at a frequency of 1000 c/s.

D — the "Philoscop" measuring bridge GM 4140.

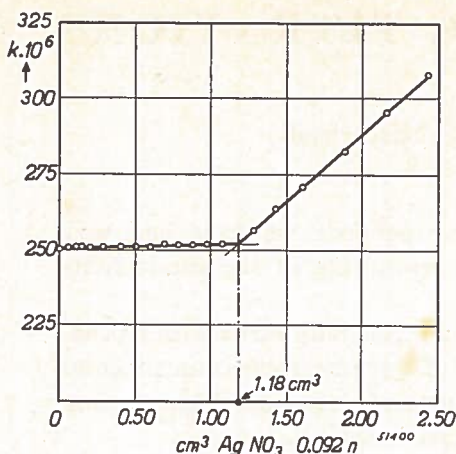


Fig. 6

Diagram obtained by the gradual addition of an AgNO_3 solution having a concentration of 0.092 n to 250 cm^3 tap water containing chloride in solution. This measurement shows that the chloride content of the water is 15.5 mg per litre. The conductivity k is set out on the ordinate and the quantity of AgNO_3 solution added is set out in cm^3 on the abscissa.

The effect of the reduction of the Cl^- ions is thus neutralized for the greater part by the appearance of NO_3^- ions. The Ag^+ ions precipitate immediately with the Cl^- ; the Na^+

ions remain. The Ag^+ ions do not affect the conductivity.

If AgNO_3 is carefully added drop by drop and after stirring the resistivity is determined with the aid of the immersion cell, alternating current measuring bridge and oscillator, then if the added quantity of reagent in cm^3 AgNO_3 is set out on the abscissa and the reciprocal value of the resistivity R , which is the conductivity $k = \frac{1}{R}$ of the liquid, on the ordinate a diagram is obtained as shown in Fig. 6 and a straight line can be drawn through the points of measurement.

As soon as this equivalence point is passed the Ag^+ ions are no longer precipitated. Also the concentration of NO_3^- ions increases and has its effect. After the equivalence point has been reached the conductivity will therefore increase and, when plotted in the manner shown in the diagram of Fig. 6, will again follow a straight line.

The equivalence point lies at the intersection of both straight lines. To reach this point it is therefore not necessary to try to add the reagent with meticulous care round about that point, as in the case of titrations of acids to bases with indicators. One can titrate off-hand and find from the diagram the quantity of reagent required corresponding to the equivalence point.

In Fig. 6 the concentration of the AgNO_3 was 0.092 n . For 250 cm^3 tap water 1.18 cm^3 AgNO_3 was required to precipitate all the Cl^- ions. The NaCl concentration was thus
$$\frac{1.18 \times 0.092}{250} = 0.000434 \text{ n},$$
 from which

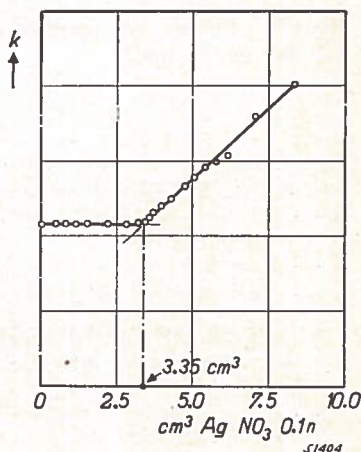


Fig. 7

Diagram obtained by adding a solution of 0.1 n AgNO_3 to 100 cm^3 canal water containing chloride in solution. This measurement shows the chloride content of the water to be 127 mg per litre. The conductivity k is set out on the ordinate and the number of cm^3 AgNO_3 solution on the abscissa.

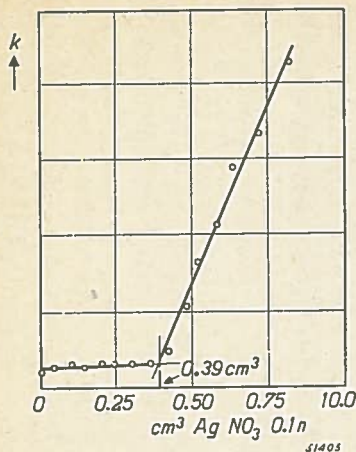
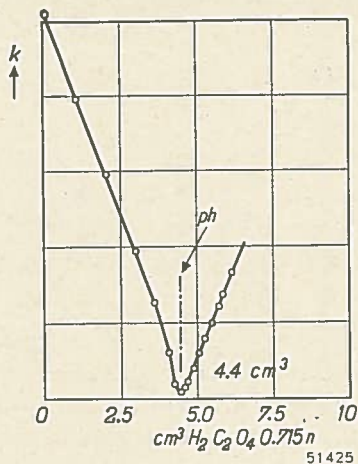


Fig. 8
Diagram obtained by adding a 0.1 n AgNO_3 solution to 100 cm^3 melted snow containing chloride in solution. The chloride content is shown to be 15 mg per litre.

Fig. 9
Diagram obtained by adding a 0.715 n oxalic acid solution ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$) to 100 cm^3 water containing $\text{Ca}(\text{OH})_2$ in solution. This measurement shows the content of calcium hydroxide to be 1.06 gram per litre. As a check upon the accuracy of the measurement the equivalence point was determined at the same time with phenolphthalein as indicator (indicated in the diagram by ph) and found to be practically identical to that found by measuring the conductivity.



it can be calculated that the Cl^- content was approx. 15.5 mg per litre water. The example given above was a precipitation titration. The method also holds good in many cases where no precipitates are formed.

An introduction and review of the titration method described here is to be found in "Archiv für Technisches Messen" (A.T.M. Blatt V722—2, 1936). Further "Konduktometrische Titrationen" by I.M. KOLTHOFF, Leipzig 1923, gives the theory, applications, accuracy and limitation of the field of application. Some examples follow:

Fig. 7 shows the determination of chloride in canal water. The sample was taken during the winter. The sulphate content was small, about 3 mg per litre.

Fig. 8 shows the chloride content of melted snow taken from the field, before melting, after a March snowstorm with westerly wind.

Fig. 9 is a parallel test. Phenolphthalein (indicated in the diagram by ph) was added to the $\text{Ca}(\text{OH})_2$ solution to be titrated in order to ascertain in how far the conductimetrically determined equivalence point agreed with that shown by the change of colour of the indicator.

Fig. 10 again gives a parallel test. This concerned the titration of KOH with oxalic acid in the presence of phenolphthalein (indicated in the diagram by ph).

Fig. 11 shows a titration of CaCO_3 with oxalic acid, where calcium oxalate was precipitated.

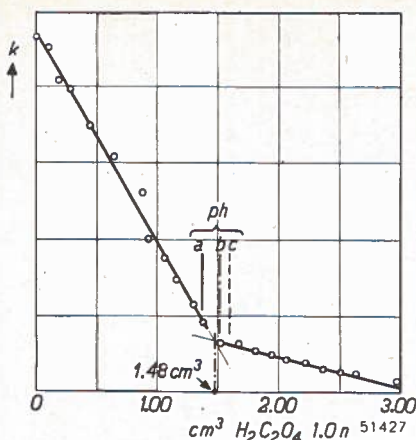


Fig. 10
Diagram obtained by adding a 1 n oxalic acid solution to 20 cm³ of a solution of KOH in water. The accuracy of the measurement was checked by determining the equivalence point with phenolphthalein (indicated in the diagram by ph), which point was found to correspond practically to that found by the conductivity measurement. The full line a shows the quantity of oxalic acid solution at which the indicator is still red, the dot-dash line b the quantity at which the indicator is pink and the broken line c the quantity at which the indicator is colourless.

Fig. 11
Diagram obtained by adding a 0.715 n oxalic acid solution to 100 cm³ water containing calcium carbonate (CaCO₃) in solution.

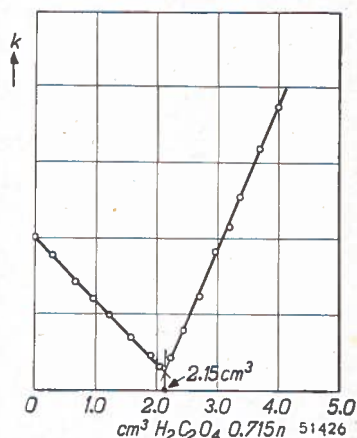
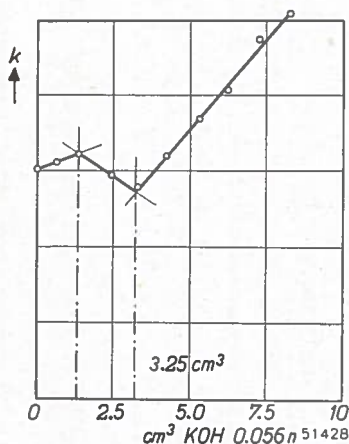
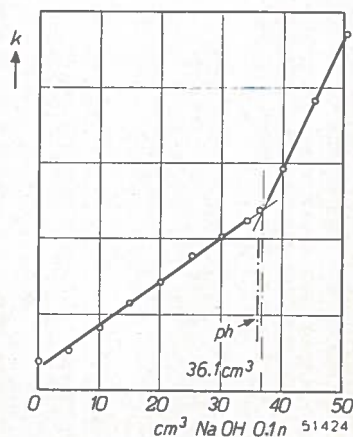


Fig. 12
Diagram obtained by adding a 0.056 n KOH solution to 100 cm³ tap water containing CO₂ in solution. In order to get straight lines and well defined intersection points CaCl₂ was added up to a concentration of 0.01 n.

Fig. 13
Diagram obtained by adding a 0.01 n solution of NaOH to 100 cm³ of a solution of acetic acid (CH₃COOH). The accuracy of the method was checked by determining the equivalence point with phenolphthalein (in the diagram ph), which was found to correspond practically to that obtained by the conductivity measurement.



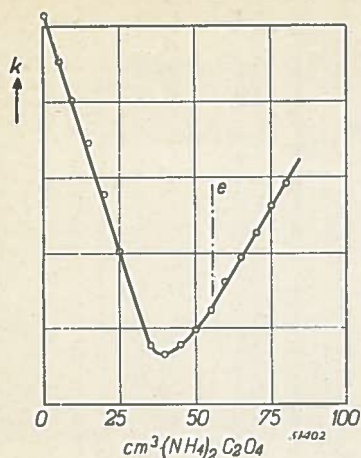


Fig. 14
Diagram obtained by adding a solution of ammonium oxalate $[(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4]$ to 50 cm^3 of a solution of $\text{Ca}(\text{OH})_2$. The $\text{Ca}(\text{OH})_2$ content was known. Its minimum is far removed from the actual equivalence point given by the dot-dash line e. In this case the reagent was unsuitable.

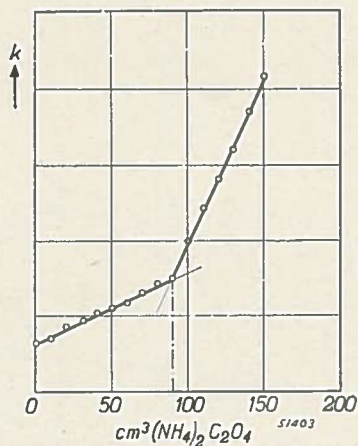


Fig. 15
Diagram obtained by adding the solution of ammonium oxalate $[(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4]$ to 100 cm^3 of a solution of CaCl_2 . In this case the reagent was suitable.

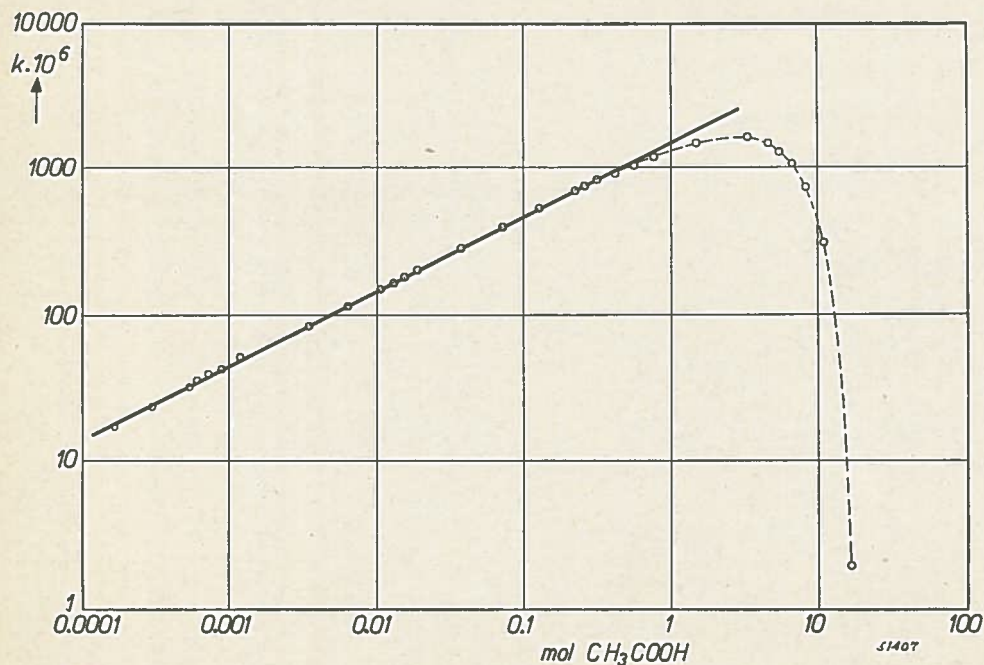


Fig. 16
Diagram showing the conductivity of acetic acid as a function of the concentration of the solution. The full line represents the calculations according to Ostwald's dilution law. The small circles indicate the points found by measuring the resistance.

Fig. 12 gives the two equivalence points of carbonic acid dissolved in water and partly dissociated in two stages. Some CaCl_2 was added to get straight lines and well defined intersection points. Without this admixture and when titrating with $\text{Ca}(\text{OH})_2$ or NaOH these points are non-defined. KOH with CaCl_2 in the solution to be titrated gives the best results. See KOLTHOFF.

Fig. 13 shows also a parallel titration. Here acetic acid was titrated with NaOH in the presence of phenolphthalein (indicated in the diagram by ph).

Fig. 14 shows that for some materials certain reagents are unsuitable for conductimetric titration. The $\text{Ca}(\text{OH})_2$ content was previously known. There is no sharp bend and moreover the actual equivalence point lies far beyond the minimum. The reaction causes the formation of NH_4OH , which spoils the results. KOLTHOFF l. c. gives a description of various similar cases.

Fig. 15 shows that the same reagent as is used for the case of *Fig. 14* can be applied successfully in other cases.

Finally *Fig. 16* shows a conductivity measurement of acetic acid. With the aid of the theory of conductivity and Ostwald's law of dilution the conductivity was previously calculated and plotted as shown by the fully drawn line. The small circles represent the points found by measuring as determined with the apparatus of *Fig. 5*.

CONTENTS

Measuring resistances of liquids — Conductimetric titrations.

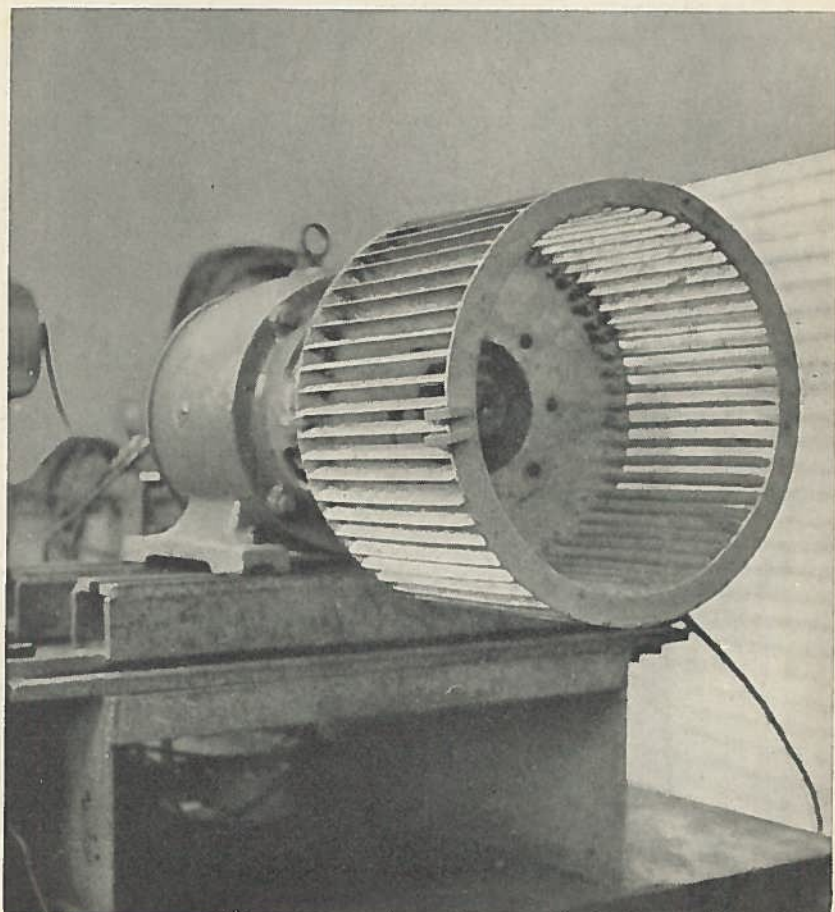
ELECTRONISCH METEN

DE TOEPASSING DER MODERNE
ELECTRONISCHE MEETAPPARATEN
IN LABORATORIA EN BEDRIJVEN



AARGANG 1

NUMMER 12



Ventilatorwiel met balancerengewichten, gemonteerd op de as van een electromotor.

51863

In dit nummer wordt een uiteenzetting gegeven van het balanceren van roterende machinedelen met behulp van Philips trillingmeetinstrumenten, een foto-electrische fase-indicator en de kathodestraaloscillograaf. Deze moderne electronische apparatuur zal waardevolle diensten kunnen bewijzen bij het construeren en onderzoeken van allerlei machines.

BALANCEREN VAN MACHINES MET BEHULP VAN ELECTRISCHE TRILLINGMEETAPPARATUUR

Ongelijkmatige verdeling van de massa in een rotor kan tot gevolg hebben, dat de zwaartees van de rotor niet in de omwentelingsas ligt. Ten gevolge hiervan worden, bij het draaien van het voorwerp, roterende krachten op de lagers uitgeoefend. Onder deze omstandigheden wordt de gehele machine in trilling gebracht, en bij hoge toerentallen zullen hinderlijke geluidstrillingen ontstaan.

Om een rustige loop en een lange levensduur van een machine te verkrijgen, is het balanceren van de bewegende delen ervan noodzakelijk. Dit balanceren bestaat in het zodanig wijzigen van de verdeling van de massa van een rotor, dat de zwaartees van de rotor ten slotte met de omwentelingsas samenvalt. Dit geschiedt door aan een niet in balans zijnde rotor op bepaalde plaatsen massa's toe te voegen of ervan weg te nemen. Voor het bepalen van de plaatsen waar deze massa's aangebracht of weggenomen dienen te worden, en van de grootte dezer massa's, zijn sinds jaren zogenaamde balanceermachines in gebruik. De ontwikkeling van de electronische trillingmeettechniek heeft op het perfectionneren van deze balanceermachines grote invloed gehad. Speciaal voor de massafabricage van kleinere onderdelen beschikt men thans over zogenaamde balanceer-automaten, waarmee het mogelijk is de plaats en de grootte van de correctiegewichten geheel electrisch te bepalen. Het balanceren van afzonderlijke delen op een balanceermachine komt hoofdzakelijk in aanmerking tijdens

het fabricagestadium, en dan veelal bij massa-productie. De bedrijfscondities kunnen echter niet altijd op de balanceermachine geheel worden gerepro-

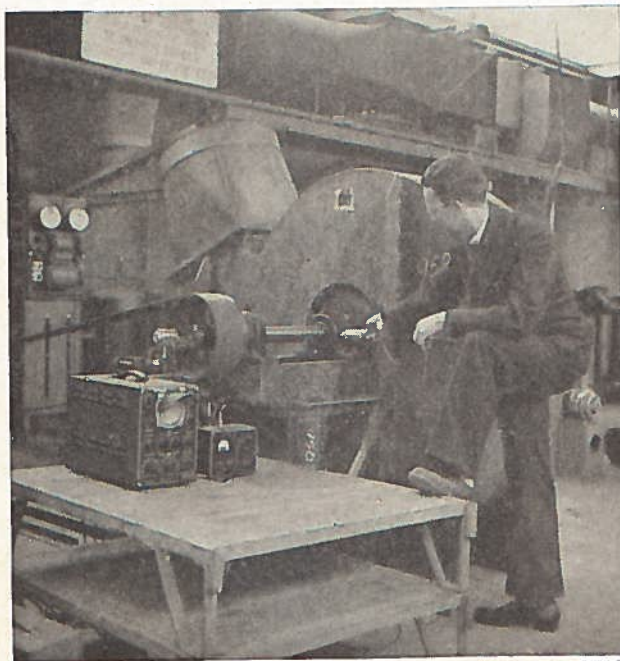


Fig. 1. Een meetopstelling voor balanceren. Juist boven de oscillograaf GM 3156 bevindt zich de met de ventilatoras gekoppelde fase-indicator. De trillingopnemer GM 5520 wordt stevig tegen het lager gedrukt. (Foto welwillend afgestaan door de firma Kiekens & Zoon te Landsmeer.)

51865

duceerd, en het zal dan wenselijk of noodzakelijk zijn de machines na de montage nogmaals te balanceren. Ook kan het voorkomen, dat rotoren van machines na verloop van tijd uit balans geraken, hetzij door aanslag van diverse stoffen, hetzij door het wegvreten van materiaal ten gevolge van bijtende vloeistoffen of dampen.

Bij grote machines, waarvan de rotoren niet op een balanceermachine onderzocht kunnen worden, is men gedwongen de rotor in de machine zelf te balanceren. Machines die gedurende enige tijd in bedrijf zijn geweest en die een correctie van een inmiddels ontstane onbalans nodig hebben, zullen in het algemeen gebalanceerd moeten worden als zij zijn gemonteerd, dus niet op de balanceermachine.

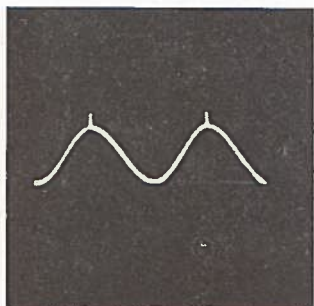
Tussen het balanceren op een balanceermachine en het balanceren van de rotor in de lagers van de machine zelf bestaat dit grote verschil, dat de lagers van de balanceermachine aan slappe bladveren zijn opgehangen, en de lagers van de machine waarvoor de rotor is geconstrueerd, in het algemeen stijf verbonden zijn aan het huis of het chassis van deze machine, terwijl de machine zelf meer of minder stijf verbonden is met een fundament. In het eerstgenoemde geval is de trilling practisch slechts in één vlak mogelijk en heeft het trillingsysteem, bestaande uit rotormassa en veerelasticiteit, slechts één eigenfrequentie, hetgeen de betrekkingen tussen de onbalanskracht en de daaruit volgende trillingverplaatsing zeer eenvoudig houdt. In het tweede geval beschrijven de rotoreinden een ellipsachtige figuur in de ruimte, waarvan de vorm ten gevolge van de in verschillende richtingen mogelijke verschillende eigenfrequenties sterk van het toerental afhankelijk kan zijn.

De methodiek bij het systematisch balanceren van rotoren in de machine zelf is dan ook minder eenvoudig dan bij het gebruik van een balanceerbank. Het kan zelfs voorkomen dat onvoorziene moeilijkheden bepaalde verbeteringen in de lagering van de rotor of in de opstelling der machine noodzakelijk maken, alvorens systematische balanceerwerkzaamheden mogelijk worden. Op deze praktische moeilijkheden kan hier niet worden ingegaan. In het hier volgende artikel zullen enkele principiële beschouwingen en het principe van het systematisch balanceren van rotoren in hun gebruikstoestand kort worden beschreven. Met voordeel maakt men bij dit balanceren gebruik van de Philips trillingmeetinstrumenten, de kathodestraaloscillograaf en een onontbeerlijk hulpinstrument: de fase-indicator.

INDICATIE VAN DE ROTORPOSITIE IN HET TRILLINGOSCILLOGRAM

Men mag bij benadering aannemen, dat de trillingverplaatsingen van het lager, bij constante frequentie, evenredig zijn met de grootte van de roterende onbalanskracht. Met behulp van een Philips trillingopnemer GM 5520, een amplitude-meetapparaat GM 5522 en een kathodestraaloscillograaf GM 3156 kan op het scherm van deze laatste de trilling van het lager *in een gekozen richting* als functie van de tijd worden waar-

genomen. Het oscillogram zal sinusvormig zijn als verder geen storing-bronnen aanwezig zijn. Daar de trillingfrequentie overeenkomt met het toerental van de rotor, komt de afstand tussen twee toppen van de sinuslijn overeen met een volle omwenteling van de rotor. Een dergelijk oscillogram zegt echter niets omtrent de hoek van de roterende kracht ten opzichte



52111

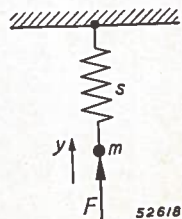
Fig. 2. Beeld van een als functie van de tijd sinus-vormige trilling op het scherm van een oscillograaf met het spanningspiekje dat door de fase-indicator in het oscillogram is gebracht.

van de straal waarop een vast gekozen punt aan de rotoromtrek ligt. Deze hoek moet men kennen, ter bepaling van de plaats in het correctievlak ten opzichte van dit vaste punt, waar een correctiegewicht moet worden aangebracht of weggenomen. Men wil een bepaald punt van de rotoromtrek kunnen terugvinden op de oscillogram-kromme. Een speciaal voor dit doel geconstrueerd instrument, de fase-indicator, waarvan het rotortje vast met een einde van de roterende as is verbonden, geeft eenmaal per omwenteling een korte elektrische impuls. De impuls spanning wordt zodanig op het oscillogram gesuperponeerd, dat er een piekje ontstaat (fig. 2), dat in het oscillogram van links naar rechts of omgekeerd kan worden verschoven.

Dit geschiedt door het draaien aan de bedieningsknop van de fase-indicator, die is voorzien van een in graden verdeelde schaal. Het piekje zal bij voorkeur zodanig worden geplaatst, dat het samenvalt met een top of een dal van de sinuskromme.

Met behulp van de fase-indicator kan men nu de fasehoek van de oscillogramamplitude bepalen ten opzichte van een referentiepunt op de rotoromtrek. Hieruit volgt nog niet direct, dat dan tevens is gevonden de fasebetrekking tussen de in het correctievlak gedachte onbalanskracht en dit referentiepunt. Dit zou wel het geval zijn indien bijvoorbeeld de op het oscillogram waargenomen, van de trillingopnemer afkomstige, elektrische spanning precies in fase was met de verplaatsing van het lager, en deze op haar beurt weer in fase met de in het correctievlak gedachte onbalanskracht. Deze ideale toestand is in het algemeen niet aanwezig; als men met een balanceerbank werkt, kan men echter wel de nodige correctiehoeken in rekening brengen. Dit zijn er slechts een tweetal; zij worden op de volgende bladzijden onder a) en b) toegelicht.

Bij het balanceren van een compleet opgestelde machine is de fasehoek sub. a) niet op eenvoudige wijze



52618

Fig. 3. Massa m opgehangen aan een veer met stijfheid s . F is de kracht welke op de massa m wordt uitgeoefend en y is de verplaatsing van de massa.

te bepalen, doch de werkmethode wordt dan zo gekozen dat de totale fouthoek bij alle metingen onveranderd blijft en in de einduitkomst niet in rekening behoeft te worden gebracht.

a) **Het faseverschil tussen de onbalanskracht en de verplaatsing die aan de lagers wordt gemeten bij trilling in één vlak**

Ten aanzien van de beweging in één bepaalde richting kan een rotor die in zijn elastisch beweeglijke lagers draait worden beschouwd als een trillingsysteem, dat bestaat uit een massa (d.i. de effectieve massa van de rotor) en een veer (= de lagerelasticiteit). In een veermassasysteem, bestaande uit een massa m en een veer met een stijfheid s , zijn, zoals bekend, de fasehoek φ tussen de wisselkracht F , welke aan de massa aangrijpt (fig. 3), en de verplaatsing y van de massa m , afhankelijk van de frequentie

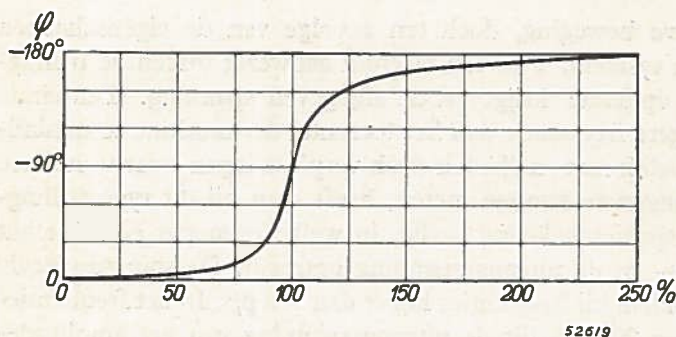


Fig. 4. Fasehoek tussen de verplaatsing y van de massa van een veermassasysteem en de kracht F van fig. 3, als functie van de verhouding tussen de opgedrukte frequentie en de eigenfrequentie in procenten, voor een willekeurig aangenomen vrij grote demping van het systeem.

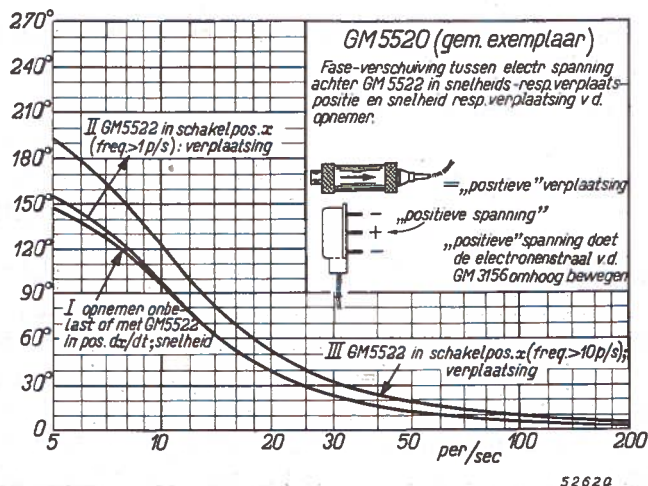
en van de demping van het systeem. In fig. 4 is deze fasehoek voor een vrij grote demping gegeven als functie van de werkfrequentie, deze laatste uitgedrukt in procenten van de resonantiefrequentie van het veermassasysteem $\left(f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{s}{m}}\right)$. De verplaatsing die men aan de lagers van een rotor meet, blijft in fase achter bij de onbalanskracht, en de fasehoek tussen onbalanskracht en verplaatsing hangt af van de omwentelingsnelheid. Bij kleine dempingen is de fasesprong van 0 naar -180° in de nabijheid van de resonantiefrequentie veel steiler.

Bij gebruik van balanceermachines is de demping wel zo klein dat de fasesprong zeer steil verloopt, en daar de eigenfrequentie beneden het toerental wordt gelegd, kan men eenvoudig met een φ van -180° rekening houden. In dat geval is dus de verplaatsingsrichting in het trillingvlak tegengesteld aan de richting van de kracht.

b) **De faseverschuiving in de elektrische apparatuur**

De trillingopnemer voor absolute beweging GM 5520 is voor balanceerwerkzaamheden aan niet zeer kleine rotoren het geriefelijkst. Deze opnemer heeft een seismisch systeem, waarvan de eigenfrequentie omstreeks 12 p/s bedraagt. De afgegeven spanning is evenredig met de snelheid van de

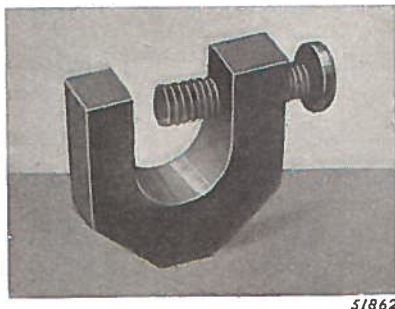
Fig. 5. Krommen welke voor de combinatie van de trillingopnemer GM 5520 en het amplitude-meetapparaat GM 5522 de fasehoek als functie van de frequentie tonen, bij verschillende standen van de GM 5522.



inwendige relatieve beweging, doch ten gevolge van de eigenschappen van het seismisch systeem, is er een fasefout aanwezig tussen de trillingssnelheid die de opnemer krijgt en de afgegeven spanning. Ten einde storingen van hogere frequentie dan het toerental der machine te minimaliseren, is het wenselijk niet snelheden doch verplaatsingen waar te nemen. Om de verplaatsingen te kunnen meten, heeft men bij dit type trillingopnemer een integratieschakeling nodig, in welke eveneens een fasefout tussen de ingangs- en de uitgangsspanning optreedt. De som van beide fasefouten is zeer klein bij frequenties hoger dan 200 p/s. In het frequentiegebied tussen 5 en 200 p/s ijlt de uitgangsspanning van het amplitude-meetapparaat GM 5522, waarin de integratieschakeling ¹⁾ is ondergebracht, vóór t.o.v. de verplaatsing van het huis van de trillingopnemer GM 5520. Fig. 5 heeft deze fasehoek als functie van de frequentie, en de afgebeelde kromme kan dienen ter correctie van de metingen met deze apparatuur. De fasehoek, veroorzaakt door de versterker van de oscillograaf GM 3156, is verwaarloosbaar klein.

Een voorrijlende spanning geeft op het oscillograafscherm een naar links verschoven oscillogram. Na het impulsiepiekje van de fase-indicator eerst op de top van de sinuskromme te hebben ingesteld (zoals in fig. 2), corrigeert men daarom de elektrische fasefout door de bedieningsknop van de fase-indicator zodanig met de correctiehoek verder te draaien, dat het piekje daarbij naar rechts verschuift.

Fig. 6. Voorbeeld van een proefgewicht als in de praktijk bij het balanceren wordt gebruikt. Men dient bij het balanceren een aantal van dergelijke proefelementen van verschillend gewicht ter beschikking te hebben.



¹⁾ De trillingopnemer GM 5520 in combinatie met de integratieschakeling van het amplitude-meetapparaat GM 5521 of GM 5522 en gebruikt met de oscillograaf GM 3156, veroorlooft het meten van trillingen waarvan de amplitude ca. 1 micron of groter is.

Het balanceren van de gemonteerde machine

De gemonteerde te balanceren machine zal in haar geheel trillen. Daardoor hangen de verplaatsingen van de lagers niet alleen af van de onbalans van de rotor, maar ook van het zwaartepunt van de machine, de stijfheid van de verbinding tussen de lagers, de fundering en het traagheidsmoment van het huis van de machine. Het is diensgevolge onmogelijk de fasebetrekking tussen de verplaatsing in een bepaalde richting en de aan de lagers aangrijpende onbalanskrachten eenvoudig te bepalen. Daarom kiest men een methode waarbij deze fasehoek niet ter zake doet, mits hij een constante waarde behoudt. Bij constant gehouden toerental en stand van de trillingopnemer is dit — wat er ook overigens aan de grootte der onbalanskrachten verandert — nagenoeg altijd het geval.

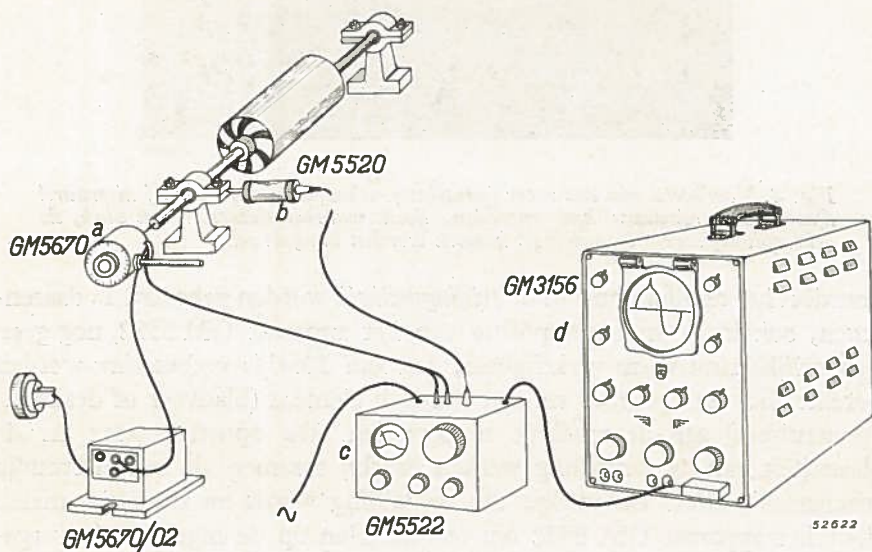


Fig. 7. Schematische voorstelling van het meten van onbalansstrillingen. De mechanische lagertrillingen worden met de opnemer *b* in elektrische spanningen omgevormd en op het scherm van de oscillograaf *d* als functie van de tijd zichtbaar gemaakt. Het amplitude-meetapparaat *c* levert een geijkte spanning, waarmee de opnemerspanning kan worden vergeleken, om de verplaatsingsamplitude te bepalen. De fase-indicator *a* levert de elektrische impuls voor de markering van de fase in het oscillogram.

De berekening van de plaats en de grootte der onbalans wordt nu gebaseerd op metingen van de trillingsterkte en van een faseverschilhoek zonder, en daarna met een in het correctievlak opzettelijk aangebrachte bekende massa.

Het systematisch balanceren van een gemonteerde machine geschiedt, indien er slechts één correctievlak aanwezig is, als volgt :

De te onderzoeken rotor wordt op het gewenste toerental gebracht. Een trillingopnemer GM 5520 wordt op een willekeurige plaats van de machine opgesteld, zodanig dat een zo sterk mogelijke trilling in de met het toerental overeenkomende frequentie wordt verkregen. Indien de trilling fraai sinusvormig is, kan, wegens de grotere gevoeligheid, met

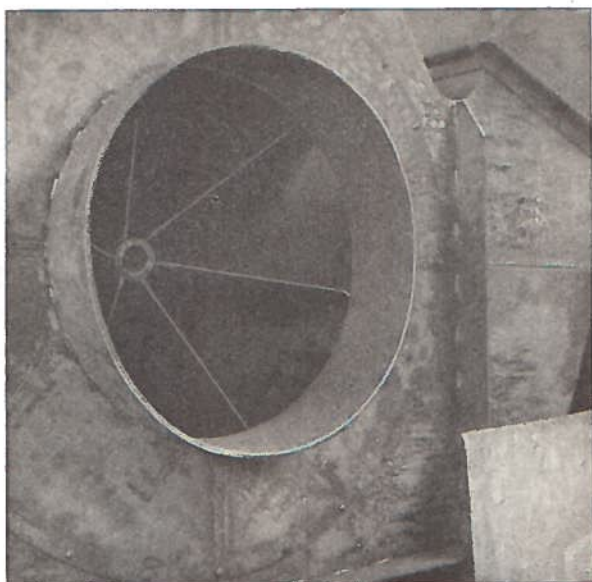


Fig. 8. Voorbeeld van een rotor (ventilator-schoepenwiel), waarbij uiteraard dynamische onbalans kan optreden, doch waarbij slechts in één vlak, de achterplaat, correctiegewichten kunnen worden aangebracht.

voordeel het oscillogram van de *trillingsnelheid* worden gebruikt. Is daarentegen, ook in de integratiepositie van het apparaat GM 5522, nog geen behoorlijke sinusvorm verkrijgbaar, dan kan dikwijls verbetering worden bereikt door de opnemer via een elastisch element (bladveer of desnoods sponsrubber) aan de machine te koppelen. De opnemermassa en de elasticiteit van de koppeling werken daarbij tezamen als een eenvoudig machanisch filter. De sterkte van de trilling wordt nu relatief gemeten door het apparaat GM 5522 om te schakelen op de ingebouwde vergelijkingsspanningbron. De intensiteit kan worden uitgedrukt in millivolt vergelijkingsspanning die nodig is voor gelijke beeldhoogte. Laten wij deze amplitude A_1 noemen (= bijv. 40 mV). Met de bedieningsknop van de fase-indicator wordt de impuls precies in het midden van de top van de sinuskromme gebracht. Vervolgens brengt men op een willekeurige plaats op de correctieomtrek van de te balanceren zijde een balanceergewicht aan van *bekende* massa (m_n). De nieuwe relatieve sterkte wordt wederom nauwkeurig bepaald (A_2 , bijv. 60 mV). Zorgvuldig wordt tevens vastgesteld hoeveel hoekgraden men de schaal van de fase-indicator moet verdraaien om de impuls weer midden op de top van de sinuskromme te brengen (α , bijv. 100°), daarbij nota nemend van de *richting* waarin men verdraait. Moet men bijv. de knop *tegen* de draairichting van de rotor in draaien, dan was de nieuwe amplitude A_2 *voorijlend* t.o.v. A_1 . Als voorbeeld stellen wij de hoek α voorijlend.

De grootte en de plaats van de aan te brengen balanceermassa zijn nu het gemakkelijkst te vinden uit een eenvoudige vectorfiguur (fig. 7). De vector A_2 ijlt een hoek α voor t.o.v. de vector A_1 . De vectoren zijn in fig. 9 op

schaal getekend. De derde zijde van de driehoek (A_3) is dan de vector welke op dezelfde schaal de sterkte en de richting van de door m_n veroorzaakte onbalanskracht voorstelt. Deze vector ijlt een hoek $180^\circ - \beta$ t.o.v. de oorspronkelijke vector A_1 voor. Het is dus duidelijk dat men, om dit gewicht in de richting te brengen waarin A_1 wordt gecompenseerd, nu nog slechts het balanceergewicht een hoek β gerekend van de plaats af waar m_n werd aangebracht — welke hoek van de figuur wordt afgelezen — verder in de draairichting behoeft te verplaatsen. De grootte van de onbalansmassa m_x (gerekend op dezelfde straallengte als van de massa m_n t.o.v. de draaiingsas) vindt men uit de betrekking:

$$m_x = \frac{A_1}{A_3} m_n.$$

In het gebruikte voorbeeld vindt men uit de vectordriehoek (fig. 9) dat

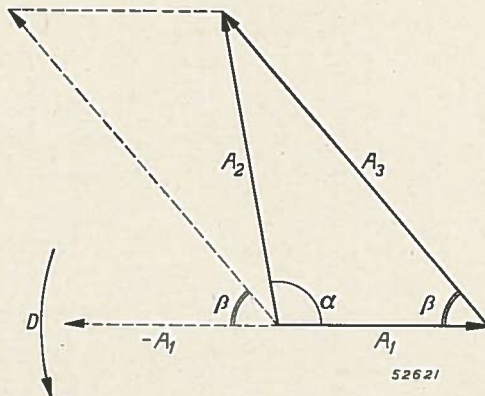


Fig. 9. Vectordiagram dat gebruikt wordt voor het berekenen van de plaats en de grootte van het aan te brengen balanceergewicht. De pijl D geeft de draairichting van de vectoren aan.

de hoek $\beta = 50^\circ$ en $m_x = \frac{40}{77,4} m_n$. Het is ook duidelijk dat de onbekende fasefout in de apparatuur hierin in het geheel geen rol speelt, mits haar grootte gedurende de metingen constant blijft.

Deze eenvoudige methode van balanceren in één correctievlak kan men uitbreiden tot een ietwat primitieve methode van balanceren in twee correctievlakken.

Na het aanbrengen van het correctiegewicht ter neutralisering van m_{x1} in het ene correctievlak van de rotor, bepaalt men op dezelfde wijze de plaats en de grootte van het in het tweede correctievlak nodige correctiegewicht m_{x2} . De invloed van een correctiegewicht op de balans in het andere correctievlak maakt het noodzakelijk de metingen na het aanbrengen van correctiegewichten te herhalen tot uiteindelijk de afwijkingen van de perfecte balans tot een aanneembaar minimum zijn teruggebracht. Het kan echter ook voorkomen dat men op deze manier steeds verder van de balanstoestand verwijderd raakt, of dat de convergentie te gering is om in weinig bewerkingen bevredigend te kunnen balanceren.

Voor een werkelijk systematisch balanceren van een rotor met twee correctievlakken, waarbij men in slechts drie keer laten lopen van de

machine alle voor het berekenen van m_{x1} en m_{x2} nodige gegevens verkrijgt, moet op *twee* verschillende plaatsen van de machine een meting van trillingsterkte en -fase worden uitgevoerd. De mathematische uitwerking der aldus verkregen gegevens is vanzelfsprekend ingewikkelder, en de beschrijving ervan zou hier te veel plaats vergen. Wij moeten hiervoor naar de literatuur verwijzen ¹⁾ ²⁾.

Practische wenken

In het algemeen zal men de opnemer op een zodanige plaats en in zulk een richting tegen de machine drukken, dan wel bevestigen, dat men de grootste verplaatsingsamplitude krijgt. Echter zal bij aanwezigheid van storende bodemtrillingen (bijv. ten gevolge van andere in bedrijf zijnde machines), voor de opnemer GM 5520 eerder een stand moeten worden gezocht, waarin de verhouding tussen onbalanstrilling en storende trilling zo groot mogelijk is. Het spreekt vanzelf dat een eenmaal gekozen stand van de opnemer moet blijven gehandhaafd tijdens de metingen.

Uitgesleten lagers, onvoldoende smering, kortom alle verdere oorzaken welke trillingen tot gevolg hebben, zullen het trillingbeeld van de sinusvorm doen afwijken. Deze vervorming kan zó sterk zijn, dat de verplaatsingsamplituden van de lagers, die hun oorzaak vinden in de onbalans van de rotor, niet meer zijn te onderscheiden. Deze storingsoorzaken moeten dan eerst worden opgeheven, wil men met kans van slagen tot het eigenlijke balanceren kunnen overgegaan.

Bij het meten aan wisselstroommachines moet erop worden gelet, dat de

¹⁾ E. L. Thearle — Dynamic Balancing of Rotating Machinery in the Field — Transactions American Soc. Mech. Engrs., Vol. 56, 1934, p. 745.

²⁾ J. U. de Bruyn, Electrotechniek 20, No. 21, blz. 332 e.v.

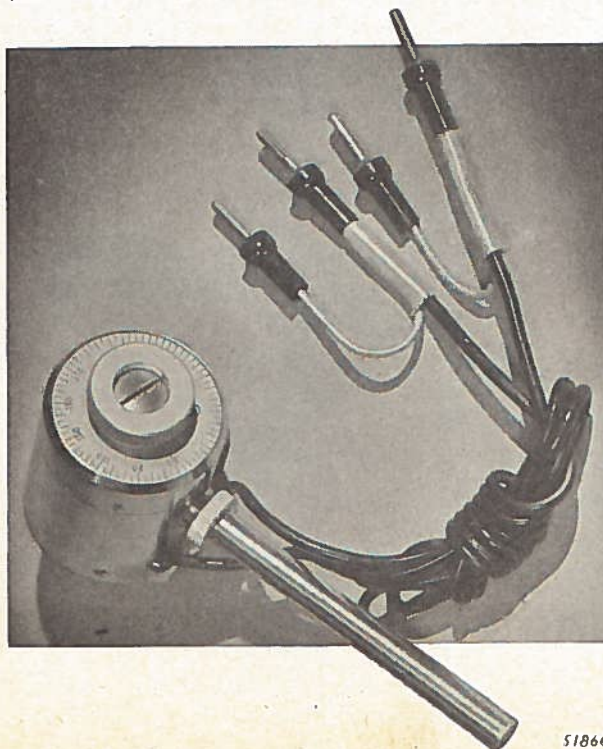


Fig. 10. De fase-indicator GM 5670.

opnemer zich niet in een sterk magnetisch veld bevindt, daar dan ongewenste spanningen in de opnemer worden opgewekt. Men kan dit gemakkelijk constateren door de opnemer in de onmiddellijke nabijheid van de meetplaats stil in de hand te houden. Hierbij mag dan geen rimpel op het scherm van de kathodestraaloscillograaf zichtbaar zijn. Is dit wél het geval, dan kan men met behulp van de bijgeleverde verlengstift de opnemer verder van het lager afhouden, dan wel het instrument op een geheel andere plaats van de machine aanbrengen.

De fase-indicator

De fase-indicator GM 5670 is een foto-electrische impulsgenerator. De voornaamste onderdelen hiervan zijn een gloeilampje van 6 volt en een selenium fotocel, met daartussen een van een smalle zaagsnede voorzien

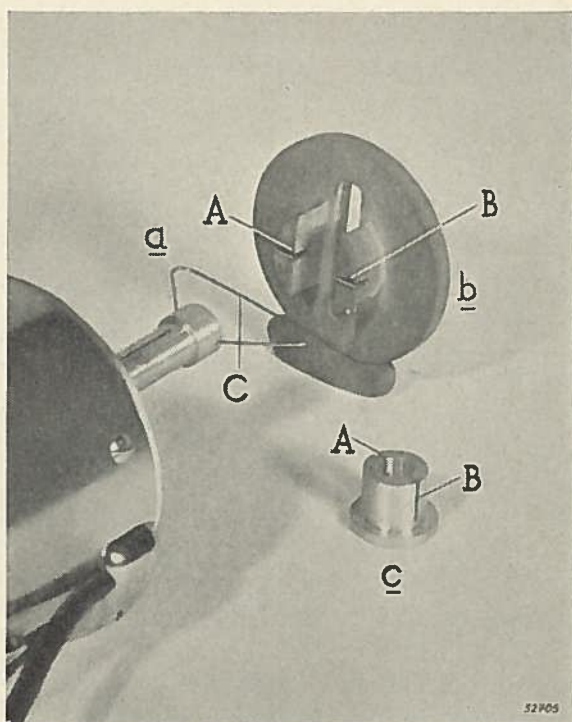


Fig. 11. De elastische koppeling van de fase-indicator aan de as van de te balanceren rotor

*a) Opzetstukje met draadveer, dat op de as van de fase-indicator is bevestigd.
b) Hulpstukje van hard papier, dat op de as van de te balanceren rotor wordt geschroefd. De sleuf dient om het stukje goed te kunnen centreren.*

*In de zaagsneden A en B past de draadveer C van a.
c) Hulpstukje van metaal.
In de zaagsneden A en B past de draadveer C van a.*

duraluminium trommeltje, dat op de aandrijfas is gemonteerd. Als het trommeltje met de as roteert, valt er één keer per omwenteling een smalle lichtbundel op de fotocel, die dan een spanningimpuls levert.

De fotocel is gemonteerd op een van een gradenverdeling voorziene schijf, die in het huis met de hand kan worden rondgedraaid. Aldus kan men de spanningimpuls laten optreden in elke gewenste hoekpositie van de zaagsnede in het rotortje, gerekend vanaf een vast merkteken aan de rand van het huis. Niet alleen bij het balanceren, doch in het algemeen bij alle trillingonderzoekingen aan motoren of aan door motoren aangedreven machi-

nes is het waardevol om in de oscillogrammen der trillingen markeringstekens te hebben, die met een bekende positie van de machinerotor overeenkomen. Fasebetrekkingen tussen de trillingen op verschillende punten van een machine of eventueel van de grond in de omgeving ervan, kunnen direct worden gemeten, ook in het geval dat men slechts over een enkele trilling-opnemer beschikt. Daardoor is het mogelijk een beeld te krijgen van de wijze waarop de machinedelen in de ruimte trillen.

Een bijzonder voordeel van deze fase-indicator is de toepassing van de foto-electrische impulsopwekking. Daardoor konden de bewegende delen uiterst licht worden gehouden, terwijl tevens geen schoksgewijze belasting van de aandrijving optreedt, hetgeen bij sommige electromagnetische of contactmakende fase-indicatoren wél het geval is. Daar de enige belasting bestaat uit lagerwrijving van twee kleine kogellagers, waarin de as loopt, is het instrument geschikt om gebruikt te worden bij het onderzoek zowel aan de kleinste als aan de snelst lopende rotoren. De eindplaat met gradenverdeling is voorzien van een klein contrôlevenstertje. De breedte en de tophoogte van de spanningimpuls zijn, als de indicator wordt gebruikt in combinatie met het amplitude-meetapparaat GM 5522 (waarbij de fotocel met een weerstand van 100 ohm wordt belast), nagenoeg onafhankelijk van het toerental.

Enige gegevens voor de toepassing van de fase-indicator

Bij juiste aansluiting van de fase-indicator op het amplitude-meetapparaat GM 5522 staat de fotocelspanning in serie met de door de trilling veroorzaakte uitgangsspanning van het amplitude-meetapparaat. De impuls, afkomstig van de fase-indicator, veroorzaakt een naar boven gerichte piek in het oscillogram.

De fase-indicator wordt als volgt met de machine-as gekoppeld. Op het asje van het instrument schuift men een opzetstukje, waarin een driehoeksvormig gebogen draadveer is bevestigd (fig. 11a), terwijl op het ene einde van de te balanceren rotoras een der bijgeleverde hulpstukjes (fig. 11b en c) wordt geschroefd, waarin in axiale richting een zaagsnede is aangebracht. Dit hulpstukje werkt als meenemer voor de draadveer als deze in de zaagsnede valt.

Deze koppeling is zowel slipvrij als flexibel; de zaagsnede in het hulpstukje op de machine-as kan eventueel tevens dienen als referentieliijn op het eindvlak.

Om desgewenst de stand van de te onderzoeken rotor te vinden waarbij de markeringsimpuls op een bepaalde plaats in het trillingsoscillogram verscheen, heeft men niets anders te doen dan na het stilzetten van de machine de rotor met de hand te verdraaien tot het venstertje in de verdeelde schaal met maximale intensiteit wordt verlicht.

Het instellen van de markeringsimpuls in het midden van de top ener sinus-kromme kan tot op ongeveer $2\frac{1}{2}$ hoekgraden nauwkeurig geschieden.

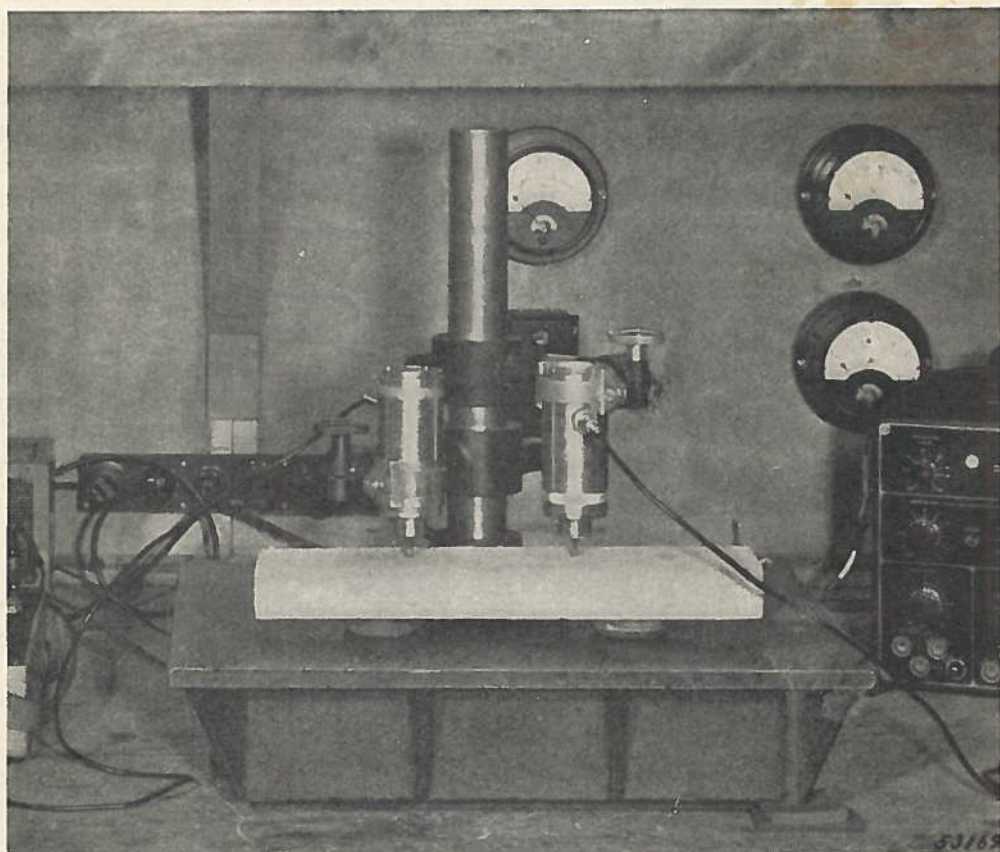
ELECTRONISCH METEN

DE TOEPASSING DER MODERNE
ELECTRONISCHE MEETAPPARATEN
IN LABORATORIA EN BEDRIJVEN



JAARGANG 2

NUMMER 1



Het dynamisch onderzoek van een cementmonster met behulp van een Philips trilling-opnemer en een excitator, ter bepaling van de elasticiteitsmodulus en de dempingscoëfficiënt.

In dit nummer wordt een inleiding gegeven tot enige artikelen over het gebruik van Philips trillingmeetinstrumenten in combinatie met de kathodestraaloscillograaf en de toongenerator, ter bepaling van de dynamische constanten van materialen en de trillingseigenschappen van velerlei werkstukken. De vele verzoeken van onze afnemers gaven daartoe aanleiding. Deze artikelen zullen derhalve, naar we vertrouwen, met belangstelling worden gelezen.

UITGAVE DER N.V. PHILIPS' VERKOOPMIJ. VOOR NEDERLAND
EINDHOVEN

HET GEBRUIK VAN DE TRILLINGOPNEMER GM 5526 BIJ HET DYNAMISCH ONDERZOEK

door

J. SEVERS, Eindhoven

Inleiding

Onder dynamisch onderzoek verstaat men werkmethoden ter bestudering van het gedrag van een proefobject dat zich onder de invloed van een *veranderlijke kracht* bevindt. Meer in het bijzonder gebruikt men deze benaming bij excitatie met een periodische wisselkracht.

Het doel van een dergelijk onderzoek kan van tweeërlei aard zijn. In de eerste plaats kan men de z.g. „*dynamische constanten*” van een materiaal wensen te bepalen. Dit zijn de karakteristieke grootheden waarvan men de waarden moet weten, om te kunnen berekenen hoe diverse uit zulk een materiaal gemaakte lichamen zich zullen gedragen, als ze door een wisselkracht in trilling worden gebracht.

In de tweede plaats beoogt men meer direct de *kwaliteitscontrole* van velerlei producten: o.a. het onderzoek van halffabrikaten, of ook wel van grotere constructies, op, bijvoorbeeld, de bij belasting optredende materiaalspanningen of op bepaalde gebreken, als inhomogeniteiten, dan wel op afwijkingen van een als normaal aangenomen vergelijkingstoestand.

Electrische en electromechanische apparatuur gebruikt men bij het hedendaagse dynamisch onderzoek op ruime schaal. Men werkt er in het algemeen sneller en gerieflijker mee, en vaak nauwkeuriger dan met de oude mechanische hulpmiddelen. In elk geval bieden de moderne methoden mogelijkheden waaraan men vroeger nauwelijks durfde denken, zij het ook dat de apparatuur — hoewel niet noodzakelijkerwijze de bediening ervan — soms zeer gecompliceerd wordt.

Gebleken is, dat de sinds kort verkrijgbare Philips trillingopnemer GM 5526 ook als electrodynamische excitator voor bovengenoemde onderzoeken wordt gebruikt. Derhalve zullen wij in dit en enkele vervolgartikelen over deze gebruiksmogelijkheid een korte beschouwing geven.

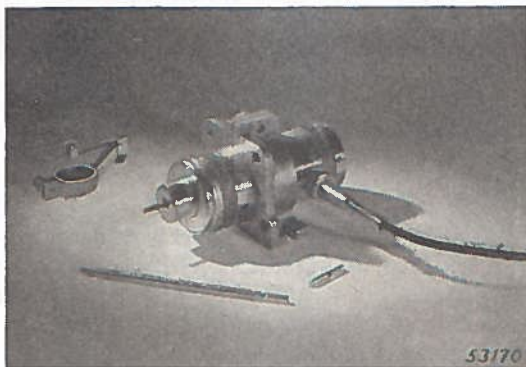


Fig. 1. De Philips trillingopnemer GM 5526 met enige accessoires.

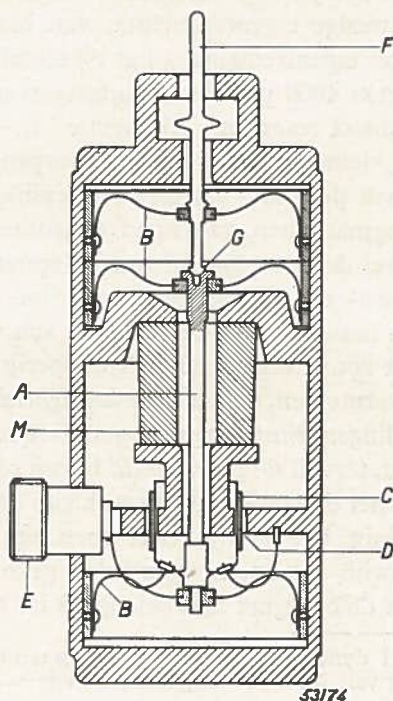
Belangrijkste eigenschappen van de Philips GM 5526 als detector van trillingen

De GM 5526 is geconstrueerd als electro-dynamische opnemer van *relatieve* beweging. In het huis bevindt zich een permanente magneet M. Aan de contactstift F (tastpen, zie fig. 2), die door bijzonder gevormde veren B centriscch wordt gedragen, is een asje A bevestigd aan een spoel C, die zich in het veld van de magneet kan bewegen. Als de contactstift, waarvan het vrije einde een stukje uitsteekt, in de lengterichting van de opnemer wordt bewogen, ontstaat in spoel C een elektrische spanning welke evenredig is met de snelheid van de beweging. De „snelheidsgevoeligheid” ($\alpha_{\dot{x}}$) bedraagt 0,302 volt per cm/sec, met een tolerantie van 1,2 %. In combinatie met het amplitudemeetapparaat GM 5522 kan men de opnemer, behalve voor het meten van trillingsnelheid, ook gebruiken voor het meten van trillingverplaatsingen of -versnellingen.

Bij het dynamisch onderzoek gebruikt men de opnemer gewoonlijk als pick-up van *absolute* beweging, door het huis vast op te stellen.

De tastpen wordt met een door de bovengenoemde veren geleverde druk van omstreeks 850 gram tegen het object gedrukt. Daar de massa van het beweeglijke systeem 10 gram bedraagt, is het in staat objecttrillingen tot hoogstens ongeveer 85 maal de zwaartekrachtversnelling te volgen, zolang de verplaatsingsamplitude de vrije slagruimte van het systeem niet overschrijdt. Gerekend van de middenpositie uit, bedraagt deze vrije slag 2 mm.

Fig. 2. Doorsnede van de Philips trillingopnemer GM 5526, resp. de trillingexcitator GM 8010. M = permanente magneet. A = asje van het beweeglijke systeem dat in het huis gecentreerd is met drie veren B. Aan dit asje is bevestigd de spoel C, die zich kan bewegen in de luchtspleet D. E is het aansluitstuk van de beweeglijke spoel C, waarmee deze door middel van een kabel wordt verbonden aan de elektrische apparatuur, het amplitudemeetapparaat GM 5522, de kathodestraaloscillograaf GM 3156, de buisvoltmeter GM 4132 of de toongenerator GM 2307. Het asje A wordt aangedreven door een contactpen F, welke door middel van een gewricht G hiermede is verbonden.



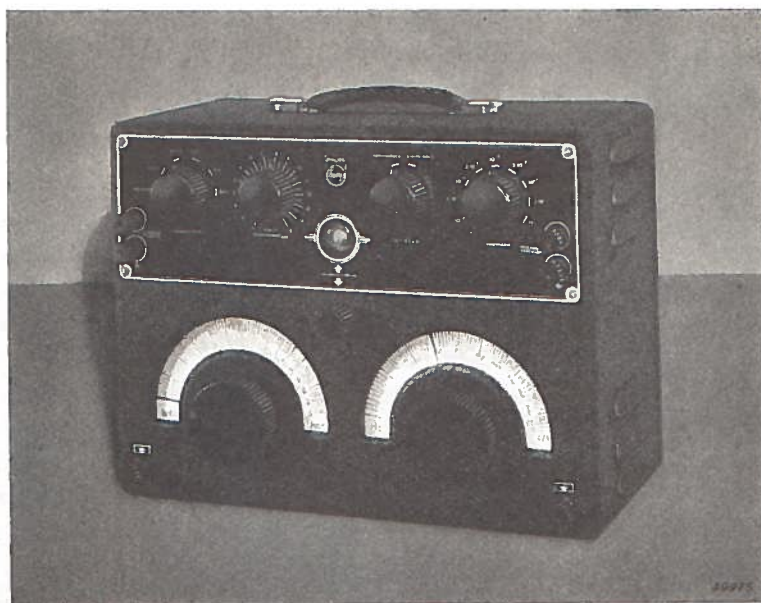


Fig. 3. De toongenerator GM 2307, welke wordt gebruikt voor de stroomvoeding van de trillingexcitator GM 8010.

De bijzondere vorm der veren komt tot uiting in een *zeer kleine* veerstijfheid tussen huis en beweeglijk systeem, nl. $\leq +$ of $- 1,5 \cdot 10^5$ dyne/cm ($\approx 0,15$ kg/cm). Ook de dempingsweerstand tussen de twee mechanische polen van het instrument is zeer gering, nl. ca. 125 dyne per cm/sec¹). Het frequentiegebied, waarvoor al de hier gegeven cijfers gelden, loopt van 0 tot 500 p/s. Bij hogere frequenties wordt de invloed van de onvermijdelijk aanwezige eigenfrequenties van het systeem merkbaar. De belangrijkste dezer eigenfrequenties ligt bij metallische objecten tussen ca. 3000 en omstreeks 4000 p/s. Het trillingssysteem met deze eigenfrequentie — de z.g. „contact-resonantie frequentie” f_c — heeft als veerstijfheid de betrekkelijk kleine stijfheid van het overgangcontact tussen tastpen en object, als massa de massa van het beweeglijk systeem.

Naarmate men, van lage frequenties af omhoog gaande, f_c nadert, nemen zowel de gevoeligheid van de opnemer als de op het object uitgeoefende massa- en dempingsbelasting toe, terwijl de grens van de versnelling van het object die de opnemer kan volgen, gelijktijdig omlaag gaat.

Het zou te ver voeren hier uitvoerig op in te gaan. Wij kunnen volstaan met te vermelden, dat de *naauwkeurigheid* van het instrument voor het meten van trillingsintensiteiten bij hogere frequenties dan ca. 1000 p/s allengs verloren gaat, terwijl de *gevoeligheid* boven *contact-resonantiefrequentie* snel afneemt. Bij het dynamisch onderzoek zijn deze beperkingen in vele gevallen echter weinig bezwaarlijk. Als men op hoge frequenties moet werken, kan dikwijls een methode worden gekozen, waarbij de absolute gevoeligheid van de opnemer niet belangrijk is, zolang deze maar niet al te klein wordt.

¹) 1 dyne is de kracht, die nodig is om aan een massa van 1 gram een versnelling van 1 cm/sec² te geven; 1 dyne = 1,02 milligram kracht.

Een voordeel is bovendien, dat bij het dynamisch onderzoek meestal met sinusvormige trillingen wordt gewerkt.

Verwarring van een object-resonantie met de contact-resonantie behoeft niet voor te komen, daar men de frequentie van laatstgenoemde resonantie kan verlagen door bijv. de taststift te voorzien van het dopje van thermo-plastische stof, dat met iedere opnemer wordt geleverd. De ongewenste resonantie krijgt daardoor tevens een veel minder sterk geprononceerd karakter.

De hoogste frequentie waarbij de GM 5526 in combinatie met de oscillograaf GM 3156 nog als detector van trillingen kan dienen, bedraagt omstreeks 16 000 p/s.

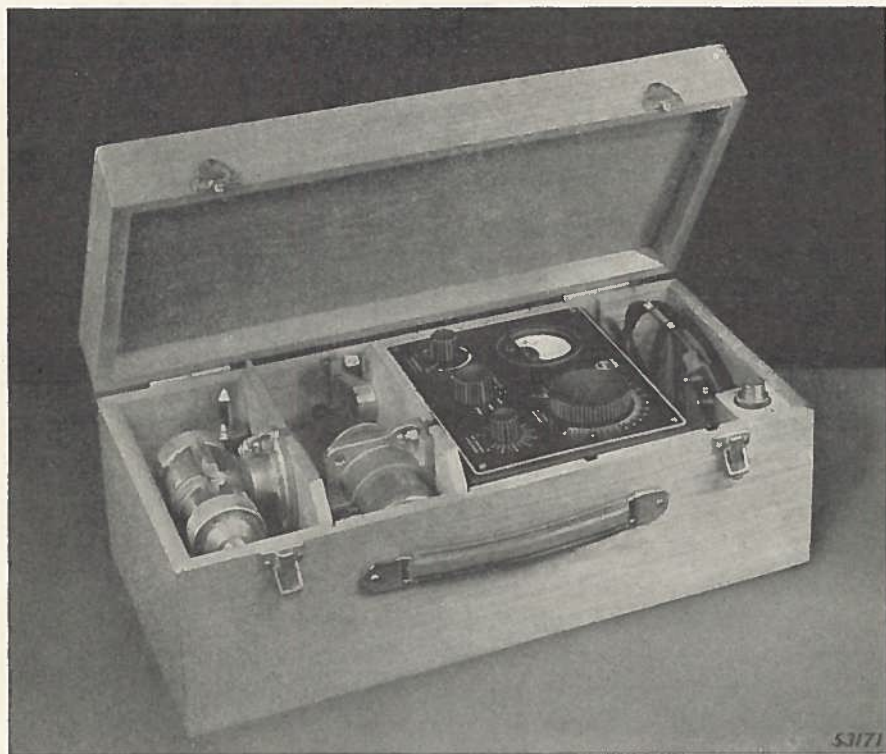


Fig. 4. Kist met trillingmeetapparatuur.

Eigenschappen van de GM 5526 en zijn modificatie, de GM 8010, als excitator van trillingen

Het mechano-electrisch effect van een electrodynamisch systeem is, zoals bekend, reversibel : stuurt men door de spoel een stroom, dan wordt in fase met deze stroom en evenredig daaraan, een mechanische kracht opgewekt tussen het beweeglijk systeem en het huis. Op eenvoudige wijze is af te leiden, dat de kracht in *dynes per ampère* stroom door de spoel — beide uitgedrukt in gelijksoortige waarden — 10^7 maal de snelheidsgevoeligheid ($\alpha_{\dot{x}} = 0,302 \text{ V/cm/sec}$) bedraagt.

Zonder gevaar voor overmatige verwarming kan de spoel van de GM 5526 een stroomsterkte van 20 mA_{eff} verdragen. De topwaarde van de kracht bedraagt dan: $20 \cdot 10^{-3} \cdot 0,302 \cdot 10^7 \cdot \sqrt{2} = 8,54 \cdot 10^4$ dyne = 87,1 gram. Later zullen wij spreken over de grootte der met een kracht van deze orde bij objecten van verschillende afmetingen te verkrijgen effecten. Als het huis van het instrument wederom vast wordt opgesteld en de tastpen tegen het object drukt, moet voor frequenties lager dan 500 p/s rekening worden gehouden met dezelfde waarden van massa- en veerstijfheids-belasting als bij gebruik van de pick-up als detector. De dempingsweerstand die op de plaats van het contact door de trillingsexcitorator aan het object wordt toegevoegd, kan echter wel iets groter zijn; dit hangt af van de inwendige weerstand (R_g) van de wisselstroomgenerator¹⁾. De grootte van de electrodynamisch geïntroduceerde demping bedraagt:

$$r_{\text{dyn}} = \frac{\alpha_{\dot{x}}^2 \cdot 10^7}{R_{\text{electr}}} = \frac{9,12 \cdot 10^5}{2250 + R_g} \text{ dyne/cm/sec.}^2)$$

(De spoelweerstand = ca. 2250 ohm.) De maximale r_{dyn} bedraagt 405 dy/cm/sec, nl. bij $R_g = 0$.

Een ten opzichte van de spoelweerstand hoge R_g is aan te bevelen, niet alleen om deze electrodynamische demping te miniseren, doch vooral ook om de excitatiestroom een constante waarde te laten behouden, als bij het veranderen van de frequentie een objectresonantie wordt doorlopen. Het in trilling komen van het object, waardoor in de spoel een snelheids-evenredige spanning ontstaat, heeft namelijk, van de generator uit gezien, het effect alsof de impedantie in de stroomketen verandert. Deze equivalente impedantieverandering (Δz) heeft de grootte:

$$\Delta z = \frac{\alpha_{\dot{x}}^2 \cdot 10^7}{z_m} = \frac{9,12 \cdot 10^5}{z_m} \text{ ohm, waarin } z_m \text{ de mechanische im-}$$

pedantie, in dyne/cm/sec, van het trillend systeem. Bij het bereiken van een mechanische resonantie verandert z_m zeer sterk, en de stroom in de spoelketen kan alleen nagenoeg constant blijven als deze keten een ten opzichte van Δz hoge weerstand bezit. Daar z_m nooit kleiner kan zijn dan de dempingsweerstand van het instrument zelf (ca. 125 dyne/cm/sec), is de theoretisch hoogste waarde die Δz ooit kan bereiken 7300 ohm. Vanzelfsprekend is hierbij aangenomen, dat aan het trillend systeem langs geen andere weg dan via de excitator energie wordt toegevoerd.

Als gevolg van het feit, dat op de veer-voorspanning de wisselkracht gesuperponeerd wordt en deze voorspanning dus hoogstens 87 gram minder is dan de statische kracht gedurende de halve perioden dat het systeem naar binnen wordt getrokken, zijn de met het als excitator gebruikte instrument volgare versnellingen maximaal ca. 10% kleiner dan

¹⁾ Zie voor de waarden [van] de inwendige weerstand van de toongenerator GM2307, blz. 8.

²⁾ Elke beweging van de spoel in het magnetisch veld veroorzaakt een spanning $e = \dot{x} \alpha_{\dot{x}}$ volt. Ten gevolge hiervan loopt door de uitwendige keten de stroom $i = e/R$ ampère, indien R de totale weerstand in de keten is. Deze stroom levert op zijn beurt de kracht $10^7 \alpha_{\dot{x}} \cdot i = \dot{x} \alpha_{\dot{x}}^2 10^7/R$ dyne. Volgens de wet van Lenz, is de richting van deze kracht zodanig, dat zij de oorspronkelijke beweging tegenwerkt.

indien het als opnemer wordt gebruikt. Het niet meer „volgen” van het object is merkbaar aan een ratelend bijgeluid.

Het van lage frequenties af naderen van de contact-resonantiefrequentie f_c heeft overeenkomstige consequenties als reeds in de vorige paragraaf werden besproken. Als men in het frequentiegebied f_c moet werken, is ook hier het gebruik van het genoemde thermoplastische opzetstukje aan te bevelen. Boven f_c neemt de op het object overgebrachte kracht snel af; de volgbare versnellingen nemen echter weder toe.

Daar in de normale opnemer GM 5526 geen maatregelen zijn getroffen om het oplopen van de elektrische impedantie bij toenemende frequentie gering te houden, is de aan het begin dezer paragraaf genoemde stroom van 20 mA_{eff} niet bij alle frequenties toelaatbaar. Om het gevaar van doorslag der windingisolatie te vermijden, dient men bij hogere frequenties dan 2000 p/s de stroomsterkte op een lagere waarde te begrenzen: bij 5000 p/s bijv. op 13 mA_{eff}, bij 16 000 p/s is nog slechts 7 mA toelaatbaar¹⁾. De impedantie van de GM 5526 bij 16 000 p/s is ca. 7500 ohm.

Deze beperking kan een bezwaar zijn bij het onderzoeken van kleine objecten, die dikwijls zeer hoge eigenfrequenties vertonen. Zij is ondervangen in een *modificatie* van de opnemer GM 5526, die voorlopig het type-nummer GM 8010 draagt. Dit instrument heeft een spoel met een gelijkstroomweerstand van ca. 240 ohm; de impedantie bij 16 000 p/s bedraagt ca. 500 ohm. Zijn snelheidsgevoeligheid α_z is 0,100 volt per cm/sec ($\pm 1,2\%$); de kracht die ermee kan worden verkregen is echter niet kleiner dan die van de GM 5526, daar de toelaatbare stroom ruim 60 mA_{eff} bedraagt. Deze stroomsterkte kan zonder bezwaar gehandhaafd blijven tot een frequentie van 16 000 p/s en hoger.

Een verder voordeel van de modificatie GM 8010 ten opzichte van de normale GM 5526 ligt hierin, dat haar impedantie een betere aanpassing veroorlooft aan de nominale belastingsimpedantiewaarden van de uitgangstransformator van de L.F. generator GM 2307.

De waarde van de op het object uitgeoefende electrodynamische dempingsweerstand r_{dyn} , respectievelijk die van de getransformeerde impedantie Δz , bedragen voor de GM 8010:

$$r_{dyn} = \frac{10^5}{240 + R_g} \text{ dyne per cm/sec.}$$

$$\Delta z = 10^5 / z_m \text{ ohm.}$$

De hoogste waarde welke Δz ooit kan verkrijgen als aan het meetobject alleen via de excitator energie wordt toegevoerd, bedraagt omstreeks $10^5 / 125 = 800$ ohm.

Eveneens in overeenstemming met de lagere snelheidsgevoeligheid α_z van de GM 8010, is de opgewekte kracht: $F = 10^6$ dyne per ampère, ofwel: 1,44 gram topkracht per mA_{eff} (max. stroom 60 mA_{eff}).

De mechanische constanten van het instrument zijn geheel gelijk aan die van de GM 5526.

¹⁾ Deze stroomgrenzen houden verband met het feit, dat als grootste spanning over de windingen ca. 75 V piekwaarde toelaatbaar is.

Gebruik van de toongenerator GM 2307 als voedingsbron

Hoewel deze toongenerator werd ontworpen voor het uitvoeren van *electrische* metingen, en hij voor trillingstechnisch onderzoek in verschillende opzichten aan andere eisen zou moeten voldoen, heeft dit apparaat bij het dynamisch onderzoek waardevolle diensten bewezen.

Het frequentiegebied waarover een redelijk sinusvormige uitgangsspanning kan worden verkregen, strekt zich uit van ongeveer 40 p/s tot 16 000 p/s. Dit gebied stemt zeer behoorlijk overeen met dat waarin het dynamisch onderzoek met behulp van de kleine excitators GM 5526 en GM 8010 gewoonlijk plaats heeft. Bovendien kan de toongenerator ongeveer even veel energie afgeven als deze instrumenten hoogstens kunnen opnemen, zodat de mogelijkheid tot overbelasting ervan gering is.

Zowel wegens zijn niet bijzonder grote frequentiestabiliteit en frequentiefijninstelbaarheid, als met het oog op de in de eindversterker toegepaste spanningstegenkoppeling, is het apparaat niet geschikt om er bijv. dempingscoëfficiënten van zeer zwak gedempte objecten volgens de frequentieverstemmingsmethode mede te bepalen. Overigens zullen in dit tijdschrift andere methoden worden beschreven om de dempingscoëfficiënt van een object te meten.

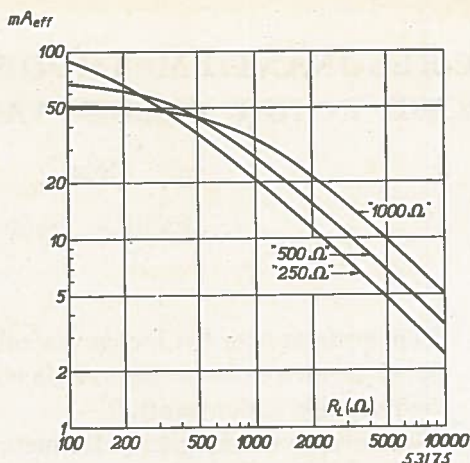
De toongenerator GM 2307 bezit een uitgangstransformator met secundaire aftakkingen voor aanpassing aan belastingen van 5, 250, 500 en 1000 ohm. De inwendige weerstand van de generator, gezien vanuit de belasting, bedraagt, ten gevolge van de toegepaste spanningstegenkoppeling van de versterker, voor elke aanpassing ongeveer de helft van de *nominale* belastingsweerstand, dus resp. ca. 2,5, 125, 250 en 500 ohm.

Fig. 5 geeft een grafisch overzicht van de maximale stroomsterkten als functie van de belastingsweerstand R , welke van de 250, 500 en 1000 ohm aftakkingen, bij matige distortie, verkrijgbaar zijn. De als excitorator te gebruiken opnemer wordt aangesloten op de met „Uitgang direct” gemerkte klemmen. Bij gebruik van de GM 5526 als excitorator, is de beste stand van de belastingsaanpassingsschakelaar, die voor een belasting van 1000 ohm. Deze stand is ook voor de GM 8010 in het algemeen als de beste te beschouwen. Bij lage frequenties zijn de 250 of 500 ohm posities alleen te verkiezen, als men beslist een zo groot mogelijke stroomsterkte wil verkrijgen, en indien de object-impedantie z_m hoog is. Het gebruik van de met „50 V” gemerkte positie kan bij de GM 5526, als excitorator gebruikt, gevaar voor windingsdoorslag opleveren.

De in de grafieken uitgedrukte maximaal verkrijgbare stroomsterkten mogen niet worden opgevat als die welke, met inachtneming van de excitoratorimpedantie, in elk geval door dit instrument gestuurd kunnen worden. Indien namelijk het object in een zijner resonantiefrequenties een zeer geringe mechanische impedantie z_m bezit, kan het vaak voorkomen,

dat of de topwaarde der trillingsverplaatsing $\hat{x} = \frac{\hat{F}}{\omega z_m}$, dan wel (bij

Fig. 5 Maximale stroomsterkte als functie van de belastingsweerstand R_L , welke van de aftakkingen voor 250, 500 en 1000 ohm bij kleine vervorming van de toongenerator GM 2307, verkrijgbaar is. De krommen zijn het resultaat van metingen bij een frequentie van 500 p/s. Zij gelden echter bijna onveranderd voor het gehele frequentiegebied van de toongenerator.



hoge frequenties) de versnellingsamplitude $\hat{\ddot{x}} = \frac{\omega \hat{F}}{z_m}$ een grotere waarde bereikt dan het excitatie-instrument maximaal kan volgen, zodat „klepperen” optreedt. In dat geval zal het nodig zijn de stroomsterkte (en dus ook de kracht F) te verminderen tot het klepperend bijgeluid verdwijnt. Een andere methode, waarbij men de stroomsterkte onveranderd kan laten of zelfs nog groter kan maken, bestaat in het op een andere plaats op het object aanbrengen van de tastpen van de excitator, namelijk zo dicht bij een trillings-knooppunt, dat z_m een voldoende grootte bereikt om $\hat{x}$ of $\hat{\ddot{x}}$ binnen de toelaatbare grenzen te houden.

EEN FAZE-RESONANTIEMETHODE VOOR HET METEN VAN ZELFINDUCTIE IN HET GEBIED VAN GELUIDSFREQUENTIES

door

J. SEVERS, Eindhoven.

Een apparaat voor het meten van zelfinductie bij geluidsfrequenties is een luxe, die men in kleine laboratoria of electro- of radio-service werkplaatsen betrekkelijk zelden aantreft.

Gezien de omstandigheid, dat metingen van de zelfinductie in het algemeen minder veelvuldig noodzakelijk blijken dan die van capaciteit of weerstand — waarvoor de „Philoscoop” GM 4140 reeds jaren lang met succes gebruikt wordt — is dit niet te verwonderen. Goede zelfinductiemeetbruggen zijn kostbaar, en bovendien zijn zij moeilijk zo te maken, dat zij gebruikt kunnen worden bij zulk een gevarieerde reeks frequenties, spanningen of stromen als in de praktijk van een niet sterk gespecialiseerd bedrijf soms voorkomt.

Gebeurt het dan eens, dat men de zelfinductie-coëfficiënt van een gegeven spoel onder bepaalde omstandigheden wenst te weten, dan behelpt men zich in de regel met een voor het doel geschikt lijkende tijdelijke meetopstelling, die is opgebouwd uit ter beschikking staande onderdelen.

Uitdrukkelijk stelden wij „onder bepaalde omstandigheden”: Men moet namelijk altijd in gedachten houden, dat metingen van zelfinductie onder bedrijfscondities het meest waardevol zijn. Als reden is hiervoor op te geven de van meerdere factoren afhankelijke invloed van wervelstromen, windingscapaciteit en eigenschappen van een eventuele ijzerkern op de zelfinductie en de verliesweerstand van een spoel.

Van de verschillende schakelingen volgens welke men een tijdelijke meetopstelling pleegt te maken, zijn de „impedantiemethoden” en de stroom- of spannings- „resonantiemethoden” zonder twijfel de meest gebruikelijke. Volgens de impedantiemethode berekent men de zelfinductie-coëfficiënt uit de gegevens impedantie en frequentie; in het geval van meting met behulp van stroom- of spanningsresonantie, uit afstemcapaciteit en resonantiefrequentie. Beide methoden kunnen uitkomsten geven welke, onder gebruikmaking van normale instrumenten en andere hulpmiddelen, binnen enkele procenten correct zijn. Zij hebben echter één gemeenschappelijk bezwaar, en wel, dat de uitkomsten al spoedig zeer onbetrouwbaar worden naarmate de „kwaliteitsfactor” van de spoel bij de gegeven meetfrequentie kleiner is dan omstreeks een waarde vijf. Onder de kwaliteitsfactor Q van een spoel verstaat men, zoals bekend, de verhouding tussen haar reactantie ωL en haar totale verliesweerstand r

($Q = \frac{\omega L}{r}$); deze verhouding is tevens gelijk aan de tangens van de fazehoek tussen spanning over en stroom door de spoel.

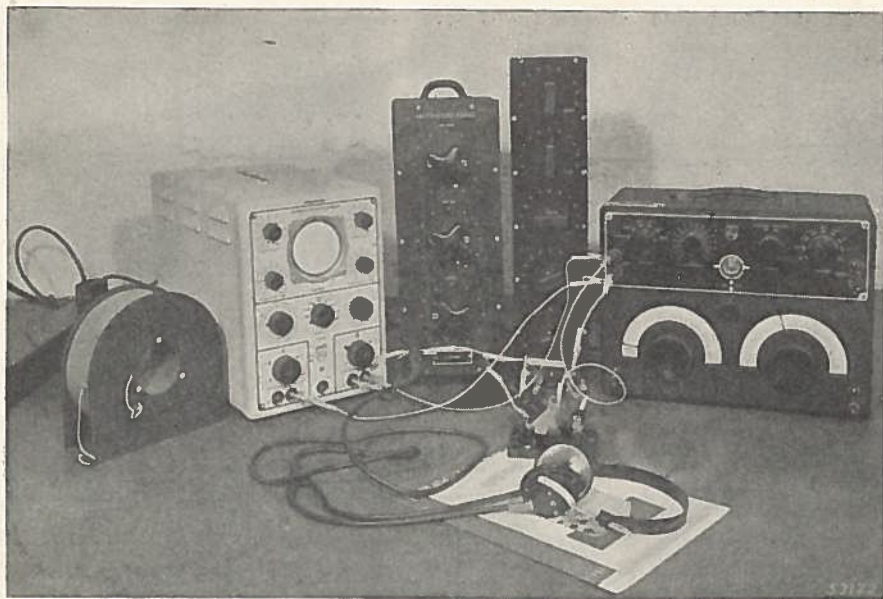


Fig. 1. De opstelling van de apparatuur voor het meten van zelfinducties en de verliesweerstand ervan. Van links naar rechts: een te meten filterspoel, de oscillograaf GM 3159, een condensatorbank, een weerstandsbank en de L.F.generator GM 2307. Op de voorgrond een hoofdtelefoon waarvan de zelfinductie werd bepaald, en een omschakelaar voor het bepalen van de verliesweerstand.

Bij de impedantiemethoden heeft een kleine Q het bezwaar, dat de correctie voor de — onbekende — verliesweerstand te belangrijk zou worden ; bij de stroom - of spanningsresonantiemethoden geldt, dat het resonantie-punt niet meer voldoende scherp is vast te stellen, vooral indien de generatorspanning niet perfect stabiel is.

Nu komt het betrekkelijk zelden voor, dat een spoel die bij radiofrequenties moet worden gebruikt, de bovenbedoelde slechte Q heeft. Bij de lagere geluids-frequenties en bij de netfrequenties 25 — 60 p/s, is het echter meer regel dan uitzondering, dat de verliesweerstand niet zeer klein is ten opzichte van de reactantie.

Het is niet onze bedoeling hier te spreken over het bepalen der zelfinductie van weerstandspoelen en andere kringelementen, waarvan het dominerende karakter ohms is ; deze kunnen eigenlijk alleen maar in een zorgvuldig uitgevoerde brugschakeling nauwkeurig worden gemeten. Ook moeten wij uitzonderen spoelen waarvan de ijzerkern, onder normaal gebruik, een zo hoge flux-dichtheid heeft, dat de magnetisatiestroom bij sinusvormige spanning sterk vervormd is of dat, bij een sinusvormige magnetisatiestroom, een vervormde magnetisatiespanning optreedt. Het begrip zelfinductie-coëfficiënt mag men op deze spoelen niet zonder meer toepassen, en als men de verhouding ervan tussen het effectieve imaginaire en het reële deel van de magnetisatiestroom wenst te kennen, doet men het best een volt-, ampère- en wattmeter te gebruiken.

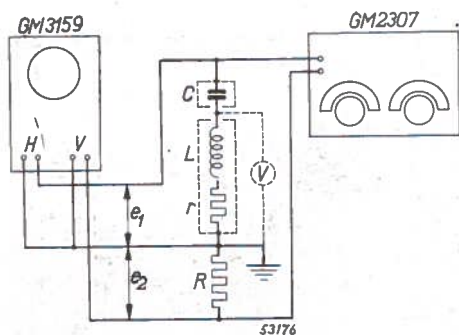


Fig. 2. Schema van de meting van zelfinductie van spoelen en transformatoren met behulp van een laagfrequentgenerator GM 2307 en een oscillograaf GM 3159.
 C = een bekende capaciteit (bijv. condensatorbank met fijnregeling)
 L = de te meten zelfinductie
 r = de verliesweerstand van de te meten zelfinductie
 R = een inductievrije serieweerstand
 V = een eventuele voltmeter (Philips GM 4132)

Voor de overige in het laagfrequentiegebied toegepaste zelfinducties, als aanpassingstransformatoren, smoorspoelen, filterspoelen, veldspoelen, meter-, pick-up- of telefoonspoeltjes, enz., is de methode die wij hier willen behandelen goed te gebruiken, mits slechts de kwaliteitsfactor van de betreffende spoel bij de meetfrequentie groter is dan omstreeks 0,5. Deze methode, die kortweg met faze-resonantiemethode" kan worden aangeduid, is geenszins nieuw, maar geniet toch niet de bekendheid die zij verdient. Daar in de meetuitkomst geen aflezingen van stroom- of spanningaanwijzende instrumenten verwerkt behoeven te worden, worden aan de spanningsconstantheid van de generator ook maar lage eisen gesteld. Ook in dit opzicht is de faze-resonantiemethode te verkiezen boven de reeds eerder genoemde werkwijzen.

Het fundamentele blokschema der schakeling is getekend in fig. 2. Op een L.F. stroombron is een serie-keten aangesloten, die bestaat uit een bekende capaciteit C , de te meten zelfinductie L met haar verliesweerstand r en een kleine inductievrije serieweerstand R . Als men L bij één bepaalde frequentie wenst te kennen, moet de capaciteit variabel zijn (bijv. condensatorbank met fijnregeling). Een eventuele afscherming van deze condensator verbindt men zoals gestippeld is aangegeven. De serieweerstand R behoeft slechts zo groot te zijn, dat het spanningsverlies R een voldoende grote verticale deflectie van de electronenstraal geeft als de oscillograaf op volle gevoeligheid staat. Enige ohms of tientallen ohms zijn gewoonlijk voldoende. Daar de L.F. oscillator over deze weerstand geaard wordt, make men R niet groter dan nodig; de weerstandswaarde ervan behoeft echter niet bekend te zijn. Verder zijn in de figuur gestippeld aangeduid de aarding van de spoel-afschermibus, voor gevallen waar deze bus aanwezig is of noodzakelijk aangebracht moet worden, alsmede de schakeling van een voltmeter over de spoel, indien de zelfinductie afhankelijk is van de grootte der wisselspanning. Vanwege zijn hoge ingangswaerstand (1,2 megohm) is de GM 4132 voor het meten van de spanning over de spoel een zeer geschikt instrument.

Zoals men ziet, wordt de spanning e_1 , die over de serieschakeling CLr staat, toegevoerd aan de aansluitbussen voor horizontale deflectie; de

met de stroom evenredige spanning e_2 wordt verbonden met de bussen voor verticale deflectie van de oscillograaf.

De fazehoek φ tussen de spanningen e_1 en e_2 is gegeven door de betrekking:

$$(1) \quad \varphi = \text{bg tg } \frac{\omega L - 1/\omega C}{r},$$

waarin $\omega = 2\pi f$, f = oscillatorfrequentie in per/sec, L in henry = effectieve zelfinductiecoëfficiënt bij de werkfrequentie, C in farad en r in ohm.

In het geval: $\omega L = \frac{1}{\omega C}$, is $\varphi = \text{nul}$; spanning over en stroom door de serieschakeling zijn dan in fase. Deze toestand noemt men *faze-resonantie*, en het is duidelijk dat, indien men een middel heeft om het door nul gaan van de fazehoek duidelijk te observeren, de zelfinductie eenvoudig te berekenen is uit:

$$(2) \quad L = \frac{1}{\omega^2 C} \text{ henry,}$$

waarin φ en C de voor $\omega = 0$ geldende waarden hebben.

Wij willen aannemen, dat men een oscillograaf gebruikt die in het werkfrequentiegebied zelf geen noemenswaardige fazefout introduceert. Men kan zich hiervan vooraf vergewissen door de serieschakeling $C L r$ te vervangen door een zuivere weerstand; $\varphi_{e_1 e_2}$ is dan steeds nul, en als dit het geval is, moet op het oscillograafscherm een enkelvoudige rechte lijn verschijnen. De hoek die deze lijn maakt met de horizontale positie is afhankelijk van de verhouding e_2/e_1 , alsmede van de versterkingsgraad der horizontale en verticale versterkers. Voor $\varphi \neq 0$ gaat de rechte lijn over in een ellips. De werkmethode is dus eenvoudig deze, dat men bij vaste frequentie de capaciteit varieert, dan wel, bij vaste capaciteit C , de frequentie, tot men de conditie $\varphi = 0$ bereikt, waarna L volgt uit vergelijking (2). Onder-tussen kan het nodig zijn de versterkingsgraad der oscillograafversterkers of de door de L.F. oscillator afgegeven spanning bij te regelen, om een beeld van behoorlijke grootte op het scherm te houden of — indien L een ijzerkern bevat — de spanning over de spoelen de gewenste grootte te geven. En passant zij opgemerkt, dat bij spoelen met kleine $\omega L/r$, het optreden van maximale spanning over de spoel niet samenvalt met faze-resonantie. Indien men de schakeling inricht overeenkomstig fig. 3, is het ook mogelijk de verliesweerstand r van de spoel bij benadering te weten te komen. Hiertoe schakelt men, na het bereiken van de resonantietoestand, over op de regelbare vergelijkingweerstand r_v en regelt deze tot de lijn op het scherm wederom dezelfde grootte en helling heeft; r is dan gelijk aan r_v , met de volgende begrenzing:

De verliesweerstand van de condensator, die men gewoonlijk niet kent, is feitelijk ook bij r inbegrepen, wat de methode onnauwkeurig maakt, indien Q groter is dan ongeveer 10 en C een papiercondensator is, of als Q groter is dan ca. 100 en C een micacondensator is.

Het is gewenst de regelaars voor beeldintensiteit en focussering zo in te stellen, dat een zo fijn mogelijke lijn wordt verkregen. Als men er dan,

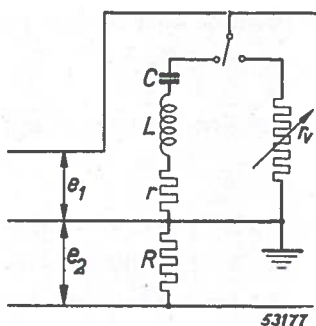


Fig. 3. Schakeling ter bepaling van de verliesweerstand r van de spoel L met behulp van een variabele vergelijkingsweerstand r_v .

met behulp van de gevoeligheidsregelaar(s) voor zorgt, dat de lijn onder een hoek van 45° op het scherm staat en dat deze lijn 6 à 7 cm lang is, kan men het verschil tussen een ellips met een verhouding der korte en lange assen van ca. $1/100$ en een rechte lijn nog waarnemen, hetgeen overeenkomt met een hoek φ van $1/50$ radiaal ¹⁾.

Het is niet moeilijk aan te tonen dat een meetonzekerheid van $1/50$ radiaal bij regelbare frequentie overeenkomt met een onzekerheid in frequentie van $1/Q\%$, of, bij regelbare capaciteit, met een onzekerheid van $2/Q\%$ in capaciteit.

Bij een spoelkwaliteit $Q = \omega L/r = 0,5$, is de onzekerheid dus nog pas 2, resp. 4%, wat in beide gevallen een tolerantie van 4% in de L -bepaling meebrengt. Berekenen wij daarentegen hoeveel voor deze zelfde verstemmingen bij $Q = 0,5$ de stroom door de serieschakeling verandert, dan blijkt dit slechts $7,7 \cdot 10^{-4}$, dus nog geen 0,1% te zijn, wat op geen enkele normale meter duidelijk is af te lezen, afgezien nog van de eisen die aan de spanningsconstantheid gesteld zouden moeten worden. Het voordeel van de faze-resonantiemethode bij kleine spoelkwaliteitsfactor is hiermee wel aangetoond, hoewel tegelijkertijd gebleken is, dat het voor de nauwkeurigheid van veel belang is, dat de oscillograaf zelf geen merkbare fazefout heeft.

Men kan, indien het verschil in fazeverschuiving der horizontale en verticale versterkerkanalen niet verwaarloosbaar is, dit verschil overigens nog uitwendig compenseren. Daartoe behoeft men slechts in een der t.o.v. aarde spanning voerende verbindingen naar de Hor. of Vert. aansluitbussen (proberen welke) een koolweerstand van zegge omstreeks 50 000 ohm op te nemen, en de betreffende bussen te shunten met zoveel capaciteit als nodig is om de ellips te doen verdwijnen als e_1 en e_2 in faze zijn.

Fig. 1 toont de opstelling die gebruikt werd voor het meten van de zelf-inductie en de verliesweerstand van de spoelen van een hoofdtelefoon, en van die van een filterspoel (links op de afbeelding). Deze opstelling omvat een oscillograaf GM 3159, een L.F. generator GM 2307, een decade-condensatorbank van $1000 \mu\mu F$ tot $1 \mu F$, een decade-weerstandsbank van

¹⁾ radiaal = $360/2\pi$ hoekgraden.

Fig. 4. Vervorming van het oscillogram door niet sinusvormige afbuigspanningen. Een dergelijk oscillogram kan men verwachten bij het meten van spoelen met gesloten ijzerkern, als de inductie in het ijzer niet zeer laag is.



0,1 tot 1000 ohm, en een omschakelaar. De meting aan de telefoon werd uitgevoerd met 10 V_{eff} wisselspanning (gemeten met behulp van een versterker-voltmeter GM 4132) over de telefoon en een frequentie van 300 Hz. Als seriecapaciteit voor het verkrijgen van resonantie werd gevonden $C = 0,094 \mu\text{F}$, zodat $L = \frac{1}{6,28^2 \cdot 300^2 \cdot 9,4 \cdot 10^{-8}} = 2,99$ henry en $X_L = 6,28 \times 300 \times 2,99 = 5640$ ohm. Na het omschakelen op de decade-weerstandsbank moest een weerstand $r_v = 5510$ ohm worden ingesteld, om voor de lijn op het scherm van de oscillograaf weer dezelfde helling te verkrijgen.

Hieruit volgt dus voor de kwaliteit van de spoel van de telefoon bij 300 p/s:

$$Q = \frac{5640}{5510} = 1,02.$$

Voor de afgebeelde luchtspoel werd gevonden, bij een frequentie van 500 p/s:

$$C = 0,083 \mu\text{F}, L = \frac{1}{\omega^2 C} = 1,22 \text{ Hy}, r_v = 78 \text{ ohm}, Q = 49,1.$$

De gelijkstroomweerstand van deze spoel was 65,5 ohm. Opgemerkt dient nog te worden dat, bij het bepalen van de verliesweerstand, een merkraster voor het scherm van de buis zeer veel gemak oplevert. Men kan daarmee veel nauwkeuriger dezelfde helling van de lijn op het scherm instellen voor de twee standen van de omschakelaar.

Enkele punten van algemeen belang mogen nog in het kort worden gereleveerd :

Als men een spoel met een zodanig kleine zelfinductie moet meten, dat de condensator C een buitengewoon grote capaciteit zou moeten hebben om bij de gewenste meetfrequentie resonantie te verkrijgen, kan men op de volgende wijze met een veel kleinere capaciteit toekomen. Men maakt eerst resonantie met een betrekkelijk grote L van zeer goede kwaliteit en noteert zorgvuldig de capaciteitswaarde C. Vervolgens schakelt men de kleine zelfinductie L_x met de grote in serie, en noteert de capaciteitsvermindering ΔC die nodig is om de resonantie te herstellen. Dan is:

$$(3) \quad L_x = \frac{1}{\omega^2 C} \cdot \left(\frac{\Delta C}{C - \Delta C} \right) \quad (L_x \text{ in henry})$$

$$(C \text{ in farad})$$

Dezelfde modificatie kan van voordeel zijn als de kwaliteitsfactor L_x kleiner is dan ongeveer 0,5.

Bij het meten van spoelen met ijzerkern, zal het dikwijls niet mogelijk blijken een rechte lijn op het scherm te produceren, doch men verkrijgt bijvoorbeeld in het gunstigste geval een uit 3 lussen bestaande figuur, als het oscillogram fig. 4 toont. De juiste afstemming heeft men dan bereikt indien deze drie lussen dezelfde breedte hebben. De beschreven faze-resonantiemethode kan zo nodig worden gewijzigd voor het meten van smoorspoelen met gelijkstroom-voormagnetisatie, doch het zou te ver voeren hierop thans in te gaan.

Tot slot zij nog opgemerkt, dat het bij de hogere geluidsfrequenties kan voorkomen, dat men op geen enkele wijze een capaciteitswaarde kan vinden waarbij de lus op het scherm van de oscillograaf tot een lijn is te reduceren. Dit wijst er dan op, dat men boven de *eigen*frequentie van de spoel werkt; zij heeft dan geen inductief karakter meer, doch een capacitief.

INHOUD

Het gebruik van de trillingsopnemer GM 5526 bij het dynamisch onderzoek — Een faze-resonantiemethode voor het meten van zelf-inductie in het gebied van geluidsfrequenties.

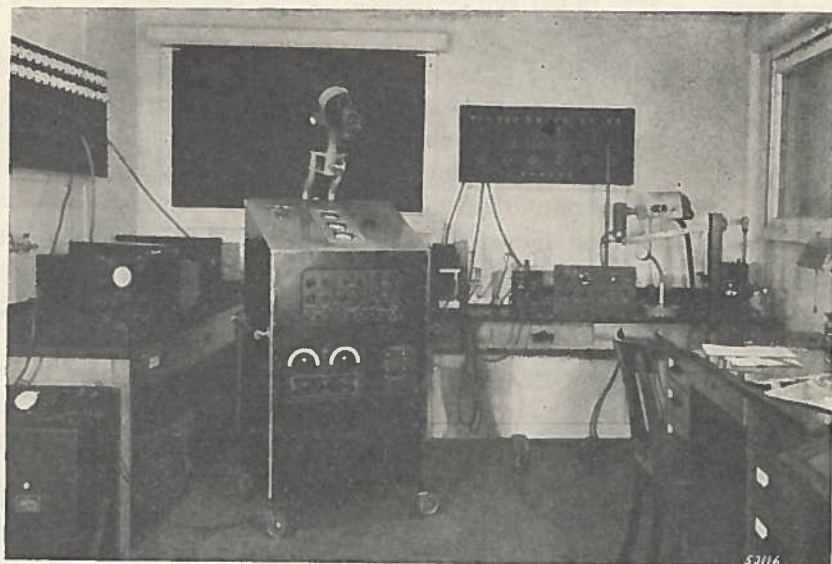
ELECTRONISCH METEN

DE TOEPASSING DER MODERNE
ELECTRONISCHE MEETAPPARATEN
IN LABORATORIA EN BEDRIJVEN



JAARGANG 2

NUMMER 2



*De apparatuur in het
onderzoekslaboratorium
van een moderne
motorenfabriek.*

INDUSTRIEEL ONDERZOEK

Bij industriële onderzoeken komt het herhaaldelijk voor, dat men aan het bestuderen van slechts één verschijnsel niet meer voldoende heeft om tot een goed en betrouwbaar resultaat te komen. Men wil twee of zelfs meer verschijnselen tegelijk kunnen bestuderen.

Een modern hulpmiddel voor dergelijke onderzoeken is de Philips Electronische Schakelaar, type GM 4580. Dit apparaat maakt het mogelijk, met een normale kathodestraal-oscillograaf twee verschijnselen tegelijk zichtbaar te maken.

In dit nummer wordt een beschrijving gegeven van metingen die met deze combinatie werden uitgevoerd in een fabriek van verbrandingsmotoren, en geven wij een uiteenzetting van het gebruik van deze combinatie bij het controleren van het productieproces van kristallen.

HET GEBRUIK VAN DE ELECTRONISCHE SCHAKELAAR

GM 4580 BIJ INDUSTRIËLE ONDERZOEKINGEN ¹⁾

Ontmoet de electronica in de praktijk hier en daar nog wantrouwen, in het algemeen heeft deze techniek reeds lang de grenzen van de physische en electrotechnische laboratoria overschreden en is zij ver doorgedrongen in het gebied van de industriële onderzoekingen, ja zelfs in dat van de fabricage en de bedrijfsmechanisatie. Men is er immers in geslaagd, in de meeste gevallen zelfs zonder veel moeite, een aantal omvormers te construeren, die alle mogelijke verschijnselen die niet van electrische oorsprong zijn, in electrische grootheden omzetten.

Het doel van deze omvorming is, in het algemeen, op het scherm van een oscillograaf een kromme zichtbaar te maken, waaruit niet alleen de verschillende ogenblikswaarden van het onderzochte verschijnsel kunnen worden afgelezen, maar ook het verloop ervan met betrekking tot de tijd. Deze manier van meten is dermate volmaakt en is gebleken van zo grote betekenis te zijn, dat systematische onderzoekingen in nagenoeg alle takken van de techniek nauwelijks denkbaar zijn, anders dan met het universele meetapparaat: de kathodestraaloscillograaf. Het zal zelfs dikwijls voorkomen, dat men aan het registreren van slechts één verschijnsel niet voldoende heeft, maar dat het beslist noodzakelijk is twee of meer grootheden gelijktijdig te kunnen bestuderen.

Bestaat in vele gevallen de behoefte twee onbekende, maar onderling met elkaar verband houdende verschijnselen te kunnen vergelijken, bijv. trillingen en zoemtonen of geruis van een machine, in andere gevallen zal het nodig zijn, een te onderzoeken waarde met een bekende grootheid te vergelijken, bijv. de frequentie van een onbekend verschijnsel met die van een bekend signaal.

Er zijn verschillende manieren om deze vergelijkende metingen uit te voeren; een ervan is die, waarbij gebruik wordt gemaakt van de Philips electronische schakelaar type GM 4580. Dit apparaat bevat twee gelijke en gescheiden versterkers, die met behulp van een electronische schakelinrichting beurtelings worden verbonden met de uitgang van het instrument. Hierdoor wordt het dus mogelijk, op het scherm van een oscillograaf twee electrische grootheden onafhankelijk van elkaar zichtbaar te maken. Op het principe en de constructie van de electronische schakelaar wordt hier niet verder ingegaan, doch enkele voorbeelden van de gebruiksmogelijkheden mogen het nut van dit apparaat in het licht stellen.

¹⁾ Publicatie van het onderzoekingslaboratorium van Adolph Saurer A.G., Arbon, Zwitserland.

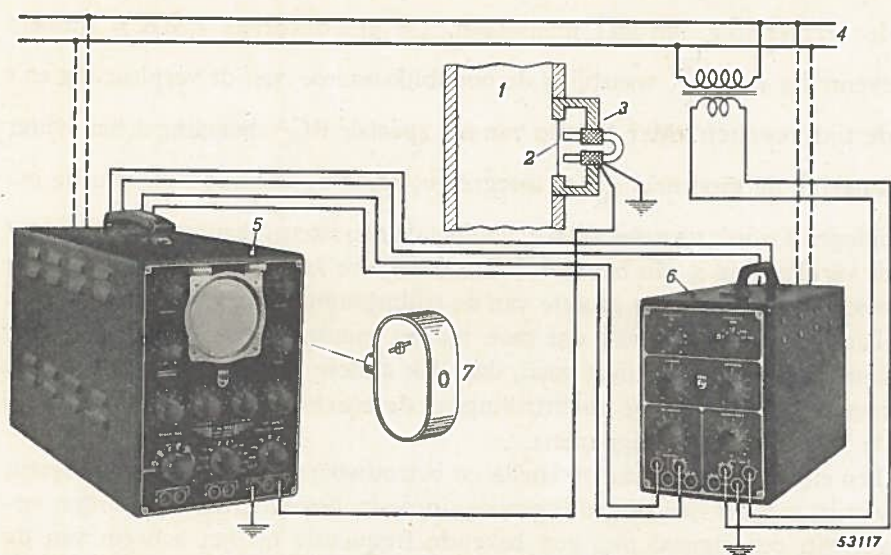


Fig. 1. Schema van de opstelling voor het bestuderen van luchttrillingen in de toevoerbuiss van een vliegtuigmotor.

- 1 = luchttoevoerbuis bij de motor.
- 2 = membraan.
- 3 = electromagneet met inductiewikkeling.
- 4 = 50 Hz-lichtnet.
- 5 = Philips kathodestraaloscillograaf GM 3152.
- 6 = Philips elektronische schakelaar GM 4580.
- 7 = filmcamera.

Het gedrag van een vliegtuigmotor geeft aanleiding tot de veronderstelling, dat in het luchttoevoerkanaal trillingen optreden. Er moet nu worden onderzocht, of dit vermoeden juist is en zo ja, hoe het karakter en de grootte van deze trillingen veranderen bij verschillende toerentallen en onder verschillende omstandigheden. De bedoelde trillingen deden zich inderdaad voor, en wel bleek dat zij in bepaalde gevallen zeer kenmerkend waren. Daar voor het onderzoeken van alle soorten trillingen de kathodestraaloscillograaf het aangewezen apparaat is, moest een opnemer worden vervaardigd, die de luchttrillingen in elektrische spanningvariaties kon omzetten. In het desbetreffende geval bleek een membraan met een voldoende hoge eigen frequentie, geplaatst in het veld van een permanente magneet, het doelmatigst. Het membraan werd in de wand van de te onderzoeken leiding aangebracht. Daar het dus door alle in de leiding voorkomende luchttrillingen wordt aangestoten, zal het met dezelfde frequentie de magnetische flux waarin het zich bevindt doen veranderen. Op haar beurt hebben de veranderingen van de magnetische flux ten gevolge, dat in een spoel die op de benen van de magneet is gewikkeld, een elektrische spanning wordt geïnduceerd, die met de oscillograaf kan worden gemeten.

Deze soort opnemers vertoont in zoverre een principiële fout, dat de verkregen spanning afhankelijk is van de snelheid en niet van de grootte van

de verplaatsing van het membraan. De geïnduceerde EMK is immers evenredig met $\frac{dx}{dt}$, waarbij x de ogenblikswaarde van de verplaatsing en t de tijd voorstelt. Met behulp van een speciale RC-schakeling is het echter mogelijk de grootheid $\frac{dx}{dt}$ te integreren, zodat de spanning die aan de oscillograaf wordt toegevoerd, met voldoende nauwkeurigheid evenredig is met de verplaatsing x van het membraan. Derhalve kan, behalve de frequentie, ook een maat voor de grootte van de trillingsamplitude worden verkregen. Terloops zij opgemerkt, dat men bij het monteren van de opnemer zeer nauwkeurig te werk moet gaan, daar het anders zeer goed mogelijk is dat men in plaats van de luchttrillingen, de mechanische trillingen die in de buis optreden, registreert.

Ten einde de frequentie op snelle en betrouwbare wijze te kunnen meten, wordt, tegelijk met de trillingen die in de luchttoevoerleiding worden opgewekt, een signaal met een bekende frequentie op het scherm van de oscillograaf (in dit geval het type GM 3152) zichtbaar gemaakt.

Hiertoe sluit men op elke ingang van de electronische schakelaar een van

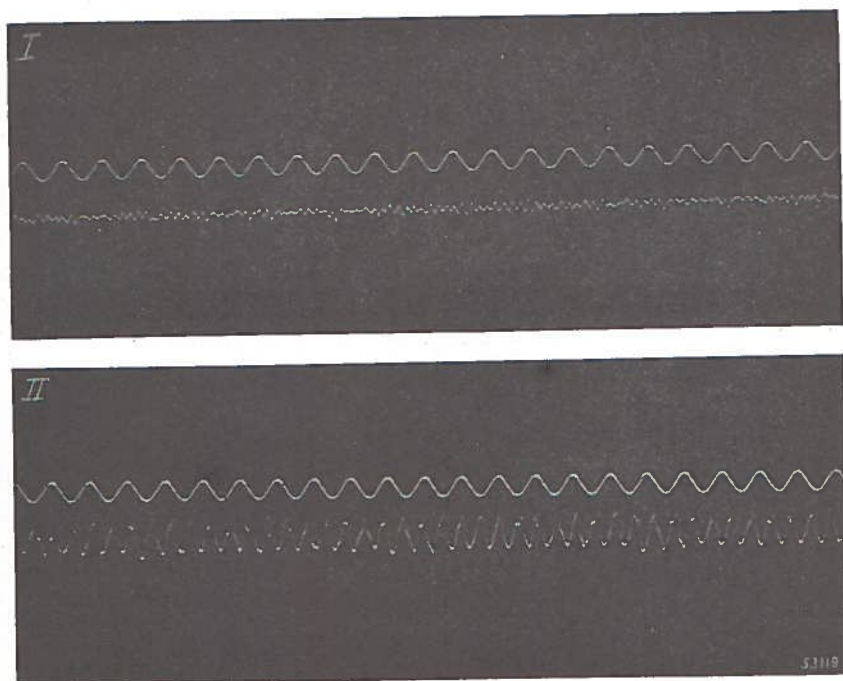


Fig. 2. Voorbeelden van meetresultaten.

- I. Bovenste kromme: bekende frequentie van 50 Hz.
Onderste kromme: trillingen in de luchttoevoerbuis van een vliegtuigmotor; toerental 1600 omw/min; gedrag op de begane grond.
- II. Bovenste kromme: bekende frequentie van 50 Hz.
Onderste kromme: trillingen in de luchttoevoerbuis van een vliegtuigmotor; toerental 1600 omw/min; gedrag op vlieghoogte.

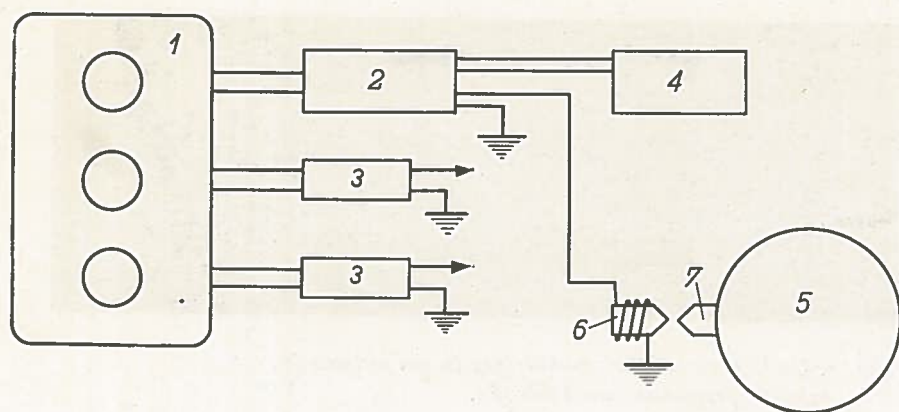


Fig. 3. Schema van de opstelling voor het opnemen van drukdiagrammen.

- 1 = driefvoudige oscillograaf.
- 2 = Philips elektronische schakelaar GM 4580.
- 3 = electrometerversterkers voor het versterken van de door de kwartsdrukopnemers afgegeven spanning.
- 4 = generator voor de bekende frequentie.
- 5 = vliegwiel aan de motor.
- 6 = spoel met ijzeren kern.
- 7 = aan het vliegwiel bevestigde kleine permanente magneet, die bij het passeren van spoel 6 hierin spanningpieken induceert.

de beide spanningen aan. De uitgang van de schakelaar wordt dan rechtstreeks met de verticale afbuigplaten van de oscillograaf verbonden.

Daar de spanning die door de opnemer werd afgegeven, in dit geval te klein was om via de versterker van de elektronische schakelaar de electronenstraal uit te sturen, werd de versterker van de oscillograaf als voorversterker gebruikt. In fig. 1 is het schema van de schakeling weergegeven. Er zij nog op gewezen, dat als bekende frequentie de frequentie van het lichtnet werd gebruikt, waarbij, met behulp van een transformator, de oorspronkelijke spanning tot 6 volt werd gereduceerd.

Fig. 2 toont het resultaat van de hier beschreven onderzoeken, vastgelegd op filmband. Het blijkt duidelijk, dat niet te zien is, dat de diagrammen slechts met één electronenstraal gelijktijdig werden geschreven. De elektronische schakelaar heeft echter niet alleen goede diensten bewezen bij proeven met de verplaatsbare oscillograaf. Zo is o.a. voor het geregelde uitvoeren van wetenschappelijke proefnemingen, het ontwikkelingslaboratorium voor Dieselmotoren van Adolf Saurer A.G. uitgerust met een zelfgebouwde oscillograaf, die speciaal is geconstrueerd voor vergelijkende metingen met behulp van drie kathodestraalbuizen (zie „Motorlastwagen” Nr. 23, 1942, blz. 303). De toepassingsmogelijkheden van dit apparaat zijn door gebruikmaking van de elektronische schakelaar aanmerkelijk uitgebreid. In vele gevallen is het zeker voldoende drie verschijnselen gelijktijdig te kunnen registreren, maar dikwijls is het voordeliger op één buis twee verschijnselen zichtbaar te maken, vooral indien met behulp van kwartsindicatoren het drukverloop van proefmotoren



Fig. 4. Onderzoek van het drukverloop in een uitlaatpijp.

1 = bekende frequentie van 1000 Hz.

2 = zuigerwegdiagram.

3 = atmosferische druk.

4 = drukverloop.

moet worden geïndiceerd. De bekende frequentie, met behulp waarvan men in het diagram iedere gewenste tijd kan bepalen, en de zuigerweg (het vastleggen van de krukhoek door het aangeven van een uiterste stand, bovenste of onderste, van de zuiger) worden dan met behulp van de elektronische schakelaar op één kathodestraalbuis geschreven; de twee andere buizen kunnen voor het registreren van drukdiagrammen worden gebruikt. In fig. 3 is schematisch de opstelling voor het opnemen van drukdiagrammen weergegeven.

In fig. 4 ziet men een opname, waarbij gebruik werd gemaakt van twee kathodestraalbuizen van de oscillograaf. Op de ene buis zijn de bekende frequentie (1000 herz) en het zuigerwegdiagram weergegeven, op de tweede buis ziet men het indicatordiagram van de uitlaat van een één-cylindermotor. De horizontale lijn stelt de atmosferische druk voor. Het diagram vertoont de met behulp van een piëzo-electrische indicator opgenomen

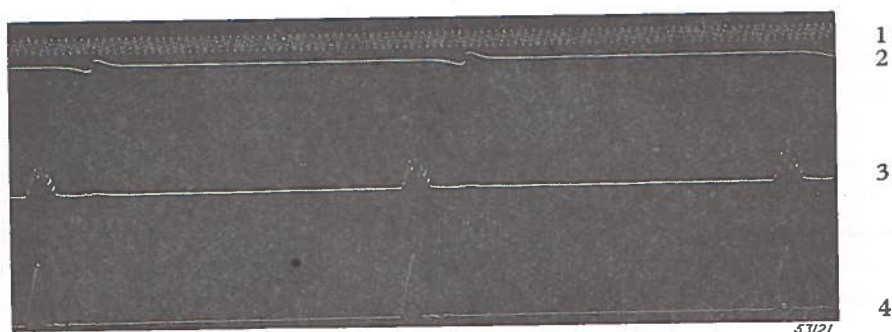


Fig. 5. Drukverloop in een brandstofleiding van een Dieselmotor: toerental 1200 omw/min.

1 = bekende frequentie van 1000 Hz.

2 = zuigerwegdiagram.

3 = druk onmiddellijk achter de pomp.

4 = druk aan de inspuishopening achter het ventielstuk.

drukveranderingen in de uitlaat. Het toerental bedraagt 1200 omw/min, hetgeen overigens nauwkeurig uit het zuigerwegdiagram en de bekende frequentie kan worden afgeleid.

Als laatste voorbeeld worden in fig. 5 diagrammen getoond van een onderzoek aan een brandstof-injectiesysteem, dat met behulp van de drievoudige oscillograaf en de electronische schakelaar werd uitgevoerd. Het drukverloop moest op twee plaatsen tegelijk worden bepaald : 1e. onmiddellijk achter de injectiepomp, en 2e. vóór de inspuitopening; ertussen werd een ventielstuk gemonteerd. Hierdoor waren reeds twee van de ter beschikking staande kathodestraalbuizen bezet, want de waarde van het onderzoek zou uiterst twijfelachtig zijn geweest, als de beide meetresultaten niet tegelijk konden worden opgenomen. Men kon echter ook niet zonder meer afzien van de hulpwaarden tijdindicatie en krukhoek.

Door toepassing van de electronische schakelaar werd het echter mogelijk deze twee signalen op de derde buis vast te leggen. In principe werd de schakeling uitgevoerd op de wijze als is weergegeven in het schema van fig. 3. Elk van de daar aangeduide meetkanalen was verbonden met een piëzo-electrische drukopnemer, die zich op de genoemde plaatsen in de brandstofleiding bevond. Op deze manier was het mogelijk alle vier verschijnselen gelijktijdig op dezelfde filmstrook vast te leggen, hetgeen de proefneming belangrijk bekortte, de uitwerking vergemakkelijkte, en, wat vooral belangrijk was, de waarde en de nauwkeurigheid van de metingen verhoogde.

Het zou mogelijk zijn nog meer dergelijke voorbeelden aan te halen. De hier beschreven metingen mogen echter voldoende zijn om te bewijzen, dat de electronische schakelaar, gebruikt tezamen met een willekeurige kathodestraaloscillograaf, in vele gevallen een waardevolle aanwinst vertegenwoordigt. ¹⁾

¹⁾ In een van de volgende nummers van deze publicatie komen wij op de electronische schakelaar terug.

ELECTRONISCHE MEETINSTRUMENTEN VOOR HET CONTROLEREN VAN DE PRODUCTIE VAN KRISTALLEN

In het acoustisch laboratorium van de Amsterdamse Piëzo-Electrische Industrie „Ronette”, die o.a. rochelle zoutkristallen vervaardigt, worden de kristallen vóór de aflevering onderzocht met behulp van een meetpaneel, waarin verscheidene Philips meetapparaten zijn opgenomen. Met deze meetinstallatie wordt de frequentiekaracteristiek van de kristallen in een speciaal voor dit doel ontworpen schakeling onderzocht. De directie der firma Ronette was zo welwillend ons het schema van het meetpaneel en verdere bijzonderheden voor publicatie in „Electronisch Meten” ter beschikking te stellen.

Principe der schakeling

De uitgangsspanning van een opnemer-element moet worden gemeten als functie van de frequentie bij een constante verplaatsingsamplitude van de naald. Hierbij wordt de eis gesteld, dat de bedrijfsomstandigheden zo natuurgetrouw mogelijk worden nagebootst. De naald en de naalddruk zijn dezelfde als bij het afspelen van een gramfoonplaat. Het opnemer-element wordt bevestigd in een verstelbare arm, die is voorzien van een contra-gewicht, waarmee deze naalddruk is in te stellen. Het gehele apparaat is weergegeven op de foto van de meetopstelling (zie fig. 1 voor het grote meetpaneel). Het aandrijfsysteem bestaat uit een viervoudige kristalplaat, welke wordt bekrachtigd door de uitgangsspanning van een regelbare versterker B (zie fig. 2). Daar deze kristalplaat een eigen frequentiekaracteristiek bezit, moet door bijzondere maatregelen worden voorkomen, dat deze tot uiting komt in de meetresultaten; dit zou het geval zijn als de plaat door een spanning met constante amplitude werd aangedreven.

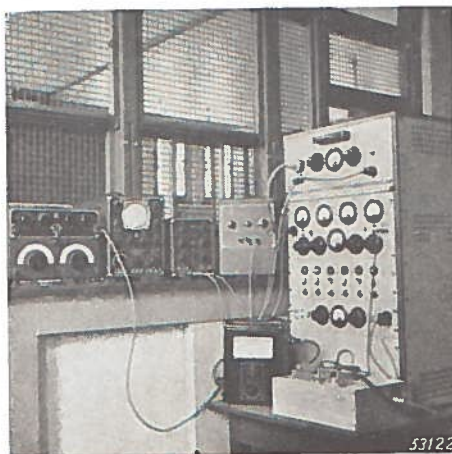


Fig. 1. Foto van de meetopstelling. Op de hoogste tafel zijn te zien, van links naar rechts: de Philips laag-frequentgenerator GM 2307, de oscillograaf GM 3156, de elektronische schakelaar GM 4580 en het gestabiliseerde gelijkspanningsapparaat GM 4560; daaronder de versterker-voltmeter GM 4132.

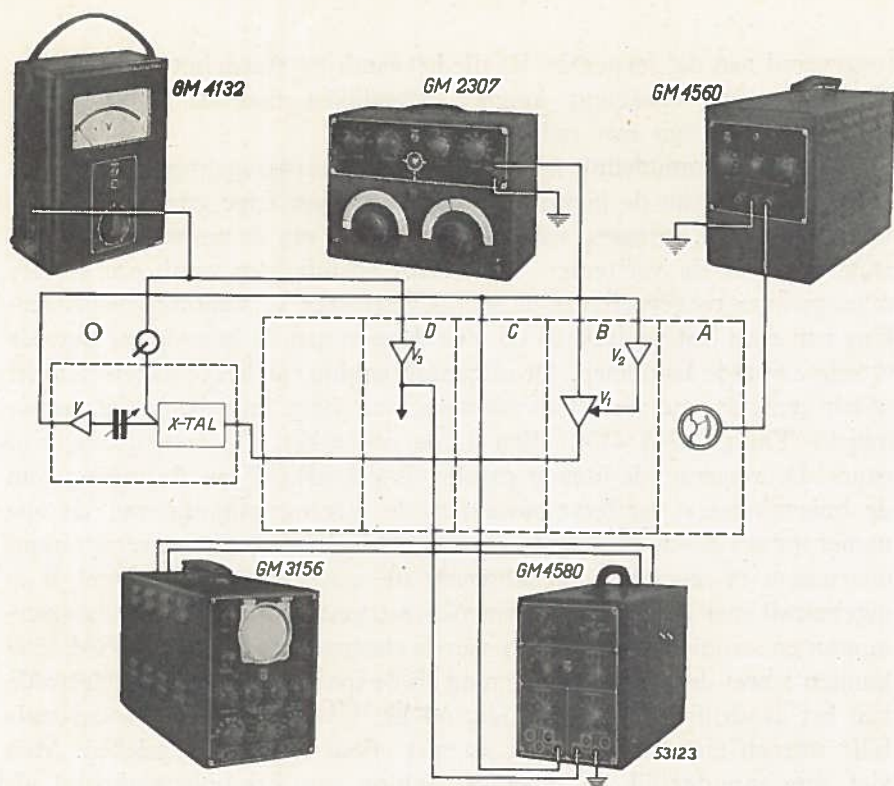


Fig. 2. Meetopstelling voor het bepalen van de frequentie karakteristiek van gramofonopnemers en microfoons. O = gramofonopnemer.

De aan twee zijden ingeklemde kristalplaat draagt aan het vrije hoekpunt een electrode, welke met een tegenelectrode een condensator vormt, waarvan de capaciteitsvariaties bij trilling een getrouwe maat vormen voor de beweging van de electrode.

Daar deze laatste tevens wordt gebruikt als aandrijfpunt voor de opnemer-naald van het te meten kristalelement, geven genoemde capaciteitsvariaties dus ook getrouw de naaldbeweging weer.

Op dezelfde wijze als bij een condensator-microfoon worden de capaciteitsvariaties omgevormd in spanningvariaties, welke met een door gelijkspanning gevoede voorversterker V verder worden versterkt tot een spanning van ongeveer 1 volt. De gloeistroomvoeding (batterijen) voor deze versterker is ondergebracht in paneel A van het meetrek. De anodespanning wordt geleverd door het gestabiliseerde Philips voedingsapparaat GM 4560. Het paneel B bevat een viertraps energieversterker V_1 , welke hetzij het zoëven besproken aandrijfsysteem, dan wel een luidspreker moet voeden. De ingangsspanning wordt verkregen van een laagfrequent generator GM 2307, terwijl de versterking automatisch wordt geregeld door een eveneens in dit paneel ondergebrachte tweede versterker V_2 .

Met behulp van deze versterker wordt de door de versterker V geleverde spanning verder versterkt en gelijkgericht en ten slotte als regelspanning

toegevoerd aan de versterker V_1 , die het aandrijfsysteem in trilling brengt. Men zou deze schakeling kunnen vergelijken met de automatische volumeregeling van een radiotoestel.

Men ziet nu onmiddellijk in, dat door deze terugregeling de verplaatsingsamplitude van de pick-up naald binnen zeer enge grenzen constant wordt gehouden. Immers, stijgt de uitwijking van de meetelektrode, dan stijgt de door de versterker V geleverde spanning en wordt een grotere regelspanning toegevoerd aan de energieversterker V_1 , waardoor de versterking van deze laatste daalt en de uitwijkingen van de kristalplaat weer de vroegere waarde aannemen. De uitgangsspanning van het te meten element wordt gemeten met een buisvoltmeter van hoge impedantie en gevoeligheid (Philips GM 4132). Een derde versterker, V_3 , ondergebracht in paneel D, waarvan de ingang parallel is geschakeld aan de ingang van de buisvoltmeter, versterkt bovendien de uitgangsspanning van de opnemer tot een geschikte waarde voor de bekrachtiging van een registrerend instrument of een direct gecalibreerde dB-meter, welke in paneel B is ingebouwd met enige andere contrôle-instrumenten (voor voedingsspanningen en stromen). Met behulp van de elektronische schakelaar GM 4580 kunnen zowel deze uitgangsspanning als de spanning van de meetelektrode van het aandrijfsysteem gelijktijdig op het scherm van de kathodestraalbuis worden zichtbaar gemaakt en met elkaar worden vergeleken. Men ziet dus onmiddellijk de uitgangsspanning van het opnemer kristal als functie van de naaldbeweging. Vervormingen bij te grote amplituden worden zodoende direct zichtbaar, terwijl bij het variëren van de frequentie van de toongenerator, het verloop van de frequentie karakteristiek in alle details kan worden waargenomen.

Dezelfde apparatuur wordt gebruikt voor het bepalen van de frequentie karakteristiek van microfoons. In plaats van het aandrijfinstrument, wordt dan een luidspreker aangesloten, en de meetelektrode wordt vervangen door een condensator-microfoon met een bekende, zeer rechte karakteristiek.

Op deze wijze wordt de geluidsdruk ter plaatse van de condensator-microfoon constant gehouden. De te meten microfoon wordt in de onmiddellijke nabijheid van de microfoon opgesteld, zodat men verzekerd is, dat hij luchttrillingen van constante amplitude bij alle frequenties van het meetgebied opvangt.

DE KATHODESTRAALOSCILLOGRAAF ALS GENERATOR VOOR HET OP LEVENSDUUR BEPROEVEN VAN RELAIS EN MAGNETISCHE SCHAKELAARS

De ontwerper en de fabrikant van elektrische schakelapparaten zullen hun producten veelal aan een duurproef onderwerpen, ten einde na te gaan hoe zij zich bij langdurig gebruik gedragen voor wat betreft slijtage aan lagers, breuk van onderdelen door vermoeidheid van het materiaal, inbranden van contacten door vonken, enz.

Voor het nemen van duurproeven heeft men een inrichting nodig waarmee het te onderzoeken apparaat periodiek in en uit wordt geschakeld. Heeft men te maken met het in- en uitschakelen van gelijkstroom, dan kan men volstaan met een zeer eenvoudige duurproefinrichting. Zo kan men hiervoor nemen een electromotortje dat een contactschijf met borstels aandrijft, waarmee de vereiste schakelimpulsen worden verkregen. Inge- wikkelder is de opgave echter als men een wisselstroom in en uit wil schakelen op een bepaald ogenblik der faze, bijv. op het ogenblik dat de stroom maximaal is. Het is duidelijk, dat dit met de roterende contact- schijf niet kan worden bereikt.

De bezitters van een Philips kathodestraaloscillograaf GM 3156 kunnen hiervoor echter gebruik maken van de periodieke tijdbasis van dit toestel. Zoals bekend, wordt de periodieke ontlading van de tijdbasis-condensator bereikt door het periodiek ontsteken van een gasgevulde triodebuis EC 50 (ook wel relaisbuis genoemd). Dit ontsteken geschiedt automatisch, telkens op het ogenblik dat het beeldpunt op het scherm van de kathode- straalbuis het einde van de tijdas heeft bereikt (dus uiterst rechts op het scherm is gekomen). *De ontlading van de tijdbasis-condensator heeft plaats door de gasgevulde triode, en de hierbij optredende ontlaadstroomimpulsen kunnen worden gebruikt voor het bekrachtigen van een relais dat in de anode- keten van deze triode wordt geschakeld.* Een voordeel van deze methode is, dat de frequentie der periodieke impulsen met de tijdbasisfrequentie- regelknop op het voorpaneel van de oscillograaf kan worden ingesteld. Deze frequentie kan bovendien worden gesynchroniseerd met een van buiten aan de oscillograaf toegevoerde wisselspanning.

Bij het nemen van schakelproeven aan door wisselstroom gevoede schakel- apparaten, zal men bij voorkeur voor het synchroniseren dezelfde wissel- spanning gebruiken als die welke de stroom door de schakelcontacten veroorzaakt. Met de regelknop voor de synchronisatie en de fijnregel- knop van de tijdbasisfrequentie kan dan zeer gemakkelijk op het juiste ogenblik der faze het relais of de magnetische schakelaar worden be- krachtigd.

De kathodestraaloscillograaf, op deze manier als generator van periodieke schakelimpulsen gebruikt, kan verder zijn functie als oscillograaf normaal

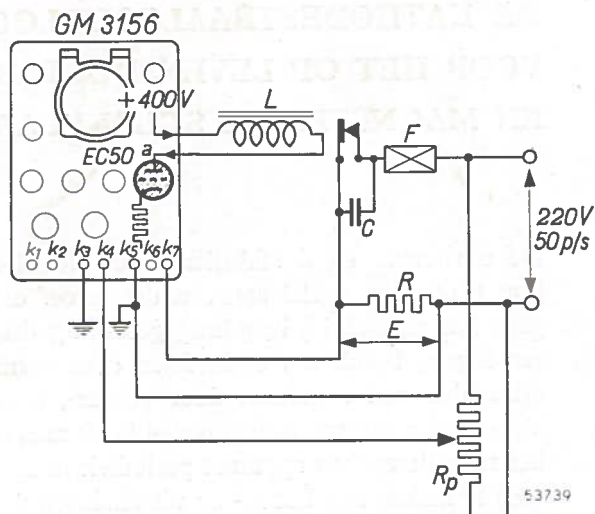
Schema van de inrichting voor het nemen van schakelproeven op een relais met behulp van de kathodestraaloscillograaf GM 3156. De tijdbasis dient als generator van periodieke impulsen.

L = bekrachtigingsspoel van het relais. Deze wordt geschakeld tussen de anode a van de gastriode EC 50 en het dopje aan het aansluitsnoer van deze anode.

F = zekering of secundair apparaat dat aan een duurproef wordt onderworpen.

R_p = potentiometer voor de synchronisatie.

R = serieweerstand. De spanning E over deze weerstand wordt aan de ingang van de versterker van de GM 3156 gelegd, zodat men tevens het oscillogram verkrijgt van de stroom door de keten, welke door de relaiscontacten wordt gesloten en onderbroken.



blijven vervullen. Dit biedt het grote voordeel, dat men tevens de stroom of de spanning in de voedingsketen van het relais of ander apparaat als functie van de tijd op het scherm zichtbaar kan maken en daarmee de juiste instelling kan controleren.

De gemiddelde stroomsterkte in de anodeketen van de relaisbuis is ongeveer 35 mA, een waarde die zeker voldoende is om een normaal relais te bekrachtigen. De grootste weerstand welke in de anodeketen van de gastriode EC 50 mag worden opgenomen is 20 000 ohm. De laagste schakelfrequentie komt overeen met de laagste tijdbasisfrequentie van de oscillograaf GM 3156. Deze is 1/4 p/s (één schakeling per 4 seconden). De hoogste schakelfrequentie wordt meestal bepaald door de traagheid van het relais.

In de figuur ziet men een schema van de duurproefinrichting van een relais. Hierin worden de constanten van het relais zelf aan de duurproef onderworpen. Men kan echter ook het relais gebruiken voor het periodiek in- en uitschakelen van ieder ander gewenst apparaat.

Het aansluiten van het relais geschiedt zeer eenvoudig door eerst het bevestigingsdopje aan het aansluitsnoer van de gastriode EC 50 van de anode van deze buis te verwijderen en daarna de uiteinden van de bekrachtigingsspoel te verbinden met de anode-aansluiting op de top van de ballon van de gastriode en het bevestigingsdopje.

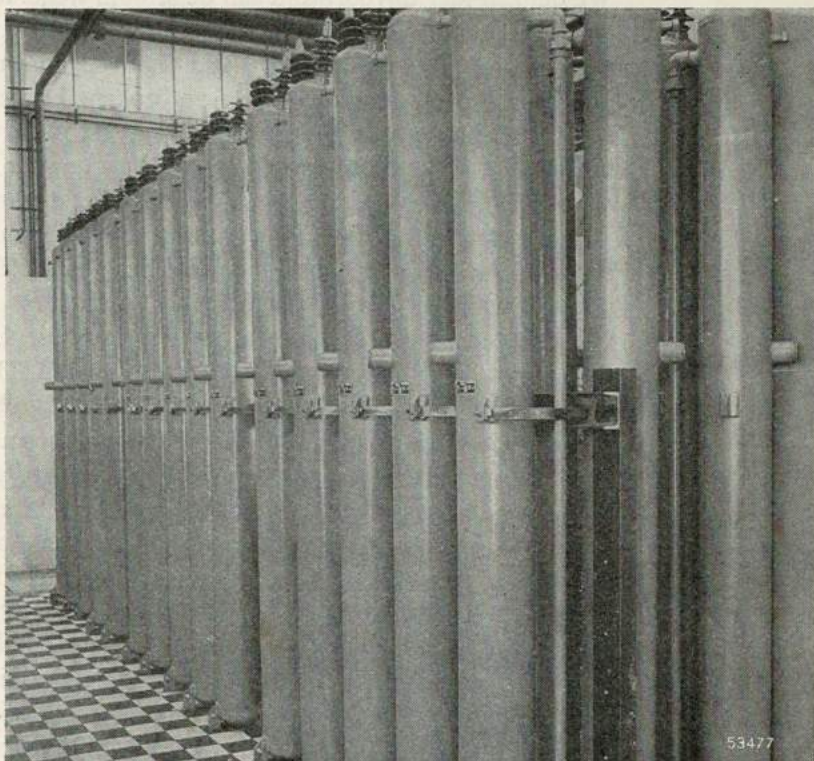
ELECTRONISCH METEN

DE TOEPASSING DER MODERNE
ELECTRONISCHE MEETAPPARATEN
IN LABORATORIA EN BEDRIJVEN



JAARGANG 2

NUMMER 3



Een serie industriecondensatoren waaraan met succes metingen werden verricht met behulp van het electronisch tijdbasisrelais.

Dit nummer handelt over het opnemen van oscillogrammen van eenmaal optredende verschijnselen met behulp van de Philips kathodestraaloscillograaf. Daar de eenmalige tijdbasis van de standaard-oscillografen niet onder alle omstandigheden voldoet, is door Philips, voornamelijk voor zeer snelle, slechts eenmaal optredende verschijnselen, die zelf de eenmalige tijdbasis in gang brengen, een speciaal hulpparaat ontworpen. Dit is een electronisch relais, dat we electronisch tijdbasisrelais noemen. Men zal met belangstelling kennis nemen van het bestaan van dit apparaat en de mogelijkheden die het biedt.

OVER HET OSCILLOGRAFEREN VAN EENMALIGE VERSCIJNSELEN

INLEIDING

Het komt in de practijk veelvuldig voor, dat men te maken heeft met verschijnselen die slechts een bepaalde, soms uiterst korte tijd, duren. We denken hier bijvoorbeeld aan de stroom welke loopt door een flitslamp voor fotografie. Korte tijd na het sluiten van de stroomketen wordt, ten gevolge van de verbranding van het magnesium (waar de stroom doorheen loopt), de stroom weer verbroken. De stroom door de lamp is een verschijnsel dat men *eenmalig* noemt, dit in tegenstelling met blijvend optredende verschijnselen of verschijnselen welke zeer lange tijd duren, als bijv. een stroom door een in bedrijf zijnde transformator, motor enz. In het laatste geval heeft men meestal te maken met *periodieke verschijnselen*, die zich na een bepaalde tijd of periode telkens herhalen op precies dezelfde wijze als in de voorafgaande periode.

Om een verschijnsel te kunnen onderzoeken, dienen we veelal een grootheid ervan als functie van de tijd te observeren. Dit kan geschieden met behulp van de kathodestraaloscillograaf. Met dit toestel kan men een elektrische spanning als functie van de tijd op het scherm van de oscillograafbuis zichtbaar maken, zodat, als men andere grootheden wil observeren, men deze eerst in elektrische spanning moet omzetten. Heeft men een variabele elektrische stroom te onderzoeken, dan maakt men gebruik van de spanningval in een weerstand, om een spanning als functie van de tijd te verkrijgen. In het geval van mechanische verschijnselen maakt men gebruik van mechano-electrische omvormers, welke dus een mechanische grootheid in een daarmee evenredige elektrische spanning converteren. Voorbeelden van dergelijke omvormers zijn de Philips trilling-opnemers (GM 5520, GM 5526, GM 5527) en rekstrookjes. Heeft men een variabele spanning, hetzij als eenmalig verschijnsel, hetzij als permanent verschijnsel, dan wordt zij, meestal versterkt (door middel van de versterker van de oscillograaf), gelegd aan de platen voor verticale afbuiging (Y-platen). Aan de platen voor horizontale afbuiging heeft men dan een spanning nodig welke een tijdfunctie vertegenwoordigt, de zogenaamde tijdbasis, om de spanning aan de Y-platen als functie van de tijd door het beeldpunt te doen schrijven.

Deze tijdbasis wordt doorgaans verkregen door aan de platen voor horizontale afbuiging (X-platen) een spanning te leggen, welke van een bepaalde waarde af lineair toeneemt tot een maximale waarde is bereikt, en dan zeer snel tot de oorspronkelijke waarde terugkeert. Deze spanning

als functie van de tijd heeft dus de vorm van een zaagtand (fig. 1a). De aan de X-platen lineair toenemende spanning veroorzaakt een zodanige verplaatsing van het beeldpunt in horizontale richting, dat de verplaatsing recht evenredig is met de tijd, en dus een tijdmaat is.

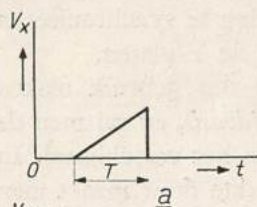


Fig. 1a. Diagram van de spanning aan de X-platen van een kathodestraalbuis als functie van de tijd, in het geval van een eenmalige tijdbasis.

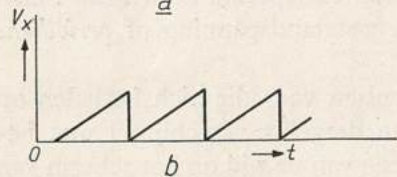


Fig. 1b. Diagram van de spanning aan de X-platen als functie van de tijd, in het geval van een periodieke tijdbasis.

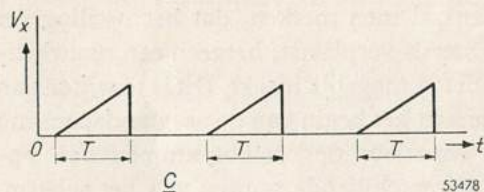


Fig. 1c. Diagram van een repeterende eenmalige tijdbasis spanning aan de X-platen van de kathodestraalbuis.

Meestal geschiedt deze verplaatsing op het scherm, van voren gezien, van links naar rechts. De variabele of wisselspanning aan de Y-platen wordt, ten gevolge van de zaagtandspanning aan de X-platen, als functie van de tijd geschreven op het scherm, zolang de tijdbasis werkt, dus

gedurende de tijd dat de spanning aan de X-platen toeneemt. Is de variabele spanning aan de Y-platen van langere duur dan de zaagtandspanning aan de X-platen, dan zal het verschijnsel (variabele spanning aan de Y-platen) slechts tijdens de duur van de zaagtandspanning als functie van de tijd zichtbaar zijn, en zich daarna als een verticale streep door het beginpunt van de tijdbasis op het scherm vertonen (fig. 2). Deze streep is slechts zolang aanwezig als het verschijnsel duurt. Is het verschijnsel van kortere duur dan dat van de tijdbasis, dan verschijnt het in zijn geheel als oscillogram op het scherm, en dan is de lengte van het oscillogram o.a. afhankelijk van de verhouding tussen de duur van het verschijnsel en die van de tijdbasis. Het is duidelijk dat men, om van een eenmaal optredend verschijnsel een goed oscillogram te krijgen, het tijdstip van het begin van de zaagtandspanning zo nauwkeurig mogelijk moet laten samen vallen met het begin van het verschijnsel zelf. Heeft men te maken met een periodiek verschijnsel van lange duur, of met een permanent verschijnsel dat men gedurende enige tijd wil observeren, dan zal men

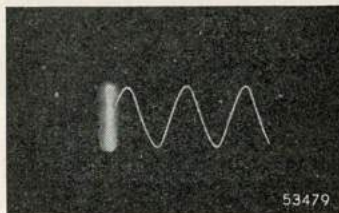


Fig. 2. Oscillogram van een gedeelte van een periodiek verschijnsel van enige duur. Daar van een eenmalige tijdbasis gebruik werd gemaakt, is de spanning aan de Y-platen als functie van de tijd slechts zichtbaar geweest tijdens de duur van de tijdbasis spanning, terwijl gedurende de rest van de tijd, deze spanning de verticale streep links op het oscillogram beschreef.

gebruik maken van een periodieke zaagtandspanning (fig. 1b). Het oscillogram van de periodieke spanning aan de Y-platen verschijnt als een stilstaand beeld op het scherm, als men er voor zorgt dat de verhouding tussen de frequenties van de periodieke spanningen aan de Y-en de X-platen een geheel getal is. Zoals bekend, bereikt men dit in de praktijk door de frequentie van de periodieke zaagtandspanning te synchroniseren met de frequentie van de periodieke spanning aan de Y-platen.

In het geval van een eenmalig verschijnsel zal men dus gebruik maken van een eenmalige zaagtandspanning of *eenmalige tijdbasis*, en zal men de duur van deze spanning aanpassen aan de duur van het verschijnsel. In het geval van periodieke verschijnselen van onbeperkte duur maakt men daarentegen gebruik van een periodieke zaagtandspanning of *periodieke tijdbasis*.

In de techniek komen ook spanningimpulsen voor die zich herhalen op willekeurige tijdstippen. Tracht men een dergelijk verschijnsel met behulp van een periodieke tijdbasis als functie van de tijd op het scherm van de oscillograafbuis te brengen, dan zal men merken, dat het oscillogram van opeenvolgende impulsen zich steeds verplaatst, hetgeen een nauwkeurig onderzoek zeer belemmert, zo niet onmogelijk maakt. Dit is te wijten aan het ontbreken van synchronisme tussen het begin van de zaagtandspanning en het begin van de impulsen, waardoor de oscillogrammen van opeenvolgende impulsen beginnen op verschillende punten van het scherm. Maakt men in dat geval gebruik van een eenmalige tijdbasis die men zich laat herhalen telkens als er weer een impuls optreedt, en zorgt men er voor dat iedere zaagtand op hetzelfde ogenblik begint als de impuls, dan heeft men van de zich repeterende impuls een op het scherm stilstaand oscillogram verkregen (mits natuurlijk iedere impuls precies dezelfde krommevorm vertoont). Een dergelijke tijdbasis, die zich, afhankelijk van de herhaling van het verschijnsel, herhaalt, noemen we *repererende eenmalige tijdbasis* (fig. 1c). In het algemeen zal bij zulk een tijdbasis de tijd tussen opeenvolgende zaagtanden aanmerkelijk langer zijn dan de duur van iedere zaagtand.

DE NORMALE EENMALIGE TIJDBASIS IN DE PHILIPS OSCILLOGRAFEN

Zoals reeds gezegd, is het noodzakelijk dat er een synchronisme bestaat tussen het begin van een eenmalig optredend verschijnsel en het begin van de zaagtandspanning van de eenmalige tijdbasis. De Philips oscillografen, o.a. de GM 3156, zijn zodanig ingericht, dat de ingebouwde tijdbasis ook een eenmalige zaagtandspanning kan leveren.

Bij de GM 3156 kan het in gang brengen van deze eenmalige tijdbasisspanning in principe geschieden door het sluiten van een contact, dat parallel aan de synchronisatieklemmen K_3 en K_4 van deze oscillograaf is aangesloten. In fig. 3 is het schema van de tijdbasis van de GM 3156 weergegeven

voor het geval van de eenmalige tijdbasis. Door middel van een regelbare voorspanning V_R aan de plaat X_1 van de kathodestraalbuis, welke men positief of negatief kan maken t.o.v. aarde (plaat X_2), wordt het beeldpunt naar links van het scherm verplaatst. Door de klemmen K_3 en K_4 met behulp van de schakelaar D kort te sluiten, wordt het rooster van de gastriode $EC50$

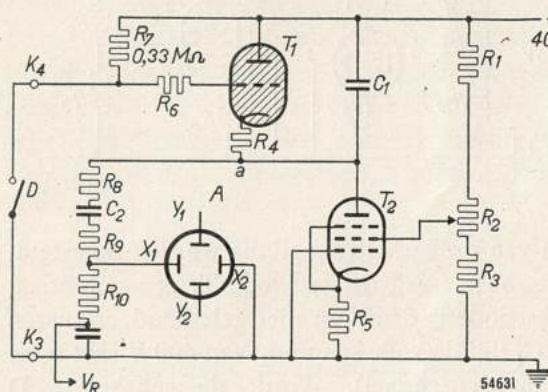
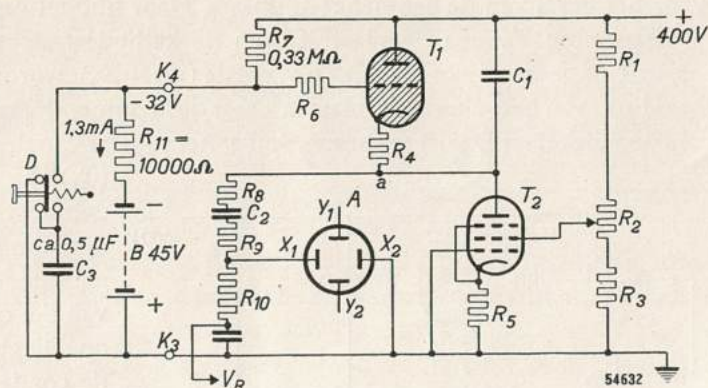


Fig. 3. Vereenvoudigd schema van de zaagtandspanningengenerator van de oscillograaf GM 3156 in de schakelstand voor eenmalige tijdbasis. Parallel aan de klemmen K_3 en K_4 is een schakelaar D aangesloten. Bij het sluiten van deze schakelaar begint de eenmalige tijdbasisspanning, en het openen ervan bepaalt het einde van de tijdbasis. A is de kathodestraalbuis, T_1 de gastriode en T_2 de penthode voor het opladen van C_1 met constante stroom.

(T_1) op aardpotentialaal gebracht en houdt de ontlading door deze buis, en dus de kortsluiting van de condensator C_1 , op. Dientengevolge heeft de condensator C_1 gelegenheid zich op te laden (met constante stroom) via de penthode T_2 , en daalt de spanning aan het punt a van circa $+400V$ recht evenredig met de tijd, tot het ogenblik waarop de kathodepotentialaal zover is gedaald dat de buis weer doorslaat. (Door het dalen van de spanning aan punt a , vermindert ook de potentialaal aan de

plaat X_1 van de ingestelde waarde V_R evenredig met de tijd en beweegt het beeldpunt zich met eenparige snelheid van links naar rechts op het scherm.) De condensator C_1 ontladst zich dan zeer snel over de gastriode, en de potentiala van punt a stijgt tot het ogenblik waarop de rooster spanning t.o.v. de kathode weer zoveel negatief is geworden, dat de ontlading ophoudt. Dan begint de condensator zich weer op te laden. Indien men dus de schakelaar D gesloten houdt, heeft men een periodieke tijdbasis spanning ingeleid. Het openen van D beëindigt deze periodieke tijdbasis. Om dus een eenmalige tijdbasis spanning te krijgen, moet men, nadat men de schakelaar D gesloten heeft, deze openen op of vlak voor het ogenblik waarop de spanning van de kathode van de gastriode voldoende is gedaald om deze opnieuw te doen doorslaan. Dit zal in het algemeen in de praktijk moeilijk te bereiken zijn, en daarom is een betere methode voor het verkrijgen van de eenmalige tijdbasis aangegeven in fig. 4. Men schakelt tussen de klemmen K_3 en K_4 een batterij van 45 volt in serie met een weerstand van 10 000 ohm, en wel zodanig, dat de positieve pool ervan is verbonden met aarde (zie fig. 4). Parallel aan de klemmen K_3 en K_4 wordt een condensator C_3 van geschikte waarde geschakeld in serie met een drukknopomschakelaar D . In de ruststand is de condensator C_3 kortgesloten. In dit geval moet, door middel van V_R , het beeldpunt

Fig. 4. Vereenvoudigd schema van de zaagtandspanninggenerator van de GM 3156. Voor het in gang brengen van de eenmalige tijdbasis wordt gebruik gemaakt van een batterij B in serie met een weerstand van 10 000 ohm en een condensator C_3 in serie met een drukknoopomschakelaar D. Door het indrukken van deze laatste, verspringt het beeldpunt van rechts naar links op het scherm, en begint daarna de tijdbasis.



uiterst rechts op het scherm van de kathodestraalbuis worden ingesteld. Bij open schakelaar heeft het rooster van de gastriode T_1 een potentiaal van -32 V t.o.v. aarde. De gastriode is daardoor niet geleidend, en tussen de platen van de condensator C_1 ligt de volle spanning van 400 V (het punt a heeft dus ongeveer de aardpotentiaal). Wordt de schakelaar D gesloten, dan krijgt het rooster een kort ogenblik de aardpotentiaal voordat de condensator C_1 gelegenheid heeft zich op te laden, en heeft er een ont-lading door de buis plaats (bij een anodespanning van 400 V slaat de buis EC 50 reeds door bij een negatieve roosterspanning van ca. -12 V). De condensator C_2 ontladst zich diensgevolge, en het beeldpunt verspringt naar de linkerkant van het scherm. Vervolgens dooft de buis T_1 , evenals in het geval van fig. 3, en begint de condensator C_1 zich opnieuw op te laden. Het beeld beweegt zich diensgevolge met eenparige snelheid van links naar rechts, tot tussen de platen van deze condensator, weer de maximale spanning van 400 V is bereikt en het beeldpunt zich rechts op het scherm bevindt. Indien men de drukschakelaar D inmiddels niet heeft losgelaten, heeft de condensator C_3 zich opgeladen tot een negatieve potentiaal van 32 V, en kan dus de tijdbasis niet nogmaals beginnen. Dit is ook niet het geval als men de drukschakelaar heeft losgelaten. Deze schakeling biedt dus de mogelijkheid, zonder bijzondere voor zorgen een eenmalige tijdbasis te verkrijgen.

In de praktijk zal men meestal in de plaats van de schakelaar een relais-inrichting gebruiken. Om een volkomen synchronisme te bereiken tussen het begin van het optreden van het verschijnsel en het sluiten van de contacten, moet dit sluiten tevens het verschijnsel inleiden. De snelheid van de tijdbasis wordt dan zó gekozen dat voor het beeld het volle scherm wordt benut. Reeds eerder bespraken wij in „Electronisch Meten” (zie Nrs. 3 en 7) een dergelijke schakeling, waarbij voor het in werking stellen van de tijdbasis gebruik werd gemaakt van een relais.

Bij enkele metingen, waarbij men het optreden van een te meten spanning zelf kan bewerkstelligen, kan met succes van een dergelijke schakeling gebruik worden gemaakt. Als voorbeelden van electrische eenmalige verschijnselen welke men kan inleiden, kunnen worden genoemd :

1. het beproeven van smeltveiligheden, schakelaars, relais, enz.;
2. het keuren van isolatiematerialen met een stootspanning;
3. het meten van inschakelverschijnselen van motoren, gloeilampen, transformatoren, enz.;
4. het meten van overspanningen die het gevolg zijn van het uitschakelen van elektrische stroomkringen;
5. onderzoeken aan elektrische lasinstallaties.

Voorbeelden van enige mechanische eenmalige verschijnselen welke met behulp van geschikte mechano-electrische omvormerelementen als elektrische verschijnselen op het scherm van de kathodestraal-oscillograaf kunnen worden geobserveerd, zijn die welke optreden bij:

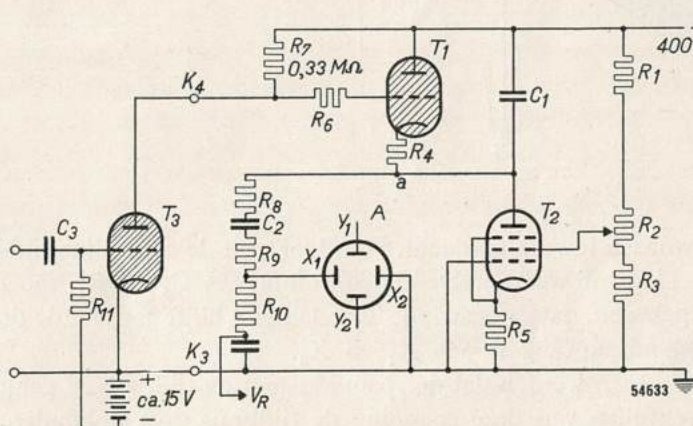


Fig. 5. Vereenvoudigd schema van de zaagtandspanninggenerator van de GM 3156. De tijdbasis wordt in gang gebracht door middel van een gastriode T_3 (Philips EC 50). Een positieve spanningimpuls tussen het rooster van deze buis en aarde veroorzaakt de doorslag ervan, waarop de tijdbasis gaat werken. De doorslag van T_3 moet door middel van de tijdconstante van C_3 en R_{11} even lang gehandhaafd blijven als de duur van de tijdbasis.

6. slagvastheidsbeproevingen van materialen (bijv. met behulp van rek-meters);
7. het onderzoek van breuk in materialen;
8. valproeven;
9. het onderzoek van schietwapens en van explosies.

Ook kan men een contactinrichting met relais zo ontwerpen, dat repeterende eenmalige verschijnselen zichtbaar worden gemaakt. Telkens wanneer zich het contact van de schakelaar D van fig. 4 sluit, worden het verschijnsel zelf en de tijdbasis in gang gebracht en als functie van de tijd op het scherm van de oscillograaf vertoond.

Het in werking stellen van de tijdbasis met behulp van een contactinrichting is echter niet altijd mogelijk. Er kunnen zich omstandigheden voordoen waarbij zulks door een elektrische spanningimpuls moet geschieden. Hiertoe kan men gebruik maken van de omstandigheid dat aan klem K_4 van de oscillograaf (fig. 3 en 4) een positieve spanning ligt. De spanning aan deze klem kan aan de anode van een gastriode Philips EC 50 worden gelegd (fig. 5). Voor de schakeling van fig. 5 heeft men verder nodig een voedingsbron voor de gloeidraad van deze buis en een batterij voor de negatieve roosterspanning (ca. 12 tot 15 V). Deze laatste wordt zodanig ingesteld, dat de ontlading door de buis juist is geblokkeerd. Door een positieve spanningstoot van enige volt (bijv. 10 V) kan de ontlading van de gastriode T_3 , welke het blokkeren van de ontlading van de gastriode

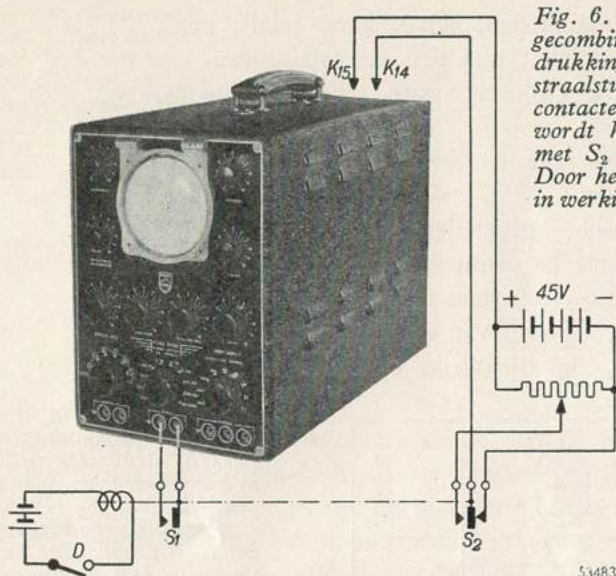


Fig. 6. Een eenmalige tijdbasis, welke is gecombineerd met opheffing van de onderdrukking van de electronenstraal (z.g. straalsturing) door middel van relaiscontacten. Bij het indrukken van D wordt het contact S_1 gesloten en wordt met S_2 een omschakeling teweeg gebracht. Door het sluiten van S_1 wordt de tijdbasis in werking gesteld, en door het omschakelen van S_2 wordt de onderdrukking van de electronenstraal opgeheven. De contacten en de verbindingen van S_2 bevinden zich op een potentiaal van ongeveer 1000 volt t.o.v. aarde.

53483

T_1 veroorzaakt, worden teweeg gebracht. Hierdoor gaat de eenmalige tijdbasis van de oscillograaf werken. De tijdconstante van C_3 en R_{11} moet zodanig worden gekozen, dat de gastriode T_3 geleidend blijft gedurende de tijd van de zaagtandspanning tussen X_1 en X_2 .

In vele gevallen zal men wensen dat de spanningstoot de tijdbasis in gang brengt en het wegvallen van deze spanning de tijdbasis doet ophouden. In dat geval moet men de condensator C_3 weglaten.

HET REGISTREREN VAN ZEER SNELLE EENMAAL OPTREDENDE VERSCHIJNSELEN

Vele eenmaal optredende verschijnselen zijn veel te snel om met het oog te kunnen worden waargenomen. Bovendien kunnen zij dikwijls niet in voldoende snel tempo worden herhaald, om een stilstaand beeld op het scherm van de kathodestraalbuis te verkrijgen. Men moet in dergelijke gevallen het beeld fotografisch vastleggen.

Het maken van fotografische opnamen met behulp van de eenmalige tijdbasis van de oscillograaf levert echter de volgende moeilijkheid op.

Bij de boven beschreven schakelingen is namelijk de straalstroom in de rusttoestand niet onderdrukt; deze stroom geeft dus, zolang de tijdbasis niet werkt, een stilstaand, lichtend beeldpunt op het scherm. Dit zal sluiering van het negatiefmateriaal ten gevolge hebben als de camera-sluiters opengaat vóór het optreden van het verschijnsel, hetgeen doorgaans het geval zal zijn. Door middel van een apart relaiscontact en een batterij die is opgenomen in de keten van de Wehnelt cylinder, is een zogenaamde „straalsturing” te verkrijgen, waarbij in de rusttoestand het lichtpunt geheel is onderdrukt en pas bij het inschakelen van de tijdbasis zichtbaar wordt (zie fig. 6; hierin is niet aangegeven het contact waarmee het verschijnsel wordt ingeleid).

Men moet echter rekening houden met hetgeen volgt:

1. De Wehnelt cylinder heeft een spanning van ruim 1000 V t.o.v. aarde (het chassis), zodat het relais en de opstelling der batterij aan bijzondere isolatie-eisen moeten voldoen.
2. De contacten moeten tegelijk met het begin van het verschijnsel worden gesloten en bij beëindiging ervan weer worden geopend. In de praktijk vereist een dergelijke synchronisatie zeer veel zorg bij het instellen van het of de relais.
3. Ten gevolge van de vertragingstijd van het relais gaat een deel van het oscillogram verloren; bovendien is deze vertragingstijd aan variaties onderhevig. Bij de reeds genoemde metingen, waarbij men het opwekken van het verschijnsel in de hand heeft, kan dit bezwaar worden ondervangen door bijvoorbeeld op mechanische wijze het sluiten van contact S_2 in fig. 6 iets eerder te doen plaats hebben.

Er zijn echter een aantal verschijnselen die geheel willekeurig kunnen optreden; het oscillograferen van zulke verschijnselen nu houdt in, dat het verschijnsel zelf de oscillograaf in werking moet stellen, d.w.z. de tijdbasis op gang brengen en de electronenstraal vrijgeven.

Als voorbeelden van zulke verschijnselen kunnen worden genoemd:

1. overspanning ten gevolge van blikseminslag of andere atmosferische ontladingen;
2. doorslag in kabels, condensatoren of isolatiematerialen;
3. stootbelastingen van motoren, dynamo's;
4. spontaan optredende storingen in elektrische installaties.

Weliswaar kan met behulp van een schakeling als is weergegeven in fig. 5, de tijdbasis door een positieve spanningstoot op gang worden gebracht. Een daarmee gepaard gaande synchrone inschakeling van de straalstroom is echter niet mogelijk.

HET ELECTRONISCH TIJDBASISRELAIS ALS HULPMIDDEL VOOR HET REGISTREREN VAN EENMAAL OPTREDENDE VERSCHIJNSELEN MET EEN OSCILLOGRAAF

Er bestaat dus behoefte aan een inrichting waarmee de bovengenoemde verschijnselen, zonder gebruikmaking van relais of andere contacten, kunnen worden zichtbaar gemaakt en gefotografeerd.

Een dergelijke inrichting moet aan de volgende voorwaarden voldoen:

1. Het verschijnsel zelf moet de oscillograaf met zo gering mogelijke vertraging in werking kunnen stellen.
2. De installatie moet zowel op positieve als negatieve spanningimpulsen reageren.

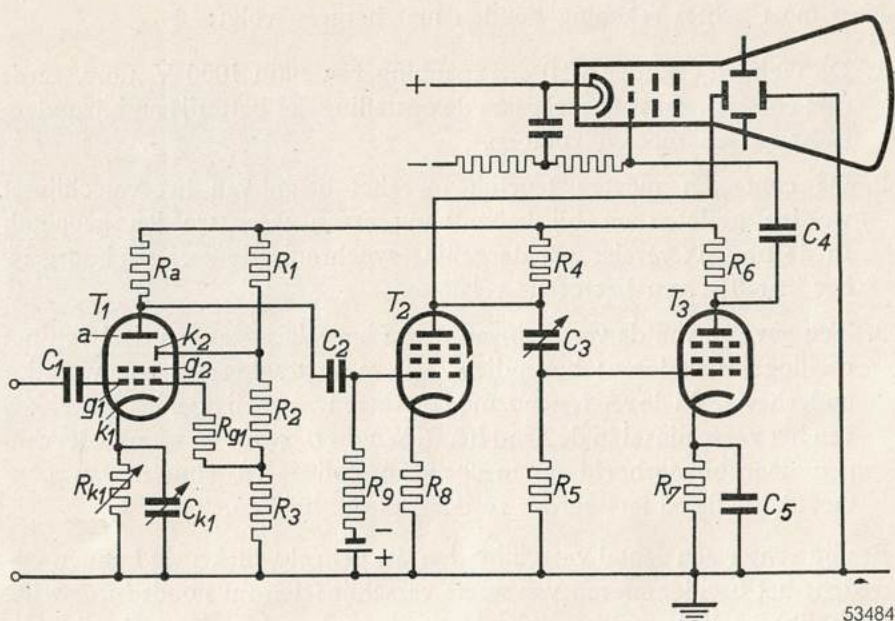


Fig. 7. Het vereenvoudigde schema van het electronisch tijdbasisrelais GM 8003.

T_1 = secundaire-emissiebuis, welke dient als electronisch relais. Als het stuurrooster g_1 een negatieve spanningstoot krijgt, daalt de stroom van de secundaire-emissiekathode k_2 naar de primaire kathode k_1 . Ten gevolge van de secundaire emissie van k_2 , veroorzaakt dit een versterkte vermindering van de stroom door de spanningdeler $R_1 R_2 R_3$, en een versterkte negatieve spanningstoot aan het rooster g_1 . Door cumulatieve werking wordt in uiterst korte tijd de stroom van de secundaire-emissiekathode naar de primaire kathode, en diengevolge de anodestroom, geblokkeerd. Deze toestand blijft gehandhaafd tot de condensator C_{k1} is ontladen. Dan gebeurt door cumulatieve werking het omgekeerde als tevoren en wordt de buis weer stroomvoerend.

T_2 = penthode voor de ontlading bij constante stroom van de tijdbasiscondensator C_3 . Normaal is de negatieve roosterspanning van deze buis zo groot, dat er geen anodestroom vloeit. Ten gevolge van het blokkeren van de stroom door de buis T_1 ontstaat een positieve spanningimpuls aan het rooster van T_2 , stroomdoorgang door deze buis en ontlading van C_3 .

T_3 = fazeomkeer- en versterkbuis. De spanning aan R_5 , die constant is gedurende de ontlading van C_3 , wordt toegevoerd aan het rooster van deze buis, welke ze versterkt en in de juiste faze aan de Wehnelt cylinder van de kathodestraalbuis doorgeeft.

3. De electronenstraal moet geheel gelijktijdig met het begin van de tijdbasisspanning worden vrijgegeven, en in de rusttoestand moeten de „terugloop” en het beeldpunt onderdrukt zijn.

Aan al deze eisen voldoet het tijdbasisapparaat, type GM 8003, dat speciaal voor dit doel door Philips is ontwikkeld, en dat is te beschouwen als een hulpparaat voor gebruik in combinatie met de Philips oscillografen GM 3156, GM 3152 en GM 5652. De GM 8003 heeft bovendien een aantal andere voordelen; deze zullen hieronder worden genoemd.

Dit apparaat bevat een electronisch relais dat practisch zonder vertraging reageert op positieve en negatieve spanningimpulsen. Nadat de GM 8003 door een impuls is ingeschakeld, blokkeert dit relais zichzelf en wordt

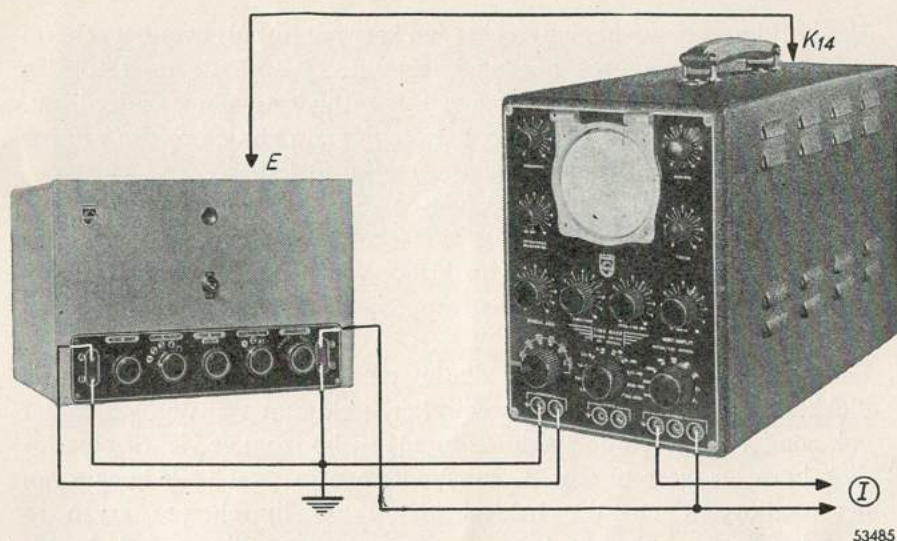


Fig. 8. Elektrische verbinding tussen het Philips elektronisch tijdbasisrelais GM 8003 en de kathodestraaloscillograaf GM 3156.

gedurende een in twee trappen instelbare tijd ongevoelig voor later optredende (storende) impulsen die de oscillograaf opnieuw in werking zouden kunnen stellen voordat de camerasluis dicht gaat.

Ten einde een absoluut synchrone koppeling tussen tijdbasis en elektronenstraal te verkrijgen, is in de GM 8003 een complete tijdbasisgenerator ingebouwd; die van de oscillograaf kan dus worden uitgeschakeld.

Voorts bevat de GM 8003 de nodige regelorganen voor het instellen van de snelheid van de eenmalige tijdbasis, de beeldbreedte, de plaats van het beginpunt en de gevoeligheid van het relais.

Fig. 7 geeft van het apparaat GM 8003 een vereenvoudigd schema, waaruit zijn werking wel duidelijk blijkt. Met behulp van een of meer elektronische schakelaars GM 4580 kan men ook twee of meer gelijktijdig optredende eenmalige verschijnselen op het scherm van de kathodestraaloscillograaf vertonen. Foto fig. 21 geeft een voorbeeld van een dergelijke meetopstelling.

Het apparaat GM 8003 heeft de volgende karakteristieke eigenschappen:

1. Het elektronisch relais wordt geactiveerd door het verschijnsel zelf en schakelt de tijdbasis en de elektronenstraal in, nagenoeg zonder vertraging. De maximale vertraging van het relais is 10^{-6} sec.
2. Het activeren van het elektronisch relais kan geschieden met positieve en met negatieve spanningimpulsen¹⁾. De gevoeligheid voor spanningimpulsen is instelbaar; in de gevoeligste stand van de regelaar reageert de GM 8003 op een topwaarde van ongeveer 2 V, en de impuls mag geen grotere waarde hebben dan 150 V.
3. De snelheid van het beeldpunt in horizontale richting ten gevolge van de tijdbasis kan in 6 trappen worden ingesteld tussen 1/10 en 1/1000 sec.

¹⁾ Bij een positieve spanningimpuls aan de ingangsklemmen zal, ten gevolge van het differentieerelement C_1R_{g1} , kort na het begin van het verschijnsel een negatieve spanningimpuls tussen rooster en kathode optreden.

- Het beeldpunt beweegt zich slechts één keer per impuls over het scherm en keert dan terug tot het uitgangspunt. Gedurende de terugslag van de tijdbasis is de straalstroom van de kathodestraalbuis onderdrukt.
4. De plaats van het beginpunt van het oscillogram en de breedte van het oscillogram (in horizontale richting) zijn instelbaar.
 5. Het elektronisch relais is gedurende enige tijd na het activeren, door het te observeren verschijnsel geblokkeerd, zodat eventuele storende impulsen geen invloed hebben op de loop van het beeldpunt. De blokkeringstijd is instelbaar in twee trappen, nl. een tijd van $1/1000$ en een van $\frac{1}{2}$ sec.
 6. Een speciale schakeling (in de derde stand van de schakelaar van de blokkeringstijd) maakt het mogelijk het beeldpunt van de oscillograaf ook zonder toegevoerde spanningimpuls in horizontale richting periodiek heen en weer te sturen, waardoor men in staat is de hoogte van het oscillogram en de helderheid en de lijnscherpte ervan in te stellen met behulp van de regelorganen op de oscillograaf; de beeldbreedte is regelbaar met de knop waarmee de tijdbasislengte van het apparaat voor eenmalige tijdbasis wordt ingesteld.
 7. De GM 8003 heeft een zeer hoge ingangsimpedantie, zodat nagenoeg geen vermogen nodig is voor het activeren van het relais. De ingangsweerstand bedraagt $100\,000\ \Omega$ en de ingangscapaciteit $80\ \text{pF}$.
 8. De verbindingen met de te gebruiken oscillograaf worden op eenvoudige wijze tot stand gebracht (fig. 8).

ENIGE EENVOUDIGE VOORBEELDEN VAN METINGEN MET BEHULP VAN HET EENMALIGE TIJDBASISAPPARAAT GM 8003

Een eenvoudig voorbeeld van een eenmalig verschijnsel is de stroom welke optreedt na het inschakelen van een gloeilamp in koude toestand. De weerstand van de metaaldraad is aanvankelijk zeer laag, waardoor de stroom op het ogenblik van inschakelen hoog is. Deze stroom kan met behulp van het elektronisch tijdbasisrelais op het scherm van een oscillograaf zichtbaar worden gemaakt als functie van de tijd.

Fig. 9 geeft het schema van de meetopstelling. Voor het inschakelen van

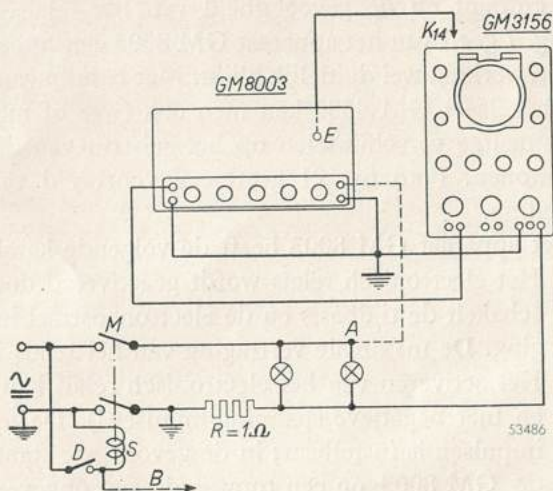


Fig. 9. Schema van de opstelling voor het registreren van de stroom als functie van de tijd, welke optreedt bij het inschakelen van gloeilampen op een gelijk- of wisselspanningnet met behulp van het elektronisch tijdbasisrelais GM 8003 en de oscillograaf GM 3156. M is een magnetische schakelaar, die wordt bediend door de drukschakelaar D.



Fig. 10. Oscillogram van de stroomstoot door een gloeilamp, welke optreedt na het inschakelen van de gelijkstroom.



Fig. 11. Een enigszins andere vorm van de stroomstoot door een gloeilamp, welke optreedt na het inschakelen van de gelijkstroom.

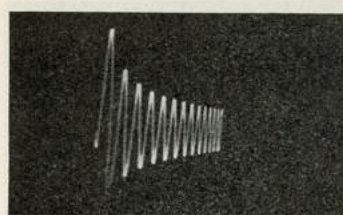


Fig. 12. Oscillogram van de wisselstroom door een gloeilamp, welke optreedt na het inschakelen van deze stroom.

de stroom door de lampen wordt gebruik gemaakt van een magnetische schakelaar M, welke met de drukknop D wordt bediend. De impuls-spanning voor het apparaat GM 8003 kan rechtstreeks van de gloeilamp(en) worden afgenomen (in het schema de spanning tussen punt A en aarde).

Gelijktijdig met het inschakelen van de stroom, treedt de eenmalige tijdbasis in werking, waarbij oscillogrammen worden verkregen als in fig. 10 en 11 zijn afgebeeld.

De opnamen werden gemaakt bij verschillende tijdbasis-snelheden; de gloeilamp werd aangesloten op een gelijkspanning. Fig. 12 toont het oscillogram dat bij het inschakelen ontstaat indien de lamp op een wisselspanning-

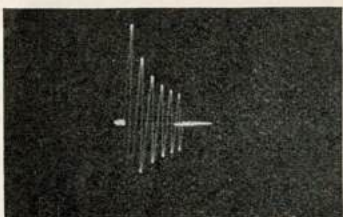


Fig. 13. Oscillogram dat dient ter bepaling van de inschakeltijd van de magnetische schakelaar M van fig. 9.

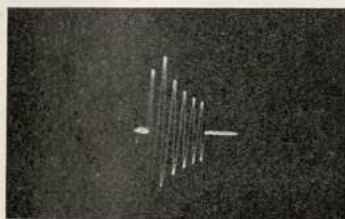


Fig. 14. Een ander oscillogram dan dat van fig. 13, verkregen bij het bepalen van de inschakeltijd van de magnetische schakelaar M van fig. 9.

net wordt aangesloten. De weerstand van de gloeidraad wordt snel groter door de verwarming en bereikt na korte tijd een eindwaarde waarbij de lamp de normale stroom opneemt. Volgens het oscillogram blijkt hier ongeveer 1/5 seconde voor nodig te zijn (10 perioden

van de netfrequentie). Het front van de inschakelstroomstoot heeft een grote snelheid, welke afhankelijk is van de in de keten aanwezige zelfinductie en capaciteit. Dit front was op de oscillogrammen van de fig. 10 en 11 op het negatief nog juist zichtbaar, doch gaat in het cliché verloren. Men kan tevens de inschakeltijd van de magnetische schakelaar, die in deze opstelling is gebruikt, meten. Hiertoe behoeft slechts de aansluiting van de ingang van de GM 8003 voor de impuls spanning te worden verlegd naar punt B. De tijdbasis treedt dan in werking op het ogenblik dat de magneetspoel S wordt bekrachtigd, en

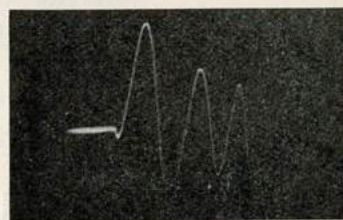


Fig. 15. Een oscillogram opgenomen ter bepaling van de inschakeltijd van de magnetische schakelaar M van fig. 9, waarbij een snellere tijdbasis is gekozen. De horizontale streep links, waarmee het oscillogram begint, stelt de tijd voor die verloopt tussen het ogenblik waarop de magneetspoel S wordt bekrachtigd en het ogenblik waarop de contacten worden gesloten.

van de netfrequentie).

Het front van de inschakelstroomstoot heeft een grote snelheid, welke afhankelijk is van de in de keten aanwezige zelfinductie en capaciteit. Dit front was op de oscillogrammen van de fig. 10 en 11 op het negatief nog juist zichtbaar, doch gaat in het cliché verloren.

Men kan tevens de inschakeltijd van de magnetische schakelaar, die in deze opstelling is gebruikt, meten. Hiertoe behoeft slechts de aansluiting van de ingang van de GM 8003 voor de impuls spanning te worden verlegd naar punt B. De tijdbasis treedt dan in werking op het ogenblik dat de magneetspoel S wordt bekrachtigd, en



Fig. 16. Een oscillogram opgenomen ter bepaling van de inschakeltijd van de magnetische schakelaar M van fig. 9, welke men verkrijgt als deze schakelaar een gelijkstroom inschakelt. Op dit oscillogram is eerst een nullijn gefotografeerd.

schrijft een horizontale lijn tot het ogenblik waarop de contacten van de schakelaar zijn gesloten en de gloeilamp stroom neemt. De fig. 13 t/m 15 geven de oscillogrammen weer van de inschakeling op wisselspanning (50 Hz), en fig. 16 die van de inschakeling op gelijkspanning.

De schakeltijd, die nauwkeurig op het oscillogram kan worden uitgemeten (eventueel met behulp van een vergrotingstoestel), bedraagt circa $1/75$ seconde. Men meet hiervoor bijv. op het oscillogram van fig. 15 de lengte van het horizontale lijntje van de tijdbasis en vergelijkt deze lengte met de horizontale afstand van twee opeenvolgende sinustoppen, die overeenkomt met $1/50$ seconde (netfrequentie 50 p/s). Op het oscillogram van fig. 16 is vóór

de meting eerst een nullijn gefotografeerd, zodat hierin de verticale amplitude beter tot uiting komt dan in de opname van de fig. 10 en 11.

De figuren 17 t/m 19 geven voorts nog de oscillogrammen weer van de stroomstoot door een automatische veiligheid, welke optreedt bij kortsluiting tot het ogenblik waarop de stroom wordt uitgeschakeld. De gloeilamp van fig. 9 werd eenvoudig vervangen door de te onderzoeken veiligheid. De max. stroom bedroeg hierbij circa 200 A. De uitschakeling geschiedde in de meeste gevallen na een halve periode ($1/100$ sec), in enkele gevallen na een volle periode (zie fig. 19).

Als tweede voorbeeld uit een grote reeks van toepassingen vermelden wij nog het meten van de zelfinductie van condensatoren. Hierbij wordt in de eerste plaats gedacht aan grote condensatoren in de sterkstroomtechniek, die worden gebruikt voor verbetering van de arbeidsfactor ($\cos \varphi$, zie voorpagina). Indien deze condensatoren te veel zelfinductie bezitten, kan bij een eventueel optredende kortsluiting in het net, een oscillatorische ontlading ontstaan, waarbij de spanning tot zeer hoge waarden kan opspringen en tot beschadiging van kabels, meetapparatuur en van de condensatoren zelf kan leiden.

De condensator wordt gemeten volgens de schakeling van fig. 20. Via een hoge weerstand R_1 wordt de condensator C opgeladen en over

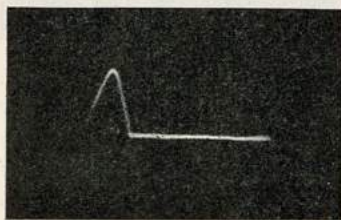


Fig. 17. Oscillogramopname van de stroomstoot door een automatische veiligheid tot het ogenblik van uitschakelen, als er een kortsluiting optreedt. De uitschakeling had plaats na een halve periode.

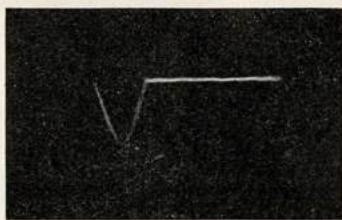


Fig. 18. Een herhaalde oscillogramopname van de stroomstoot door een automatische veiligheid tot het ogenblik van uitschakelen, welke stroomstoot optreedt bij een kortsluiting.

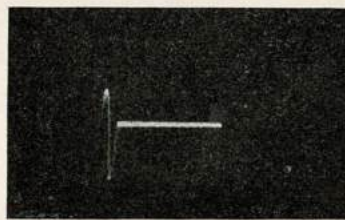


Fig. 19. Een nogmaals herhaalde oscillogramopname van de stroomstoot door een automatische veiligheid, optredend bij kortsluiting. In dit geval had de uitschakeling plaats na een volle periode van de wisselspanning.

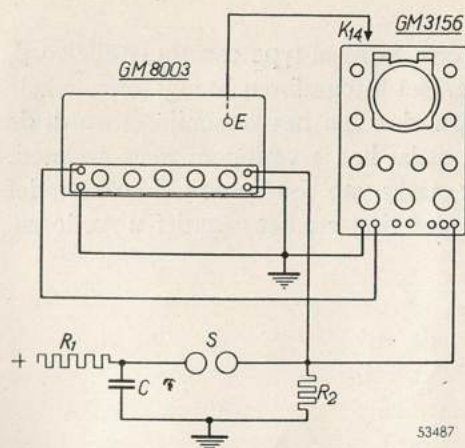


Fig. 20. Schakeling voor het meten van de zelfinductie van condensatoren met behulp van het elektronisch tijdbasisrelais GM 8003 en de oscillograaf GM 3156. C is de condensator waarvan de zelfinductie bepaald dient te worden, S is de vonkbaan waarover zich de condensator via de weerstand R_2 ontladst.

een kleine zelfinductievrije weerstand R_2 en de vonkbaan S ontladen. Een dergelijke elektrische keten, die bestaat uit capaciteit, zelfinductie en weerstand, zal zich oscillatorisch ontladen indien aan de voorwaarde

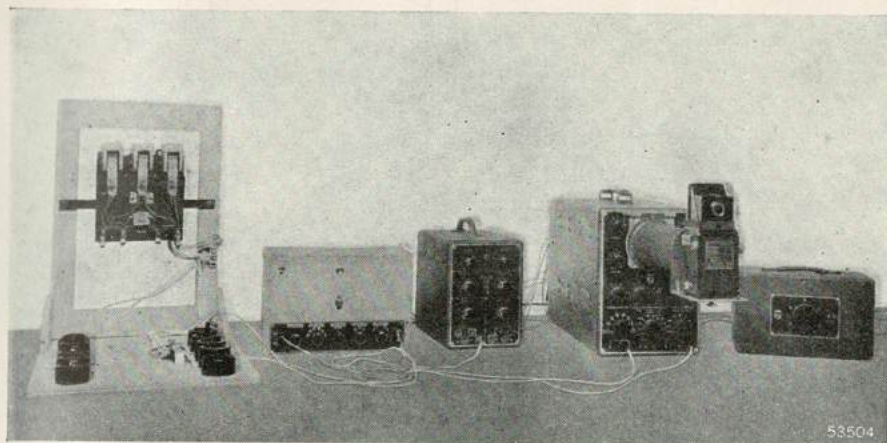


Fig. 21. Opstelling voor het registreren van het verloop van stroom en spanning in een fase bij het in- en uitschakelen van een driedraadschakelaar.

$R_2 < 2 \sqrt{\frac{L}{C}}$ is voldaan. In deze formule is L de zelfinductie van de condensator (die van de verbindingsdraden kan worden verwaarloosd). Ten gevolge van de ontladstroom, treedt aan R_2 een wisselspanning op met afnemende amplitude, welke met de oscillograaf en de GM 8003 fotografisch wordt vastgelegd.

De verhouding van twee opeenvolgende amplituden met hetzelfde teken laat zich gemakkelijk meten. De natuurlijke logarithme van deze verhouding, het logarithmisch decrement δ van de trilling, is gelijk aan $\frac{R_2}{2L}$, waaruit de zelfinductie L eenvoudig kan worden berekend.

HET FOTOGRAFEREN

Alle opnamen werden gemaakt met een normaal type camera (Rolleicord, f: 4,5) op Panatomic XX Kodak film. Het fotograferen brengt geen enkele moeilijkheid met zich; vóór het optreden van het verschijnsel wordt de sluiters van het toestel geopend en, nadat het is verlopen, weer gesloten. Daar men hiervoor meestal gebruik maakt van een lichtdicht kokerstatief (GM 4193), is de mogelijkheid van sluiering van het negatief uitgesloten.

INHOUD

Over het oscillograferen van eenmalige verschijnselen

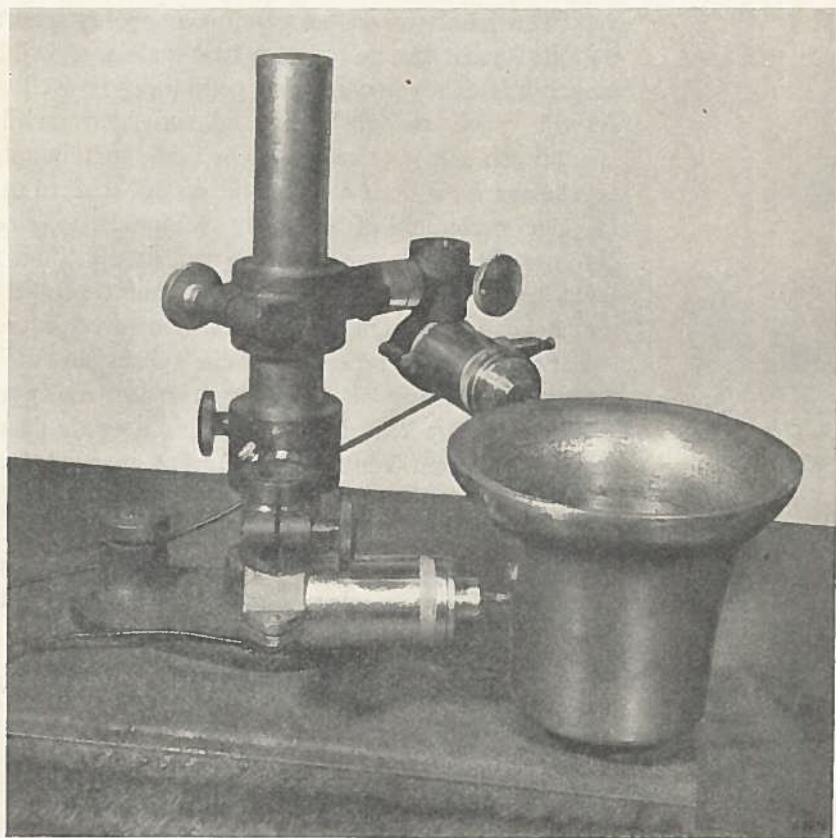
ELECTRONISCH METEN

DE TOEPASSING DER MODERNE
ELECTRONISCHE MEETAPPARATEN
IN LABORATORIA EN BEDRIJVEN



AARGANG 2

NUMMER 4



et dynamisch onderzoek
n een messingbel met be-
lp van een trillingexcita-
GM 8010 en een tril-
gopnemer GM 5526. Hier-
werd gebruik gemaakt
n de Philips electronische
akelaar GM 4580.

De Philips electronische schakelaar GM 4580 maakt het mogelijk, oscillogrammen van twee of meer elektrische verschijnselen gelijktijdig op het scherm van een kathodestraaloscillograaf zichtbaar te maken. In dit nummer wordt een korte verklaring gegeven van de werkwijze van dit bijzonder zorgvuldig ontworpen hulpapparaat voor de kathodestraaloscillografie, alsmede de beschrijving van twee praktische metingen die werden uitgevoerd met de oscillograaf en de electronische schakelaar. Deze metingen zullen de weg kunnen wijzen naar een aantal andere gebruiksmogelijkheden voor deze apparaten.

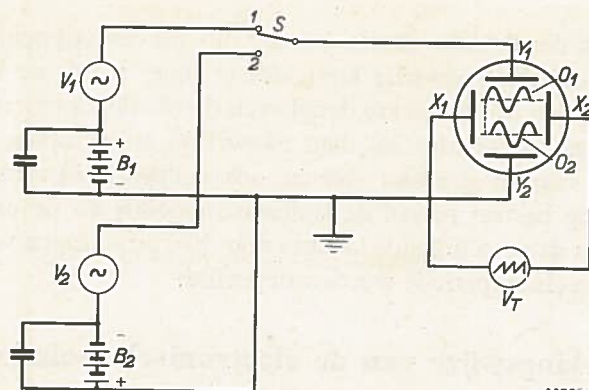
OVER HET GELIJKTJDIG WEERGEVEN VAN DIVERSE ELECTRI- SCHE VERSCHIJNSELEN OP HET SCHERM VAN EEN OSCILLO- GRAAF

In nummer 1 (2e jaargang) van „Electronisch Meten” werd een artikel opgenomen, dat ons bereidwillig werd afgestaan door de A.G. Saurer te Arbon, Zwitserland, en waarin werd beschreven het gebruik van de electronische schakelaar in deze industrie, voor het gelijktijdig weergeven van diverse verschijnselen door de kathodestraaloscillograaf. Met een electronische schakelaar Philips GM 4580 en een kathodestraaloscillograaf kan men twee wisselspanningen op het scherm van de oscillograafbuis als functie van de tijd zichtbaar maken, terwijl het met twee GM 4580 mogelijk is drie verschijnselen gelijktijdig te oscillograferen. Zo komt het dikwijls voor, dat men een tijd- of fazeverschil van twee periodieke spanningen wenst te meten, door beide met behulp van de electronische schakelaar als functie van de tijd op het scherm te brengen. Of men wil, bij een periodiek of eenmalig veranderlijke electrische spanning die gefotografeerd wordt, als functie van de tijd, door middel van de oscillograaf een ijkling van de tijd hebben, door tegelijkertijd een wisselspanning met bekende frequentie op het scherm te vertonen. Een ander voorbeeld is het gebruik van de electronische schakelaar, om de krommevorm van de ingangsspanning van een transformator, een netwerk of een versterker te vergelijken met de uitgangsspanning, en de daarin optredende vervorming te bepalen. Vanzelfsprekend kan men alle periodieke en eenmalige verschijnselen, dus ook niet-electrische, met behulp van de electronische schakelaar op het scherm van een oscillograaf brengen en met elkaar vergelijken, als men beschikt over de geschikte omvormers, om de bewuste grootheden (bijv. mechanische) in electrische om te zetten.

Het principe van het gelijktijdig vertonen van twee verschijnselen met behulp van een schakelaar

In fig. 1 zijn twee wisselspanningbronnen, V_1 en V_2 , aangeduid, welke met behulp van de schakelaar S , beurtelings kunnen worden aangesloten op de platen Y_1 en Y_2 voor verticale afbuiging. Aan de platen X_1 en X_2 voor horizontale afbuiging ligt een periodieke tijdasspanning van geschikte frequentie. In stand 1 van de schakelaar is V_1 als functie van de tijd op het scherm van de kathodestraalbuis zichtbaar, en in stand 2 de spanning V_2 . Laat men nu de schakelaar op zodanige wijze heen en weer gaan, dat hij, bijvoorbeeld na het schrijven, op het scherm, van de spanning V_1 , deze spanning uitschakelt en de spanning V_2 inschakelt en, na het schrijven van deze laatste, V_1 weer inschakelt enz., dan zal men, ten gevolge van de persistentie van het fluorescentiemateriaal en van het netvlies van het oog,

bij voldoende hoge schakelfrequentie (bijv. 50 Hz), op het scherm een beeld krijgen van twee sinusvormige spanningen (indien de spanningbronnen sinusvormige wisselspanningen opwekken). In deze figuur is, ter wille van de volledigheid, in serie met iedere wisselspanningbron een gelijkspanningbron getekend. Deze gelijkspanningbronnen

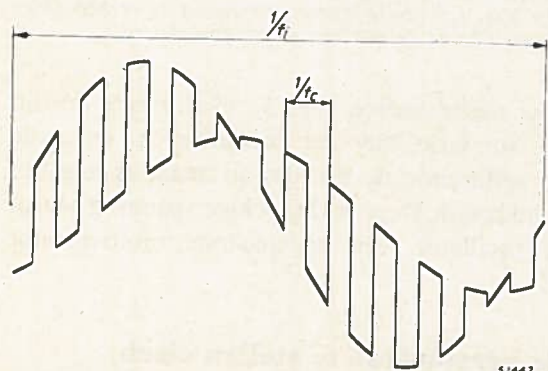


53705

Fig. 1. Twee wisselspanningen, V_1 en V_2 , worden met behulp van een schakelaar S , beurtelings aan de platen Y_1 en Y_2 voor verticale afbuiging van een oscillograafbuis gelegd. In stand 1 van S wordt het oscillogram O_1 van de spanning V_1 , als functie van de tijd op het scherm geschreven, en in stand 2 van S het oscillogram O_2 . De batterijen B_1 en B_2 dienen daartoe de nullijnen van de beide wisselspanningen niet te laten samenvallen.

zijn zodanig geschakeld, dat de ene ten opzichte van aarde tegengesteld aan de andere gepolariseerd is. Deze beide gelijkspanningen dienen om op het scherm twee aparte, boven elkaar liggende symmetrieassen van de wisselspanningen te krijgen. In stand 1 van de schakelaar S wordt de symmetrie-as, ten gevolge van de positieve spanning van B_1 aan de plaat Y_1 , uit het midden van het scherm naar boven verschoven. In stand 2 wordt de symmetrie-as, door de negatieve spanning van B_2 aan Y_1 , uit het midden naar beneden verschoven. Men bereikt aldus, dat de oscillogrammen van de twee wisselspanningen niet door elkaar lopen, maar boven elkaar liggen. Indien de frequenties van V_1 en V_2 zeer laag zijn, zal men niet op de boven beschreven wijze kunnen te werk gaan, daar dan de omschakelfrequentie

zeer laag is. Dit heeft tot gevolg, dat de persistentie van het scherm en het oog niet meer voldoende is om het flikkeren van het beeld te verhinderen. Men kiest dan een schakelfrequentie die hoger is dan de frequenties van V_1 en V_2 . Er ontstaat in dat geval een beeld als is weergegeven in fig. 2 (waarin duidelijkheidshalve de commuteringsfrequentie veel te laag is gekozen en waarin de symmetrieassen van beide spanningen samenvallen).



51442

Fig. 2. Beeld van twee sinusvormige wisselspanningen, dat ontstaat als men de schakelaar S van fig. 1 in een hogere frequentie laat omschakelen dan de frequentie f_i der spanningen V_1 en V_2 . In dit geval vallen beide nul-assen van deze spanningen samen.

Elk der beeldkrommen bestaat dus uit een stippellijn. Hoe hoger men de omschakelfrequentie kiest, des te fijner wordt de beeldstructuur, en dus worden des te fijnere details van de oscillogrammen weergegeven. Bij zeer hoge frequenties zal men nauwelijks stippellijnen waarnemen, daar dan de stippen in elkaar vloeien, ook al doordat er meestal geen vaste betrekking bestaat tussen de tijdbasisfrequentie en de omschakelfrequentie, en dus de verschillende lacunes door het verspringen van de stippen na iedere omschakelperiode worden opgevuld.

Principiële werkingwijze van de electronische schakelaar

Met een normale omschakelaar, als in fig. 1 is aangeduid, zal men om voor de hand liggende redenen natuurlijk nooit op bevredigende wijze kunnen werken. In de praktijk maakt men daarom gebruik van twee versterkers (A_1 en A_2 in fig. 3), welke beurtelings versterken en niet versterken. Als versterker A_1 niet versterkt,

is de uitgangsspanning ervan nul en ligt V_1 dus niet aan de platen Y_1 en Y_2 . Gedurende de tijd dat A_1 niet versterkt, versterkt de versterker A_2 en ligt dan de versterkte spanning V_2 aan de platen Y_1 en Y_2 . Dit beurtelings versterken en niet versterken van A_1 en A_2 wordt bereikt door aan de versterkers

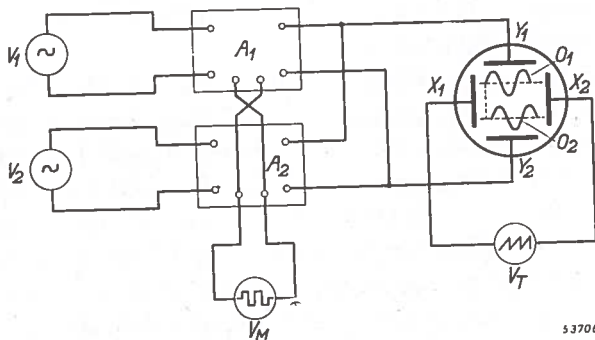
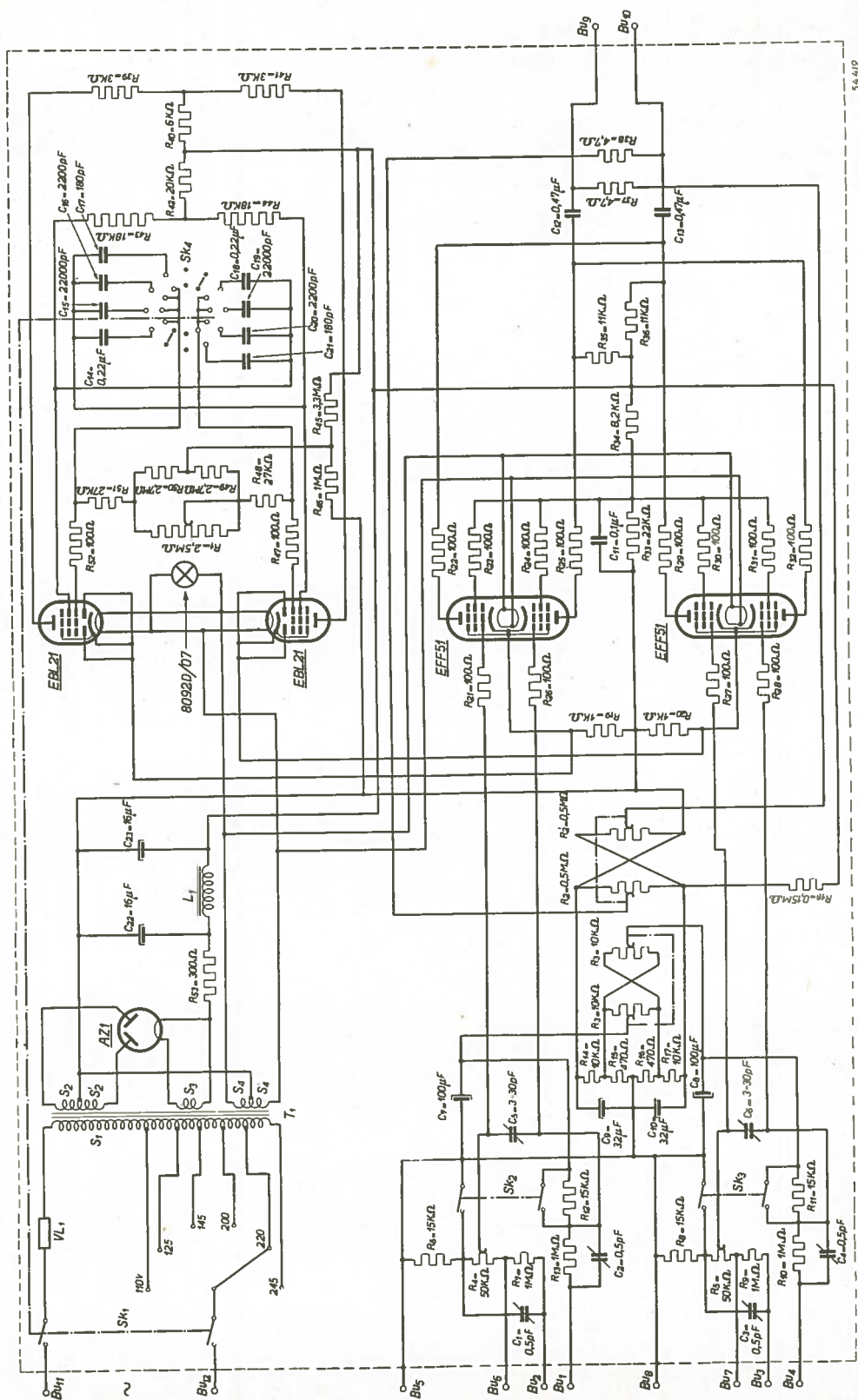


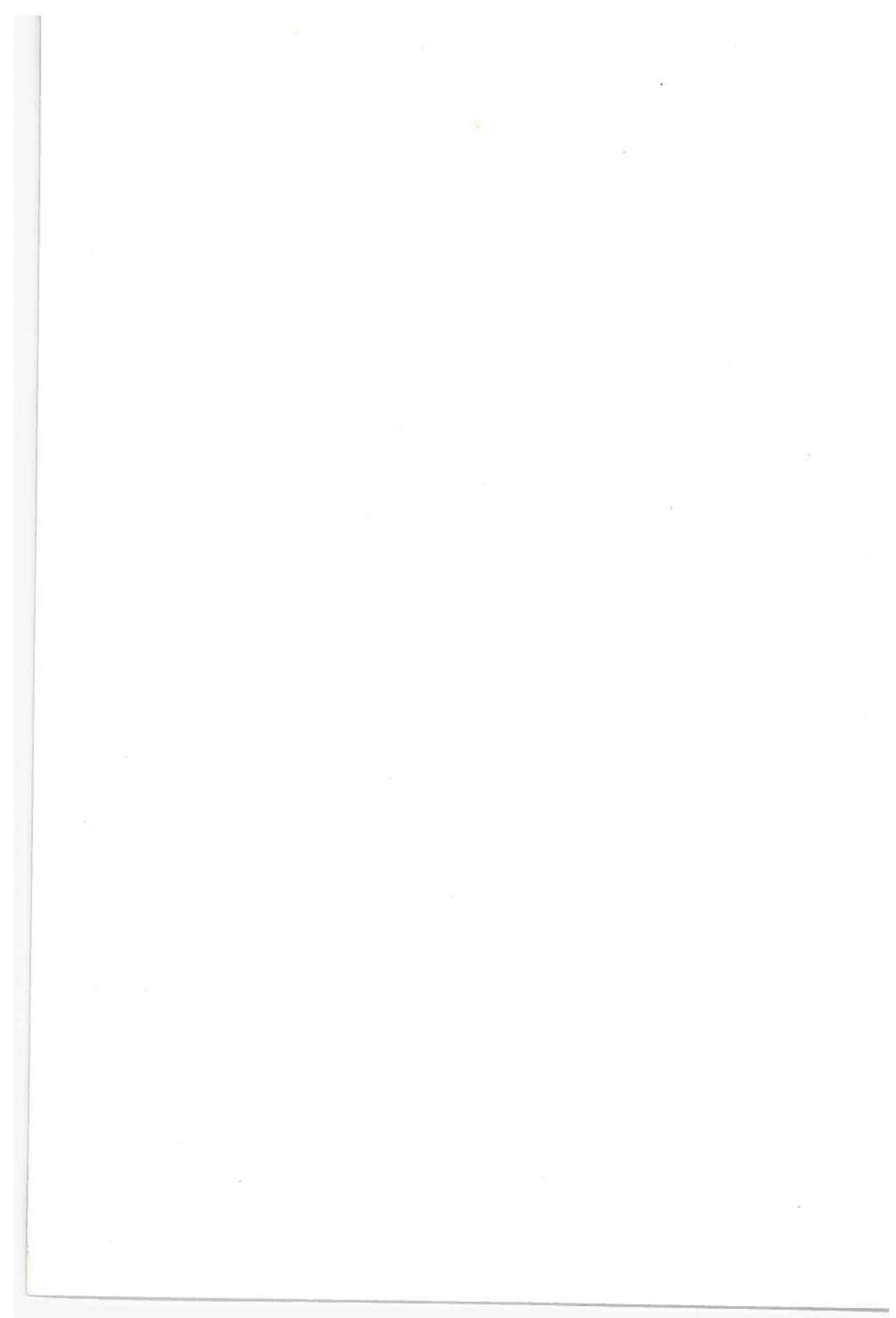
Fig. 3. Door middel van twee parallel geschakelde versterkers, A_1 en A_2 , welke beurtelings versterken en niet versterken, worden de wisselspanningen V_1 en V_2 voor verticale afbuiging gelegd. Dit beurtelings versterken en niet versterken wordt verkregen met behulp van een speciale generator V_M , een multivibrator, waarvan de rechthoekige spanning aan beide versterkers wordt toegevoerd.

een rechthoekige spanning V_M toe te voeren (fig. 3). Gedurende de tijd dat deze spanning positief is, versterkt bijv. de versterker A_1 en is de versterker A_2 geblokkeerd, en gedurende de tijd dat de spanning negatief is, versterkt A_2 en is A_1 geblokkeerd. Deze rechthoekige spanning wordt verkregen met een speciale oscillator, een zogenaamde multivibrator (V_M in fig. 3).

De aan de frequentieweergave van de versterkers te stellen eisen

We zullen hier niet ingaan op de schakeling van de electronische schakelaar GM 4580. Echter is het wel gewenst er op te wijzen, dat men hoge eisen moet stellen aan de frequentieweergave van de versterkers A_1 en A_2 . Ze moeten namelijk de rechthoekige trilling van de multivibrator V_M





onvervormd versterken, hetgeen betekent, dat ze een groot aantal (bijv. 100) harmonischen redelijk amplitude- en fazegetrouw moeten versterken. Dit houdt in dat, bij hoge commuteringsfrequenties (bijv. 10 000 Hz en meer), de versterkers zeer hoge frequenties natuurgetrouw moeten

doorlaten. Dat de rechthoekige wisselspanning zo natuurgetrouw mogelijk weergegeven moet worden, is met behulp van fig. 4 in te zien. Deze figuur stelt voor een sinusvormige spanning, welke met behulp van een der twee versterkers van de elektronische schakelaar, aan de platen Y_1 en Y_2 van de kathodestraalbuis wordt toegevoerd. Het ingangssignaal van de andere versterker is nul, en

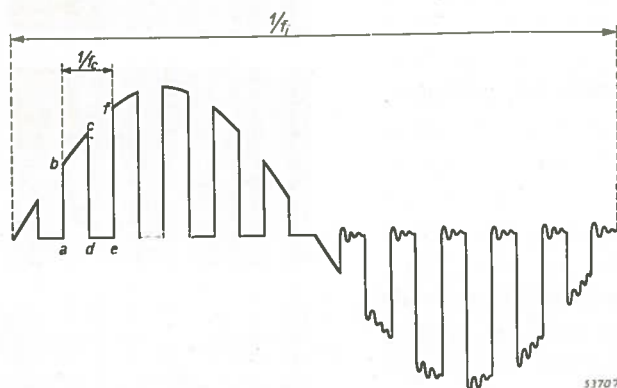


Fig. 4. Beeld van een sinusvormige wisselspanning welke aan een kanaal van een elektronische schakelaar ligt, als de commuteringsfrequentie f_c hoger is dan de frequentie f_i van de wisselspanning. Links ziet men de periode $1/f_c$ van de wisselspanning met absoluut steile flanken, welke de versterker van de elektronische schakelaar moet doorgeven. Rechts, op het beeld van de in stukjes gehakte oscillogram- en nullijnen, ziet men nog beeldjes van gedempte trillingen gesuperponeerd, welke afkomstig zijn van het uittrillen van de versterker.

beide assen vallen in dit geval samen. Door het commuteren krijgen we dus, dat de wisselspanning van de ene versterker als een sinusvormige streepjeslijn, en de nulspanning van de andere versterker als een horizontale streepjeslijn op het scherm van de oscillograaf verschijnen. De spanning welke de versterker waaraan de wisselspanning wordt toegevoerd, bijv. versterker A_1 , moet doorgeven, moet gedurende de tijd a - d ogenblikkelijk van a naar b verspringen, dan verlopen zoals door de kromme b - c is weergegeven, en dan weer van c naar d zonder tijdverlies terugspringen, om bij e weer naar f te verspringen. Dit houdt dus in, dat de versterker zou moeten doorgeven een wisselspanning met absoluut steile flanken, en waarvan de frequentie de omschakelfrequentie f_c is (de volledige periode wordt in fig. 4 weergegeven van a tot f). De versterker moet dus een sinusvormige grondgolf en harmonischen tot zeer hoge orde doorgeven. Dit zou tot resultaat hebben, dat het beeldpunt van de kathodestraalbuis in een oneindig korte tijd van het ene niveau naar het andere verspringt, en in deze tijd geen gelegenheid heeft het fluorescentiescherm te doen oplichten. Dit oplichten treedt wel op als het beeldpunt bij het verspringen van a naar b of van c naar d tijd nodig heeft, en de punten b en c niet meer loodrecht boven de punten a en d liggen. Er ontstaan dan oplichtende, bijna verticale lijnen, op het scherm. Deze lijnen zijn echter niet of nauwelijks zichtbaar als de tijd a - b zeer klein is t.o.v.

de tijd b - c, bijv. 1/100 van b - c bedraagt. Bij 1/10 van b - c zijn zij daarentegen zeer storend. Bij een hoge commuteringsfrequentie vormen de verticale lijnen een oplichtende sluier in het oscillogram, die de waarneming ervan bemoeilijkt. Deze sluier wordt nog versterkt door het uittrillen dat in de versterkers kan optreden. Dit is in de rechterhelft van fig. 4 te zien. Er ontstaan hierdoor in het oscillogram beeldjes van gedempte trillingen, die optreden na iedere omschakeling. Niet alleen storen deze beeldjes bij het waarnemen van details van het oscillogram, maar als het beeld zich enigszins over het scherm beweegt of de beeldstreepjes verspringen in opeenvolgende tijdbasisperioden, ontstaat een verbreding van de lijnen. Het uittrillen in de versterker ontstaat doordat bepaalde harmonischen van de omschakelspanning door resonanties in de schakel-elementen van de versterkers niet meer aperiodisch versterkt worden en een opslingering ondergaan. Het effect van het uittrillen wordt aangetoond door de oscillogrammen van fig. 5a en 5b.

In het geval van fig. 5a waren de beide ingangsspanningen van de versterkers nul, doch bevonden de nullijnen van de beide kanalen zich boven elkaar. Men ziet, dat het omschakelen pieken veroorzaakt, die een gevolg zijn van het uittrillen. In het geval van fig. 5b werd aan het ene kanaal een wisselspanning toegevoerd en aan het andere geen. De zichtbare pieken doen zich hier voor als een sluiering van het beeld.

Bij de electronische schakelaar GM 4580 is bereikt, dat de boven beschreven storende effecten zelfs bij zeer hoge omschakelfrequenties niet merkbaar optreden, hetgeen dus de kwaliteit van de oscillogrammen zeer ten goede komt. Fig. 6a toont het oscillogram van twee boven elkaar liggende nullijnen, waarbij de beide ingangsspanningen van de versterkers nul zijn. De omschakelfrequentie was 8000 Hz, en men ziet dat het effect van het uittrillen in de schakelelementen van de versterkers niet optreedt. Fig. 6b laat zien, dat ook geen sluiering aanwezig is (opgenomen met de combinatie van de electronische schakelaar GM 4580 en de oscillograaf GM 3152).

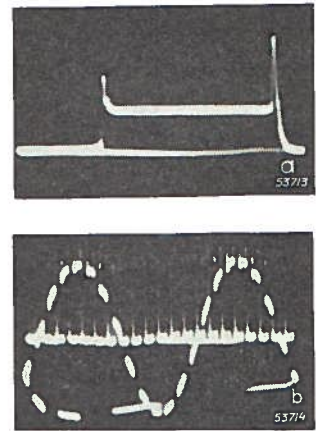


Fig. 5. a. Oscillogram van de twee boven elkaar liggende nullijnen, in het geval van een electronische schakelaar waarvan de versterkers uittrillen, en waaraan geen wisselspanningen zijn gelegd. De pieken zijn een gevolg van dit effect.

b. Oscillogram van een wisselspanning (frequentie ca. 600 Hz) en een spanning nul, in het geval de versterkers uittrillen. De pieken veroorzaken hier een sluiering van het beeld.

De voornaamste eigenschappen van de electronische schakelaar GM 4580

De meest kenmerkende eigenschappen van deze electronische schakelaar zijn, globaal opgesomd, de volgende :

I. De versterkte commuteringsspanning die aan de afbuigplaten van de oscillograafplaten ligt, indien de beide ingangsspanningen van de versterkers nul zijn en de nullijnen ten opzichte van elkaar zijn verschoven, zijn ontdaan van de storende pieken die het gevolg zijn van het uittrillen, en er treedt geen sluiering op.

II. De commuteringsfrequentie is regelbaar tussen 40 000 en 2,5 Hz, zodat enerzijds de kleinste details van de oscillogrammen kunnen worden weergegeven en in andere gevallen met zeer lage commuteringsfrequenties kan worden gewerkt.

III. Men kan aan de versterkeringen van de elektronische schakelaar naar keuze symmetrische en asymmetrische wisselspanningen t. o. v. aarde leggen. Het eerste komt o. a. te pas bij het gelijktijdig zichtbaar maken van meer dan twee oscillogrammen.

Op de punten II en III zullen we nu nog even kort ingaan.

De regelbare commuteringsfrequentie

Zoals is vermeld onder II, is de commuteringsfrequentie f_c van de elektronische schakelaar GM 4580 regelbaar. Bij de zeer hoge commuteringsfrequentie van 40 000 Hz wordt een zeer fijne beeldstructuur verkregen. Het feit dat deze frequentie ook op zeer lage waarden kan worden ingesteld, maakt het mogelijk op het scherm eerst enige tijd het volledige beeld van de ene span-

ning te doen verschijnen, vervolgens dat van de andere, dan weer het eerste, enz. (fig. 7). Bij visuele waarneming kan men echter f_c niet willekeurig laag kiezen, daar bij te lage frequentie het beeld hinderlijk zou fllikkeren. Daarom moet f_c groter zijn dan 50 Hz. Bedraagt de frequentie f_i 1000 Hz of meer, dan zal in het algemeen langzame commutatie ($f_c \ll f_i$) betere resultaten geven dan snelle ($f_c \gg f_i$). Is daarentegen f_i lager dan ongeveer 200 Hz, dan is men, om fllikkeren te voorkomen, aangewezen op snelle commutatie. In het tussenliggende gebied is het vrij onverschillig

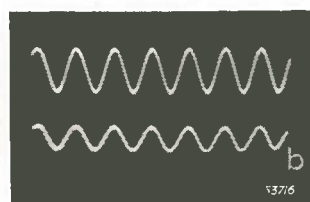
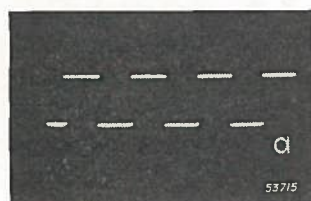


Fig. 6. a. Oscillogram van de twee boven elkaar liggende nullijnen, bij gebruik van de elektronische schakelaar GM 4580 zonder wisselspanningen aan de beide ingangen van de versterkers. Men ziet duidelijk dat hier geen sprake is van het uittrillen van de versterkers.

b. Oscillogram van twee wisselspanningen, welke zich aan de ingangen van de GM 4580 bevinden. Daar de versterkers niet uittrillen, treedt geen sluiering op (oscillogram opgenomen in combinatie met oscillograaf GM 3152).

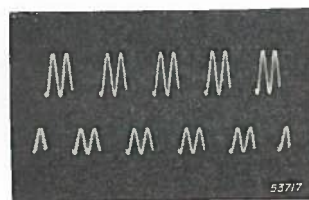


Fig. 7. Oscillogram van twee sinusvormige wisselspanningen, opgenomen met behulp van de elektronische schakelaar GM 4580. De schakelfrequentie is lager dan de frequentie van de wisselspanningen, zodat afwisselend de beelden van beide wisselspanningen op het scherm verschijnen.

of men f_c groter of kleiner dan f_i kiest. (De genoemde grenzen van f_i hangen af van de tijdbasisfrequentie. Verondersteld is, dat deze 1 tot $1/4$ maal f_i is, dus dat het oscillogram 1 tot 4 perioden van de ingangsspanning omvat.)

Bij het fotograferen van het beeld vormt het flikkeren geen bezwaar (althans indien de belichtingstijd langer is dan $1/f_c$; elk der oscillogrammen heeft immers de tijd $1/2 f_c$ nodig om te worden geschreven). In dat geval kan men ook bij f_i lager dan 200 Hz met lage waarden van f_c werken. Het spreekt vanzelf dat, in gevallen waar een van beide (of beide) spanningen slechts eenmaal optreedt, f_c zo hoog moet worden gekozen, dat het omschakelen vele malen in de waarnemingstijd geschiedt (zo vaak, dat gewenste details te zien zijn).

Tabel I geeft een overzicht van de gevallen die zich kunnen voordoen.

Tabel I

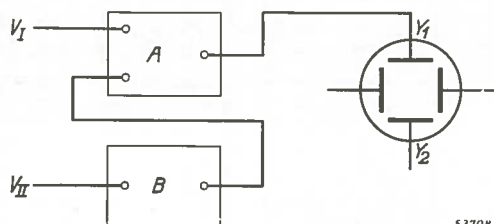
Aard van het verschijnsel	Frequentie van het verschijnsel f_i (Hz)	Waarneming	
		visueel	fotografisch
		f_c/f_i	f_c/f_i
periodiek	< ca. 200	> 1	> 1 of < 1
	ca. 200—1000	> 1 of < 1	> 1 of < 1
	> ca. 1000	< 1	< 1
eenmaal optredend	—	$f_c T$	$f_c T$
		> 1	> 1

Hierin is vermeld hoe men in verschillende gevallen de commuteringsfrequentie f_c het best kan kiezen. f_i = frequentie van de ingangsspanning in Hz, T = waarnemingstijd bij niet-periodieke verschijnselen in sec.

De commuteringsfrequentie wordt in stappen en continu gevarieerd. Aldus heeft men het steeds in de hand een waarde van f_c te kiezen die niet juist een veelvoud is van de tijdbasisfrequentie. De stippels waaruit bij snelle commutatie de oscillogrammen bestaan, zullen zich dan langs de te schrijven krommen verplaatsen en zodoende het gehele oscillogram, inclusief alle details, doorlopen. De snelheid waarmee de stippels zich bewegen, hangt af van f_c ; door f_c zo in te stellen dat zij zeer snel lopen, verhoogt men de illusie dat men continue krommen waarneemt.

De ingangskringen van de electronische schakelaar

De electronische schakelaar GM 4580 is, zoals onder III vermeld, zowel van symmetrische als van asymmetrische ingangen voorzien. De asymmetrische ingang van een kanaal past men toe, als men wenst op te nemen het oscillogram van een spanning



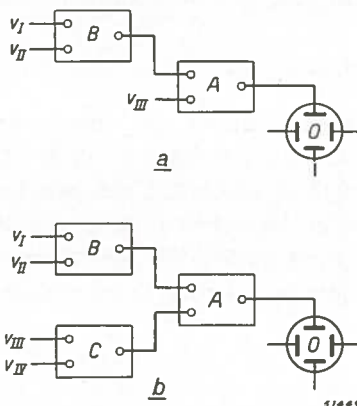
53708

Fig. 8. Schema van de aansluiting van een electronische schakelaar, indien men de oscillograafversterker als voorversterker voor een der kanalen van de schakelaar gebruikt. A is de electronische schakelaar en B de versterker van de oscillograaf. Aangezien de oscillograafversterker een symmetrische uitgangsspanning t.o.v. aarde levert, is de aanwezigheid van een symmetrische ingang van de GM 4580 noodzakelijk.

ten opzichte van aarde. Elke ingang heeft een klem voor spanningen tot 50 V en een klem voor spanningen tot 500 V. Door middel van twee potentiometers, die met elkaar zijn gekoppeld en die door één knop worden bediend, kunnen de nul-assen van de spanningen van beide kanalen in tegengestelde richtingen van elkaar af of naar elkaar toe worden verschoven.

Bij de symmetrische ingangsschakeling is eveneens een inrichting voor het verschuiven van de beide nul-assen t.o.v. elkaar aanwezig. Twee bijzondere gevallen waarin de symmetrische ingang te pas komt wegens de symmetrische uitgang van het voorafgaande apparaat, zullen we nog even aanduiden.

Ten eerste doet zich zulk een geval voor als men de oscillograafversterker als voorversterker vóór een der kanalen gebruikt. De symmetrische uitgang van de oscillograafversterker wordt dan aangesloten op de symmetrische ingang van de electronische schakelaar (fig. 8). In de tweede plaats komt men zulk een geval tegen, als men meer dan twee oscillogrammen tegelijk wil opnemen en daartoe electronische schakelaars in cascade schakelt. De ingang van de electronische schakelaar die met de uitgang van de voorafgaande schakelaar is verbonden, moet dan symmetrisch zijn, daar de bedoelde uitgang symmetrisch is. In fig. 9a en b is dit laatste nader toegelicht. Volgens deze schema's kan men met behulp van twee electronische schakelaars drie, en met drie electronische schakelaars vier oscillogrammen op het scherm van een oscillograafbuis zichtbaar maken.



51469

Fig. 9. Schema van de aansluiting van electronische schakelaars voor het gelijktijdig opnemen van (a) drie of (b) vier oscillogrammen. A, B en C zijn electronische schakelaars; O is de oscillograafbuis; $V_I \dots V_{IV}$ zijn de ingangsspanningen.

Uittreksel uit de technische gegevens van de GM 4580

Ingangskringen

	Asymmetrische ingang		Symmetrische ingang
Kanaal I Kanaal II	Kl. Bu ₆ en Bu ₅ Kl. Bu ₇ en Bu ₈	Kl. Bu ₂ en Bu ₅ Kl. Bu ₃ en Bu ₈	Kl. Bu ₁ en Bu ₂ Kl. Bu ₃ en Bu ₄
Ingangsweerstand	50 000 ohm	1 Megohm	2 × 1 Megohm
Gevoeligheid: ¹⁾ kanaal I	instelbaar met knop R ₄ , max. 120 mV _{eff} /cm	instelbaar met knop R ₄ , max. 3 V _{eff} /cm	niet instel- baar, 10 V _{eff} /cm
kanaal II	instelbaar met knop R ₅ , max. 120 mV _{eff} /cm	instelbaar met knop R ₅ , max. 3 V _{eff} /cm	niet instelbaar, 10 V _{eff} /cm
Max. spanning	50 V _{eff}	500 V _{eff}	500 V _{eff}

¹⁾ Bij aansluiting van de uitgangsklemmen direct op de Y-platen van de oscillografen GM 3156 of GM 3152, uitgerust met de kathodestraalbuis DG 9-3.

Uitgangskring (tussen de klemmen Bu₉ en Bu₁₀)

Symmetrisch, weerstand 10 Megohm.

Schakelfrequentie van de multivibrator

2,5 — 40 000 Hz. De multivibrator kan worden gebruikt als een spanning-bron welke een rechthoekspanning levert. De amplitude en de frequentie van deze spanning kunnen continu geregeld worden. Max. spanning 35 V.

Instelling van de afstand tussen de nul-assen van de beide oscillogrammen

Een instelknop (R₃) maakt het mogelijk de verticale afstand tussen de horizontale nul-assen van de oscillogrammen in te stellen, waarbij het mogelijk is het beeld van een kanaal óf boven óf onder het beeld van het ander kanaal te plaatsen. Tevens is het mogelijk, met behulp van knop R₂, het gezamenlijk beeld van beide oscillogrammen in verticale richting ongeveer 24 mm te verplaatsen.

ENIGE VOORBEELDEN VAN METINGEN WAARBIJ DE ELECTRONISCHE SCHAKELAAR WORDT GEBRUIKT

A. Gebruik bij het dynamisch onderzoek met behulp van mechanische trillingen

Fig. 10 geeft een overzicht van een meetopstelling waarbij de electronische schakelaar GM 4580 wordt gebruikt bij het dynamisch onderzoek van voorwerpen met behulp van mechanische trillingen. Een der opgaven bij het dynamisch onderzoek ¹⁾ is het bepalen van eigenfrequenties van te onderzoeken objecten. Dit geschiedt door het object met een wisselkracht van regelbare frequentie te exciteren en de frequentie zodanig in te stellen dat resonantie wordt verkregen. Deze resonantie kan met een trilling-opnemer — of, bij voldoende sterkte der trillingen, ook wel eenvoudig op het gehoor — worden vastgesteld. Nu komt het dikwijls voor, dat de dempingscoëfficiënt van een dergelijk object, vooral indien het een homogene samenstelling heeft, zo klein is dat, bij het aanstoten van het object in een der eigenfrequenties, de verplaatsingsamplitude enige duizenden maal zo groot is als in het geval van het statisch werkzaam zijn van de excitatiekracht op dezelfde plaats. Dit heeft tot gevolg, dat reeds een zeer klein percentage vervorming in de aandrijfkraft een verrassend groot effect kan hebben, indien een der harmonischen van deze wisselkracht samenvalt met een der eigenfrequenties van het object. Het is dus niet uitgesloten, dat men tot verkeerde conclusies komt en een „subharmonische” van de gezochte eigenfrequentie voor de werkelijke aanziet. Met

¹⁾ Zie ook Electronisch Meten Jaargang 2, No. 1.

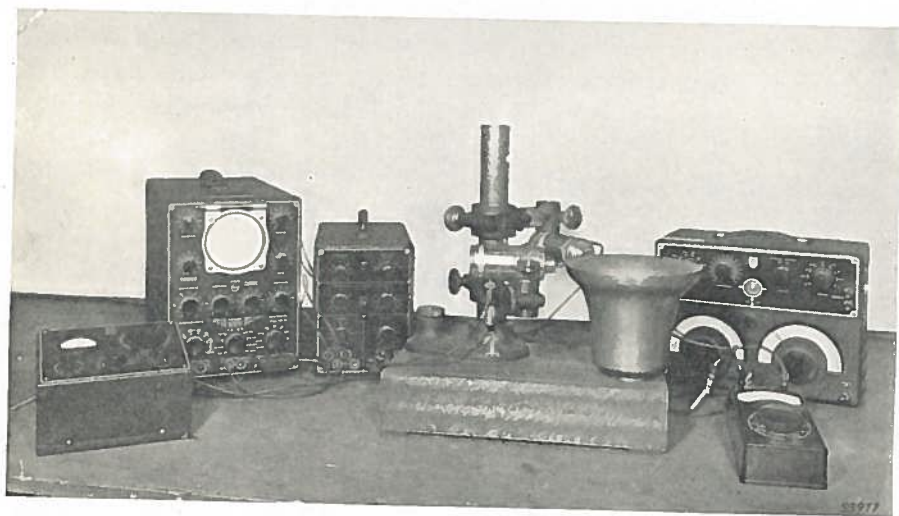


Fig. 10. Overzicht van een meetopstelling voor het dynamisch onderzoek van objecten met behulp van mechanische trillingmeetapparatuur. In dit geval betrof het een onderzoek aan een messingbel, waarvan de grondfrequentie 1092 Hz bedraagt.

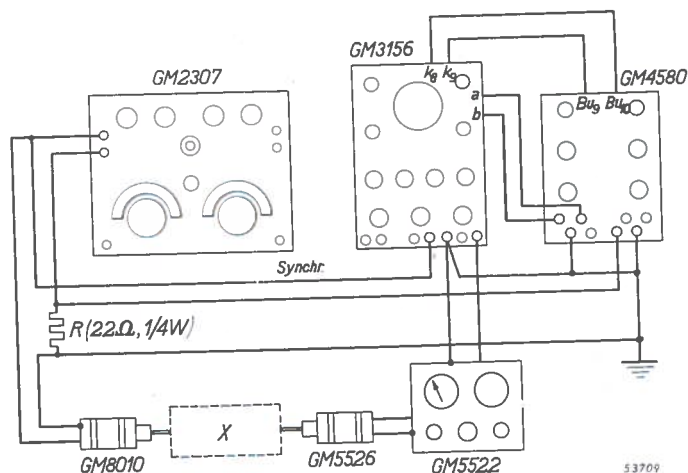


Fig. 11. Schematische voorstelling van de schakeling van de apparatuur voor dynamisch onderzoek aan voorwerpen met behulp van mechanische trillingen. GM 2307 = laagfrequentgenerator (de kast moet niet direct geaard zijn), GM 3156 = kathodestraaloscillograaf, GM 4580 = elektronische schakelaar, GM 8010 = trillingexcitator, X = te onderzoeken voorwerp, GM 5526 = trillingopnemer, GM 5522 = amplitudemetaapparaat voor trillingopnemer, R = kleine weerstand.

behulp van de in fig. 11 weergegeven schakeling, waarbij men van de elektronische schakelaar GM 4580 gebruik maakt, worden dergelijke misinterpretaties voorkomen. Door middel van de elektronische schakelaar worden namelijk een oscillogram van de *excitatiestroom* en een oscillogram van de *door de trillingopnemer afgegeven spanning tegelijkertijd* op het scherm van de kathodestraaloscillograaf gebracht. Men kan zodoende steeds gemakkelijk nagaan of de door de trillingopnemer afgegeven wisselspanning dezelfde frequentie heeft als de wisselkracht.

Het gecombineerde oscillogram van excitatiestroom en door de trillingopnemer afgegeven spanning dient dus te zijn weergegeven als in fig. 12a. Dit oscillogram laat ons namelijk zien, dat de beide frequenties aan elkaar gelijk zijn.

Vanzelfsprekend zijn sterke boventonen aanwezig indien het oscillogram van de excitatiestroom reeds op het oog duidelijk zichtbaar is vervormd. Fig. 12b geeft hiervan een voorbeeld. In het oscillogram van de door de trillingopnemer afgegeven spanning domineert sterk de vierde harmonische, ten gevolge van het feit dat deze harmonische door een resonantie van het object werd opgeslingerd.

In fig. 12c, d en e is het oscillogram van de excitatiestroom op het oog nauwelijks vervormd. Desondanks blijken de 4e, de 3e en de 2e harmonischen voldoende sterk aanwezig te zijn om, na opslinging ten gevolge van de resonantie van het object, krachtig door te komen. Met de meetopstelling van fig. 10, waarmee deze oscillogrammen werden verkregen, was het object een messingbel met een grondfrequentie van ongeveer 1092 Hz. De dempingscoëfficiënt ervan was ongeveer 1/3000.

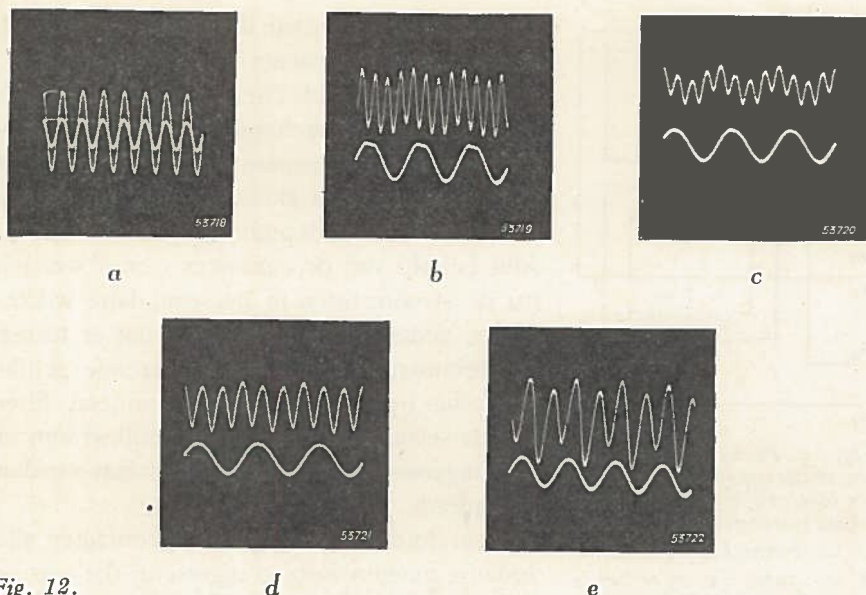


Fig. 12.

- a. Oscillogrammen van de excitatiestroom en van de door de trillingopnemer afgegeven wisselspanning. In dit geval zijn de frequenties van beide gelijk.
- b. Oscillogrammen van een zichtbaar vervormde excitatiestroom (beneden) en van de door de trillingopnemer afgegeven wisselspanning (boven), waarin de 4e harmonische sterk domineert ten gevolge van het opslingeren, door de resonantie van het object.
- c. Oscillogrammen van een nauwelijks zichtbaar vervormde excitatiestroom (beneden) en van de door de trillingopnemer afgegeven wisselspanning (boven), waarin de 4e harmonische domineert.
- d. Oscillogrammen van een nauwelijks zichtbaar vervormde excitatiestroom (beneden) en van de door de trillingopnemer afgegeven wisselspanning (boven), waarin de 3e harmonische domineert.
- e. Oscillogrammen van een nauwelijks zichtbaar vervormde excitatiestroom (beneden) en van de door de trillingopnemer afgegeven wisselspanning (boven), waarin de 2e harmonische domineert.

B. Gebruik bij het onderzoek van trillers voor gelijkspanningomvormers

Indien men een gelijkstroombron van lage spanning ter beschikking heeft en een gelijkstroombron van hogere spanning vereist wordt, kan men de gelijkspanning o. a. transformeren met behulp van een roterende omvormer. Vooral voor kleine vermogens, tot ca. 100 watt, worden echter tegenwoordig voor dit doel ook zeer eenvoudige trilleromvormers gebruikt, bijv. in radiotoestellen die zijn geconstrueerd voor voeding door middel van een accubatterij van 6 V (o.a. autoradiotoestellen).

Fig. 13 geeft het schema van een dergelijke trilleromvormer. De werking is als volgt. In de getekende stand van de veer S wordt de spoel C bekrachtigd; deze trekt het op de contactveer aangebrachte anker A aan in de richting van de bij A geplaatste pijl. Hierdoor wordt het contact a verbroken en vloeit geen stroom door de spoel C tot de veer weer in de oorspronkelijke stand is teruggekeerd en het contact a is hersteld. De veer maakt dus een pendelende beweging, zoals het anker van een elektrische bel.

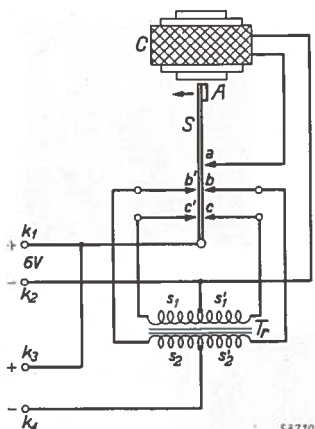


Fig. 13. Principeschema van een trilleromvormer waarmee een lage gelijkspanning in een hogere wordt getransformeerd.

C = bekrachtigingsspoel.

A = anker van de trillende veer S ; a, b, b', c, c' = contacten.

Tr = transformator met primaire windingen s_1 en s_1' en secundaire windingen s_2 en s_2' .

Door deze beweging van de contactveer worden beurtelings de contacten b en c , resp. b' en c' , gesloten en geopend. Dientengevolge ontstaan in de primaire windingen s_1s_1' van de transformator Tr stroomstoten waarvan de spanning in de secundaire windingen s_2s_2' tot de gewenste waarde wordt omhoog getransformeerd. Met behulp van de contacten c en c' worden nu de stroomstoten in de secundaire windingen zodanig gecommuteerd, dat er tussen de klemmen k_3 en k_4 een pulserende gelijkspanning ligt. Door middel van een filter kan de secundaire pulserende gelijkstroom in een nagenoeg constante gelijkstroom worden veranderd.

Het zal duidelijk zijn, dat de 5 contacten alle zodanig moeten worden ingesteld, dat een zo gunstig mogelijke werking wordt verkregen. Hiervoor gelden de volgende overwegingen:

1. Ieder contact moet een bepaalde tijd geopend en gesloten zijn. De sluitingstijd moet natuurlijk liefst zo lang mogelijk en daarom

de contactafstand zo klein mogelijk zijn. De grens van de verkorting van deze afstand is gegeven door het verbreken van de stroom, dat gewaarborgd moet zijn met het oog op de optredende overslagspanning.

2. De primaire contacten aan beide zijden van de contactveer moeten, evenals de secundaire contacten, even lang zijn geopend en gesloten. Is dit niet het geval, dan wordt bijv. het ene primaire contact zwaarder belast dan het andere. De veerbeweging moet dus met het oog hierop worden ingesteld.
3. De primaire contacten moeten sluiten vóór de secundaire en openen na de secundaire (fig. 14). De reden hiervan is de volgende: aan de laagspannings -of primaire zijde van de transformator zijn de stromen het grootst. De primaire contacten b en b' worden dus het zwaarst belast. Indien de secundaire kring eerder ware gesloten dan de primaire, zou het primaire contact bij het inschakelen, behalve door de inschakelstroomstoot van de transformator, ook nog belast zijn door de in de primaire kring getransformeerde stroom van de secundaire kring. Daar bij het

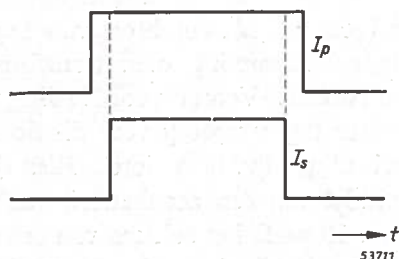


Fig. 14. Schematische voorstelling van de oscillogrammen van een primaire stroomstoot I_p en een secundaire stroomstoot I_s door de windingen van de transformator van fig. 13. De primaire stroomstoot moet eerder beginnen en later eindigen dan de secundaire stroomstoot.

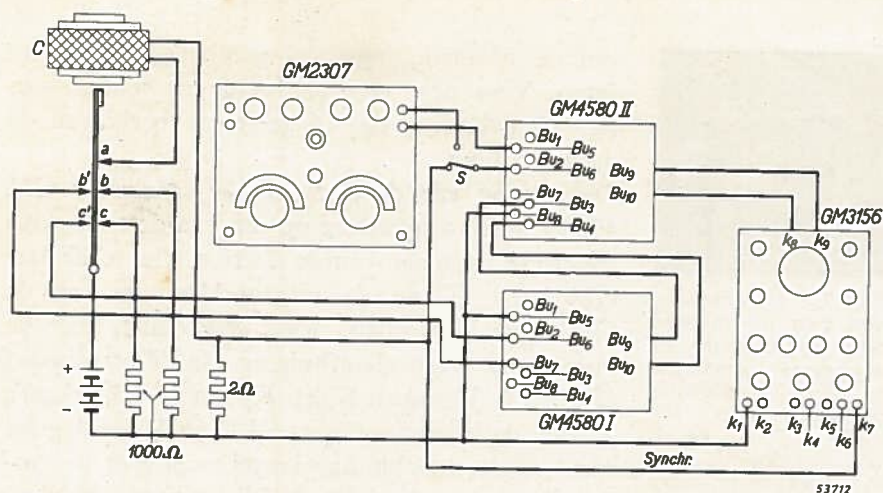


Fig. 15. Schema voor het controleren van de sluitings- en openingstijden van de contacten van een triller voor gelijkspanningsomvorming.

inschakelen de contactdruk nog te klein is, kan dit aanleiding geven tot boogvorming. Dit kan worden vermeden door, zoals gezegd, de primaire kring eerder in te schakelen en later uit te schakelen dan de secundaire.

Het instellen van de verschillende contacten kan op handige wijze geschieden met behulp van een kathodestraaloscillograaf en een of twee elektronische schakelaars. Daar met behulp van twee elektronische schakelaars drie verschijnselen tegelijkertijd op het scherm van de oscillograaf kunnen worden gebracht, zijn we hiermee in staat de sluitings- en openingstijden van de primaire en secundaire contacten en die van het contact a

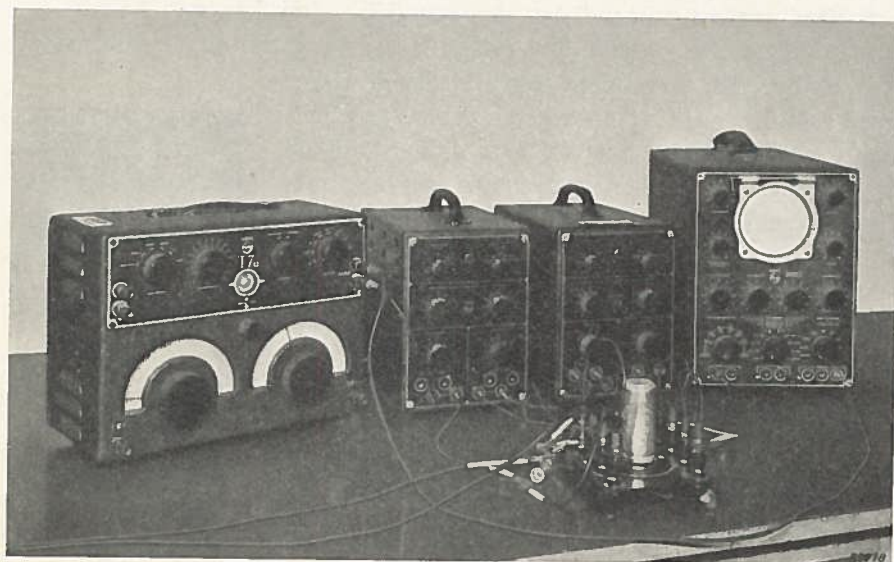


Fig. 16. Overzicht van de gebruikte meetopstelling voor het controleren van de contacten van een triller.

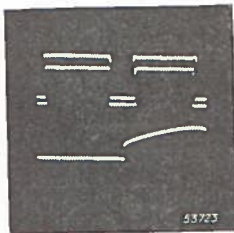


Fig. 17. Oscillogrammen van de stromen door de primaire en secundaire contacten en door de bekrachtigingsspoel van een triller. Van boven naar beneden: de stromen door de primaire contacten, de stromen door de secundaire contacten, de nullijnen van de primaire en van de secundaire stroom, de stroom door de bekrachtigingsspoel (rechts), en de nullijn van deze stroom (links).

van de bekrachtigingsspoel gelijktijdig te observeren. Voor deze controle werd het schema van fig. 15 gebruikt; fig. 16 geeft een beeld van de meetopstelling.

De uitgang van de elektronische schakelaar GM 4580 I wordt aangesloten op een van de twee symmetrische ingangen van de elektronische schakelaar GM 4580 II, en de uitgangsklemmen van de GM 4580 II worden direct verbonden met de platen voor verticale afbuiging van de oscillograaf GM 3156 (klemmen K_8 en K_9 aan de achterkant). Tussen de bekrachtigingsspoel C en de oscillograaf wordt nog een verbinding aangebracht voor de synchronisatie van de tijdbasis. Bij een goede instelling van de trillercontacten krijgen we het oscillogram van fig. 17, dat als volgt geïnterpreteerd dient te worden. De bovenste horizontale lijnen stellen voor de stroom door de primaire contacten b en b' (boven) en de stroom door de secundaire contacten c en c' (onder). De boven elkaar liggende streepjes in het midden stellen nullijnen voor van de primaire stroom (boven) en de secundaire stroom (onder), en geheel beneden ziet men het oscillogram van de stroom door de bekrachtigingsspoel. Gedurende de eerste helft van de tijd is de stroom door de bekrachtigingsspoel nul en is dus contact a open, en gedurende de tweede helft is het contact a gesloten en vloeit er stroom door de spoel. Uit dit oscillogram volgt, dat de primaire contacten iets eerder worden gesloten en iets later worden geopend dan de secundaire. Ook kan met behulp van dit oscillogram de verhouding tussen de openingstijd en de sluitingstijd worden bepaald. Bovendien zien we, dat de triller goed symmetrisch is ingesteld en dat de bekrachtiging van de spoel juist in het midden van de openingsperiode inzet. Ter controle kan nog met een l.f. generator GM 2307 de schakelfrequentie worden gevonden. Daartoe wordt, in plaats van de spanning van de bekrachtigingsspoel, met behulp van de omschakelaar S (fig. 15) de spanning van de laagfrequentgenerator aan de elektronische schakelaar GM 4580 II gelegd. Fig. 18 geeft het aldus verkregen oscillogram weer. Op een cyclus van de triller vielen hier 4 perioden van de generator. Deze laatste was ingesteld op een frequentie van 380 Hz, zodat de eigenfrequentie van de triller $380/4 = 95$ Hz was.

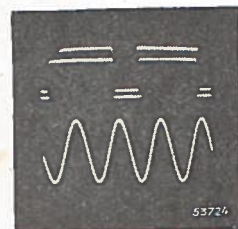


Fig. 18. Oscillogrammen van de stromen door de primaire en secundaire contacten van een triller, en van de spanning van een laagfrequentiegenerator ter bepaling van de eigenfrequentie van deze triller.

INHOUD

Over het gelijktijdig weergeven van diverse elektrische verschijnselen op het scherm van een oscillograaf — Enige voorbeelden van metingen waarbij de elektronische schakelaar wordt gebruikt: A. Gebruik bij het dynamisch onderzoek met behulp van mechanische trillingen, B. Gebruik bij het onderzoek van trillers voor gelijkspanningomvormers.

ELECTRONISCH METEN

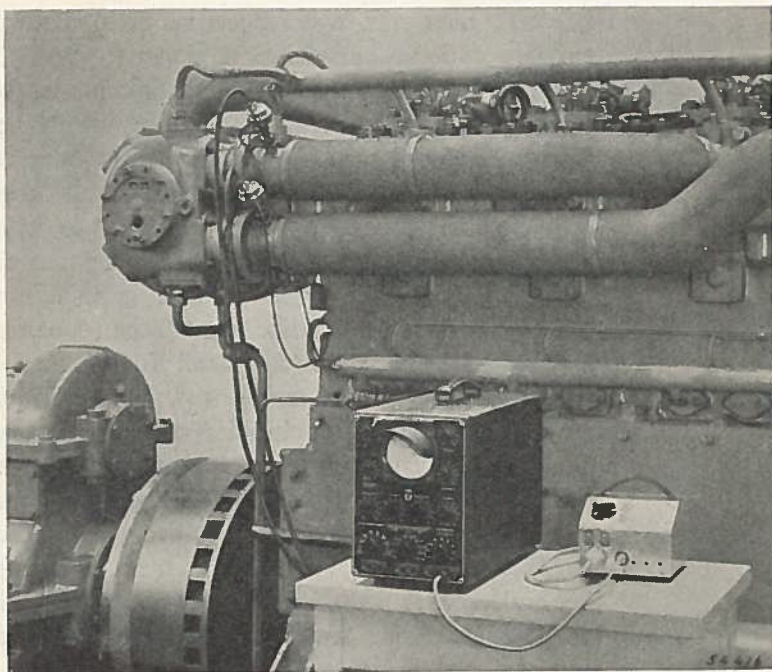
DE TOEPASSING DER MODERNE
ELECTRONISCHE MEETAPPARATEN
IN LABORATORIA EN BEDRIJVEN



AARGANG 2

NUMMER 5

Het indiceren van het drukverloop in de uitlaatpijp van een verbrandingsmotor met behulp van een piezo-electrische opnemer, een electrometer-versterker en een oscillograaf.



INDUSTRIEEL ONDERZOEK

In dit nummer publiceren wij een artikel, dat ons bereidwillig ter beschikking werd gesteld door de Schweizerische Lokomotiv- und Maschinenfabrik Winterthur. In dit artikel wordt een aantal voorbeelden gegeven van het gebruik van electronische meetapparaten, waaronder de kathodestraaloscillograaf, in deze grote machinefabriek.

Bovendien geven wij in dit nummer een beschrijving van de nieuwe oscillograaf, type GM 5655, die door zijn buitengewoon kleine afmetingen en zijn uitstekende technische eigenschappen zeker opzien zal baren.

DE PHILIPS OSCILLOGRAAF IN DE WERKTUIGBOUW

MEDEDELING VAN HET PHYSISCH LABORATORIUM VAN DE SCHWEIZERISCHE LOKOMOTIV- UND MASCHINENFABRIK WINTERTHUR

In de beproevingswerkplaats of het ontwikkelingslaboratorium van een machinefabriek bestaat dikwijls de behoefte, een snel verlopend verschijnsel, als de beweging van een onderdeel, het drukverloop in een buis of het verloop van een mechanische belasting, nauwkeurig te volgen. Meestal beschikt men niet over meetapparaten waarmee het mogelijk is deze speciale onderzoeken en metingen te verrichten. Ook tegenwoordig probeert men nog vaak zulke metingen met behulp van mechanische installaties uit te voeren. Wegens het steeds hoger wordende toerental van de moderne machines, is het echter zeer moeilijk dergelijke meetapparaten te vervaardigen, en fouten in de resultaten, ten gevolge van te grote massakrachten, kunnen nauwelijks worden vermeden.

Daarentegen zijn de hier gestelde meettechnische problemen bijna steeds op eenvoudige wijze en met geringe moeite op te lossen met behulp van een eenvoudige elektrische opnemer en een voor het doel geschikte kathodestraaloscillograaf. Indien men bovendien nog de tijdbasisfrequentie van de oscillograaf met de frequentie van het te onderzoeken verschijnsel synchroniseert, verkrijgt men op het scherm een stilstaand beeld van het gehele verschijnsel, dat zonder meer op de fotografische plaat kan worden vastgelegd. Deze meetmethode met behulp van elektrische opnemers biedt, behalve de grote eenvoud en grotere nauwkeurigheid, het voordeel dat men op een afstand kan meten.

De onderzoeker kan, verwijderd van de dikwijls trillende en warme machine, buiten de lawaaierige werkplaats, in een rustige ruimte ongestoord zijn metingen verrichten.

De opnemer, die in de meeste gevallen met een kabel rechtstreeks op de ingang van de oscillograaf is aangesloten, moet het te meten verschijnsel in daarmee overeenstemmende spanningvariaties kunnen omzetten. Wij zullen hier enkele concrete gevallen van in de praktijk uitgevoerde metingen nader beschouwen.

Het meten van verplaatsing met behulp van een schuifweerstand

Voor het meten van de bewegingen van een klep wordt bijv. gebruik gemaakt van een schuifweerstand als opnemer. Op een verlengstift, aangebracht in de richting van de beweging, wordt een spoel van constantdraad gewikkeld (zie fig. 1).

Een batterij B van 4 V wordt enerzijds, via een glijcontact, op een geïsoleerde

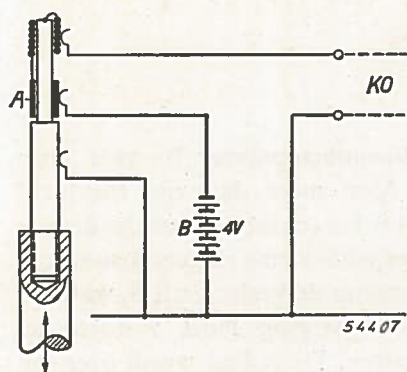


Fig. 1.

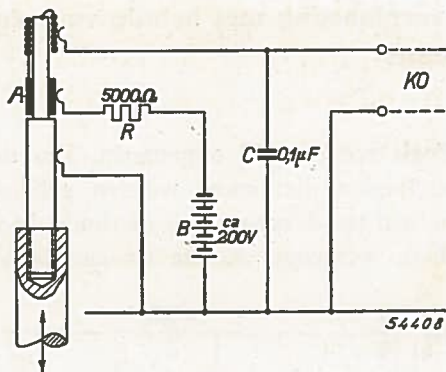


Fig. 2.

Fig. 1. Schakelschema van de opnemer voor het registreren van de beweging van een klep. De beweging wordt hier gemeten met behulp van een schuifweerstand.

Fig. 2. Schakelschema van een schuifweerstandopnemer voor het registreren van de beweging van een klep. Ten einde onderbreking van de stroom bij het bewegen van het glijcontact over de weerstanddraad te vermijden, werd een hogere batterijspanning (ca. 200 V) gekozen en werd de stroom, via een weerstand R van 5000 ohm, aan de draad toegevoerd.

KO = aansluiting van de oscillograaf.

bus, A, op de wikkeling aangesloten. Een tweede glijcontact, dat over de weerstanddraad loopt, neemt de met de heffing veranderende spanning af; het wordt verbonden met een van de klemmen van de oscillograaf KO. Deze opnemer biedt het voordeel dat men met eenvoudige middelen kan werken. Bovendien hebben uitwendige storingen nagenoeg geen invloed en zijn geen speciale afscherming of isolatie nodig. De resultaten die met een dergelijke opnemer kunnen worden bereikt zijn zeer betrouwbaar zolang de bewegingen niet te vlug zijn. Bij snelle bewegingen treden echter moeilijkheden op, die zijn te wijten aan de glijcontacten. De elektrische verbinding wordt dan nl. door trillingen onderbroken, en storingen in het beeld op het scherm van de oscillograaf zijn het gevolg. Men kan deze moeilijkheden vermijden door een veel hogere voedingsspanning voor de opnemer te gebruiken — bijv. 200 V (te leveren door het Philips gestabiliseerde gelijkspanningapparaat GM 4560) — en door, als aangeduid in fig. 2, in serie met de wikkeling een weerstand van ca. 5000 ohm in de keten op te nemen. Een condensator van $0,1 \mu\text{F}$ wordt parallel geschakeld aan de beide contacten. Fig. 3 toont een op deze wijze opgenomen heffingsdiagram van een hydraulisch aangedreven klep. De trappen, die het gevolg zijn van de verschillende windingen, zijn duidelijk zichtbaar.

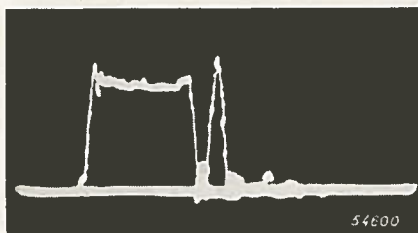


Fig. 3. Diagram van de beweging van een hydraulisch aangedreven klep, opgenomen met behulp van de schakeling van fig. 2.

Het meten van verplaatsing met behulp van een capacitieve opnemer

Zoals reeds werd opgemerkt, kan de glijcontactopnemer bij zeer hoge snelheden niet meer worden gebruikt. Men moet dan zijn toevlucht nemen tot de capacitieve methode. In fig. 4 is het schakelschema dat hiertoe dient weergegeven. De tot ca. 250 V opgeladen kleine ringcondensator A omsluit de verlengstift S, waarvan de beweging moet worden gemeten. De lading wordt over een zeer hoge weerstand (ca. 10^{11} ohm), door een constante spanningbron (bijv. Philips gelijkspanningapparaat GM 4560) geleverd. De door de verplaatsingen van S veroorzaakte veranderingen van de spanning tussen de ring en S worden, via een condensator van 2000 pF, aan de oscillograaf toegevoerd. Deze schakeling is zeer gevoelig voor storende invloeden van buiten af, en moet derhalve goed worden afgeschermd. Ook die solatie moet goed worden verzorgd, daar isolatiefouten belangrijke storingen en fouten in het oscillogram kunnen veroorzaken. Bij deskundige bediening voldoet de beschreven schakeling in de praktijk zeer goed. Fig. 5 geeft een voorbeeld van een met deze meetopstelling verkregen diagram, in dit geval de beweging van de naald van het inspuitsventiel van een Diesel motor. Ter vergelijking hebben wij in fig. 6 hetzelfde bewegingsdiagram afgedrukt, nu echter opgenomen met behulp van de beschreven schuifweerstandopnemer.

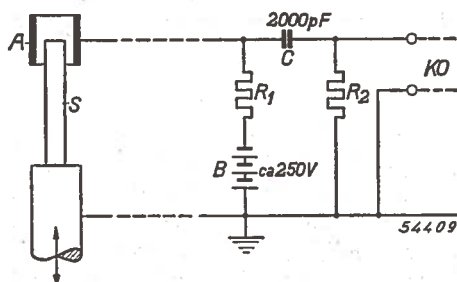


Fig. 4. Schakelschema van een capacitieve opnemer. De ring A en de verlengstift S vormen een veranderlijke condensator, die via een zeer hoge weerstand R_1 (10^{11} ohm), een spanning krijgt van ca. 250 V.

van buiten af, en moet derhalve goed worden afgeschermd. Ook die solatie moet goed worden verzorgd, daar isolatiefouten belangrijke storingen en fouten in het oscillogram kunnen veroorzaken. Bij deskundige bediening voldoet de beschreven schakeling in de praktijk zeer goed. Fig. 5 geeft een voorbeeld van een met deze meetopstelling verkregen diagram, in dit geval de beweging van de naald van het inspuitsventiel van een Diesel motor. Ter vergelijking hebben wij in fig. 6 hetzelfde bewegingsdiagram afgedrukt, nu echter opgenomen met behulp van de beschreven schuifweerstandopnemer.

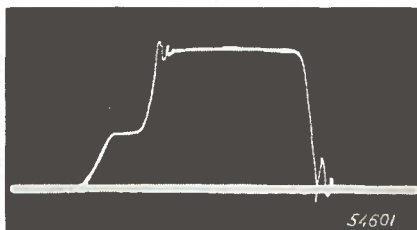


Fig. 5.

Fig. 5. Diagram van de beweging van een naald in het ventiel van een Diesel motor, opgenomen met de capacitieve opnemer van fig. 4.

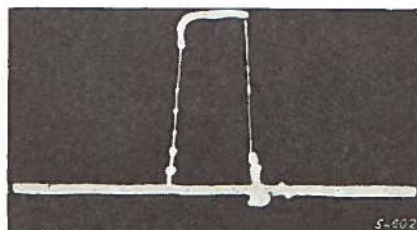


Fig. 6.

Fig. 6. Diagram van de beweging van dezelfde naald als in fig. 5, nu echter opgenomen met de schuifweerstandopnemer van fig. 3. Hieruit ziet men duidelijk, dat de schuifweerstandmethode bij hoge snelheden geen natuurgetrouw diagram meer geeft.

Het meten van drukken met behulp van piëzo-electrische opnemers

Voor het meten van veranderlijke krachten, als bijv. bij het samenpersen of uitrekken van een werkstuk optreden, of voor het opnemen van het drukverloop (bijv. in de cylinder van een verbrandingsmotor) is de piëzo-electrische opnemer het aangewezen hulpmiddel. De werking van een dergelijke opnemer berust op het feit, dat een op bijzondere wijze geslepen kwartsplaatje, bij een mechanische belasting elektrische lading afgeeft. Dit verschijnsel is volkomen lineair en nagenoeg onafhankelijk van de temperatuur, zodat metingen met piëzo-electrische opnemers een hoge graad van nauwkeurigheid kunnen bereiken.

In fig. 7 is voor het meten met een piëzo-electrische opnemer het schema weergegeven. De lading die door het kristal wordt afgegeven wordt op condensator C gebracht. De condensator krijgt daardoor een bepaalde spanning, en deze spanning wordt met de oscillograaf gemeten. Ook bij deze meetmethode ligt de grote moeilijkheid in de zeer hoge eisen die het opnemersysteem stelt aan afscherming en isolatie. Bij een zeer zorgvuldige en nauwkeurige uitvoering kunnen echter uitstekende resultaten worden bereikt. Een voorbeeld hiervan geeft fig. 8, waarin een diagram wordt getoond van het drukverloop in de uitlaat van een Diesel motor, dat volgens de bovenomschreven methode is opgenomen. Fig. 9 geeft het drukverloop in een hydraulisch systeem weer.

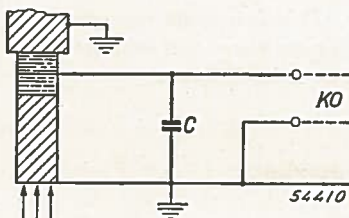


Fig. 7. Schakelschema van een piëzo-electrische opnemer voor het meten van veranderlijke krachten, als bijv. bij het samendrukken of uitrekken van een werkstuk optreden, of voor het opnemen van het drukverloop in bijv. een cylinder van een verbrandingsmotor.

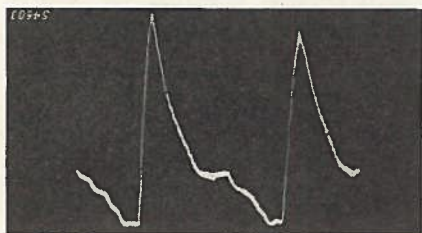


Fig. 8.

Fig. 8. Drukverloop in de uitlaat van een Diesel motor van 600 pk met een toerental van 300 omw/min, opgenomen met behulp van een kwartsopnemer.

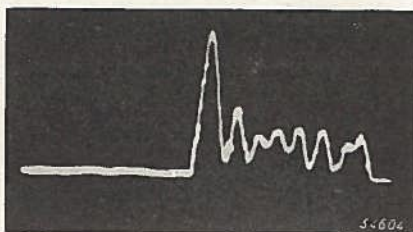


Fig. 9.

Fig. 9. Diagram van de drukvariatië in een hydraulisch systeem, eveneens opgenomen met een kwartsopnemer.

Het meten van krachten met behulp van rekstrookjes

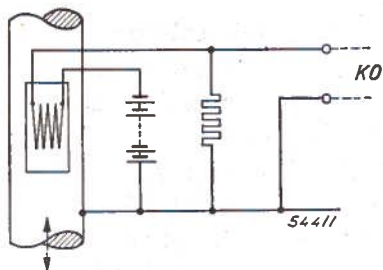


Fig. 10. Principeschema van een opnemer voor het meten van krachten met behulp van rekstrookjes.

Voor het meten van krachten staat ook een weerstandsmethode ter beschikking. Met behulp van de z.g. rekstrookjes¹⁾, die in de handel verkrijgbaar zijn, is het mogelijk de rek van het belaste machinedeel te meten langs elektrische weg. Fig. 10 geeft het schema voor een dergelijke meting. Op dezelfde manier kunnen met eenvoudige, voor een deel zelfs in de handel verkrijgbare opnemers, versnellingen, geluidsdruk, lichtsterktevariaties, temperatuurveranderingen en toerentallen worden gemeten.

Het registreerapparaat

Zoals uit het bovenstaande blijkt, is het steeds betrekkelijk eenvoudig, voor ieder te meten verschijnsel een opnemer te construeren die aan de gestelde eis beantwoordt, nl. op ieder moment een aan de te meten grootte evenredige spanning op te wekken zonder vervorming. Wil de gevolgde meetmethode echter universeel bruikbaar zijn, dan moet het registreerapparaat, dus de kathodestraaloscillograaf, aan drie voorwaarden voldoen :

1. De door de opnemer afgegeven, dikwijls slechts zeer kleine spanningen, moeten op het scherm een voldoende grote uitslag teweeg brengen. Aan deze voorwaarde kan gemakkelijk worden voldaan, daar de moderne kathodestraaloscillografen bijna steeds met een gevoelige versterker zijn uitgerust. De zeer lineaire tweetraps versterker met tegenkoppeling in de Philips oscillograaf type GM 3156 kan een maximale versterking van 1 : 10 000 geven, zodat spanningen van 1 mV nog met een uitslag van 1 cm op het scherm zichtbaar worden. Dit is nagenoeg voor alle in de praktijk voorkomende gevallen voldoende.
2. De ingangsimpedantie van de oscillograaf moet een veelvoud zijn van de inwendige weerstand van de opnemer. Meestal wordt aan deze voorwaarde vanzelf reeds voldaan, zoals bij metingen met schuifweerstand, rekstrookjes en magneetspoelen. Immers, de ingangsimpedantie van een kathodestraaloscillograaf is tegenwoordig rond 1 megohm.

Piëzo-electrische opnemers, die een vrijwel oneindige inwendige weerstand hebben, evenals capacitieve opnemers, voldoen echter niet aan deze eis. Ten einde met deze opnemers ook betrouwbare resul-

¹⁾ Sinds kort brengt ook Philips deze rekstrookjes op de markt onder typenummer GM 4472 (Red. E.M.).

taten te kunnen bereiken, moet gebruik worden gemaakt van een voorversterker. Gewoonlijk bestaat een dergelijke voorversterker uit een door batterijen gevoede electrometerbuis, die voor de ingang van de kathodestraaloscillograaf in de keten wordt opgenomen.

In fig. 11 is het schakelschema gegeven voor een dergelijke inrichting met een piëzo-electrische opnemer; de foto op de frontpagina toont de meetopstelling voor het meten van het drukverloop in de uitlaat van een verbrandingsmotor. Deze voorversterker heeft natuurlijk ten gevolge, dat grotere kosten aan de meetapparatuur moeten worden besteed; toch zal het steeds mogelijk blijven aan het eenvoudige en nuttige principe (toepassing van naar verhouding goedkope serie-apparaten) vast te houden.

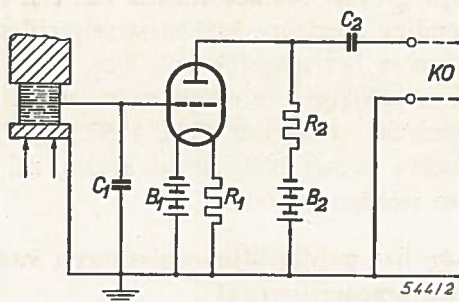


Fig. 11. Principeschema van de piëzo-electrische opnemer met de door batterijen gevoede electrometerversterker.

3. Ten slotte moet de laagste grens van het frequentiegebied waarvoor de oscillograaf geschikt is, 10 tot 20 maal lager liggen dan de frequentie van het te meten verschijnsel. De frequenties van de meeste periodieke verschijnselen in de werktuigbouwende industrie liggen tussen 5 en 50 p/s.

De oscillografen zijn in eerste instantie bestemd voor het meten van electrische hoogfrequente verschijnselen, en dientengevolge ligt de laagste frequentie veelal tussen 10 en 50 p/s. Met dergelijke oscillografen is het dus niet mogelijk metingen aan machines uit te voeren volgens de hierboven beschreven eenvoudige methode. Deze moeilijkheid wordt echter geheel opgelost door gebruik te maken van de Philips oscillograaf type GM 3156, die voor het meten van mechanische verschijnselen speciaal werd geconstrueerd. Met deze oscillograaf kunnen metingen worden uitgevoerd zelfs aan zeer langzame machines, daar de laagste frequentie 0,1 p/s bedraagt.

Hiermee is echter nog niet aan alle eisen voldaan. De door de opnemers opgewekte spanningen bevatten dikwijls een gelijkstroomcomponent die voor de meting eveneens interessant is, daar hieruit de absolute waarde van de gemeten grootte kan worden afgeleid. Dikwijls is men er immers niet mee tevreden slechts de grootte van een drukverandering te kennen, maar wil men ook de absolute druk op elk moment vaststellen. Bovendien moeten de opnemers geijkt worden, hetgeen gewoonlijk statisch moet gebeuren.

In deze beide gevallen is zelfs de lage frequentie van de Philips kathodestraaloscillograaf niet meer voldoende. Men zou ook een frequentie 0

mee willen versterken, m.a.w. de beschikking willen hebben over een gelijkspanningversterker. Deze eis is de reden waarom vele machine-fabrieken in hun laboratoria gelijkspanningversterkers gebruiken, die zij met zeer grote kosten zelf hebben vervaardigd. In plaats hiervan had men gebruik kunnen maken van een in serie gefabriceerde, dus in verhouding goedkope kathodestraaloscillograaf.

Toch is het mogelijk ook hier, door toepassing van een hulpparaat, de moeilijkheid te overwinnen, en wel met behulp van de Philips elektronische schakelaar GM 4580. Daar deze mogelijkheid blijkbaar nog slechts weinig bekendheid geniet, zal er hier een nadere uiteenzetting van worden gegeven.

Een methode voor het gelijktijdig registreren van de gelijkspanningscomponent met de wisselspanningoscillograaf

Door periodiek op een vaste nulwaarde over te schakelen, kan de door de opnemer geleverde gelijkspanningcomponent eveneens in een wisselspanning worden omgezet. De vaste nulwaarde kan hierbij met behulp van een potentiometer van de elektronische schakelaar worden ingesteld. De aldus verkregen wisselspanning wordt door een capacitief gekoppelde versterker versterkt, en op het scherm van de oscillograaf verschijnen twee beelden, nl. de nullijn en het gemeten verschijnsel. De afstand

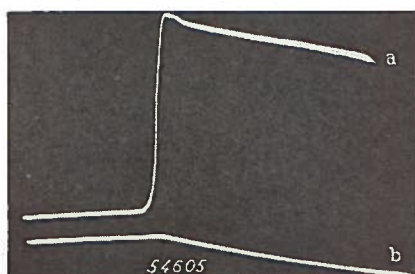


Fig. 12.

Fig. 12. Diagram van de plotselinge verandering van de gelijkspanning aan de ingang van de elektronische schakelaar bij een hoge schakelfrequentie, als achter deze schakelaar een wisselspanningoscillograaf wordt gebruikt. Ten gevolge van de RC-schakeling in de uitgang van de elektronische schakelaar, lopen de beide lijnen a en b schuin naar beneden in plaats van horizontaal. Dit kan men als volgt verklaren: Door het omschakelen van de elektronische schakelaar met de multivibrator, wordt aan de oscillograaf een rechthoekige wisselspanning afgegeven die voor de gelijkspanningsverandering aan een kanaal van de schakelaar als dubbele amplitude de afstand tussen de beide horizontale lijnen heeft en waarvan de nullijn midden tussen deze lijnen loopt. Na de gelijkspanningsverandering is de dubbele amplitude van deze wisselspanning gelijk aan de afstand tussen de lijnen a en b. De nullijn van deze nieuwe wisselspanning is naar boven geschoven, hetgeen duidt op de aanwezigheid van een gelijkspanningscomponent die op de wisselspanning is gesuperponeerd. Deze gelijkspanningscomponent kan door de RC-elementen van de elektronische schakelaar niet blijvend worden doorgegeven, daar de condensatoren zich via de weerstanden ontladen. De nullijn van de wisselspanning stelt zich zodoende weer op de oorspronkelijke nulas in. Dientengevolge lopen de beide lijnen a en b schuin naar beneden.

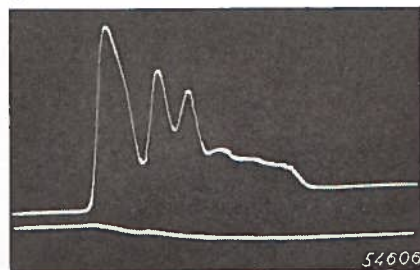


Fig. 13.

Fig. 13. Diagram van een drukverandering, opgenomen met behulp van de elektronische schakelaar en de oscillograaf, waarbij een blijvende verandering van de absolute waarde van de druk optrad.

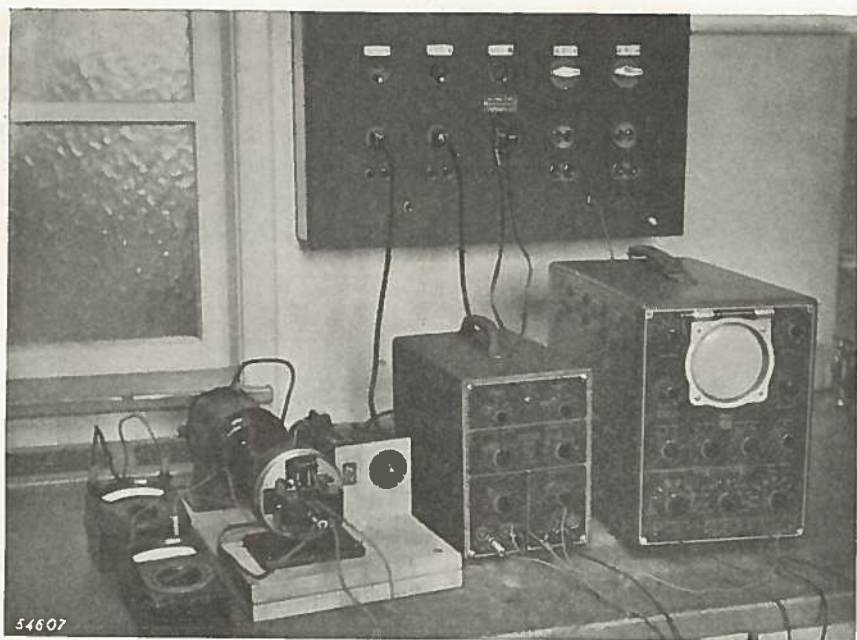


Fig. 14. Meetopstelling voor het beproeven van een zuigerwegopnemer met behulp van de electronische schakelaar en de oscillograaf.

tussen dit laatste en de nullijn stelt op elk ogenblik de gezochte absolute waarde voor. Bij het toepassen van een dergelijke schakeling moet men echter op de volgende bijzondere eigenschappen letten.

Omdat met capacitieve koppeling wordt gewerkt, treedt ook hier een relaxatieverschijnsel op. Na de verschuiving van de meetlijn in één richting valt het gehele beeld weer in het midden van het scherm terug (fig. 12). Daar echter ook de nullijn deze verschuivingsbeweging meemaakt, kan men de absolute waarde van de te meten grootheid na iedere willekeurige tijd afleiden uit de afstand tussen de meetlijn en de nullijn. Fig. 13 toont het diagram van een drukvariatie met een blijvende verandering van de absolute waarde. Foto fig. 14 toont de meetopstelling met electronische schakelaar en kathodestraaloscillograaf tijdens het beproeven van een zuigerwegopnemer.

De electronische schakelaar heeft echter een tamelijk kleine ingangs-impedantie, en dus moet ook hier bij gebruik van een piëzo-electrische opnemer de electrometerversterker worden toegepast.

In fig. 15 is het betreffende schakelschema getekend. De versterking van de electronische schakelaar is aanmerkelijk geringer dan die welke met de kathodestraaloscillograaf kan worden bereikt. Toch is deze versterking bij gebruik van gevoelige opnemers meestal nog voldoende. Men moet er nog op letten, dat de uitgang van de electrometerversterker II direct (zonder capacitieve koppeling) is verbonden met de ingangsbuis van de electronische schakelaar III, zodat deze uitgang zich op aard-potentiaal moet bevinden.

In fig. 15 is de nulpotentiala van de ingang van de elektronische schakelaar bereikt met behulp van een tweede batterij, B_2 , en een daarmee in serie geschakelde potentiometer R_2 . Het spanningsverval in de potentiometer R_2 heeft een zodanige waarde, dat het glijcontact zich op aardpotentiala bevindt. De afwijkingen van de normale anodespanning in rusttoestand van de electrometerbuis vindt men, zij het dan ook verzwakt door de potentiometer, terug aan de ingang van de elektronische schakelaar.

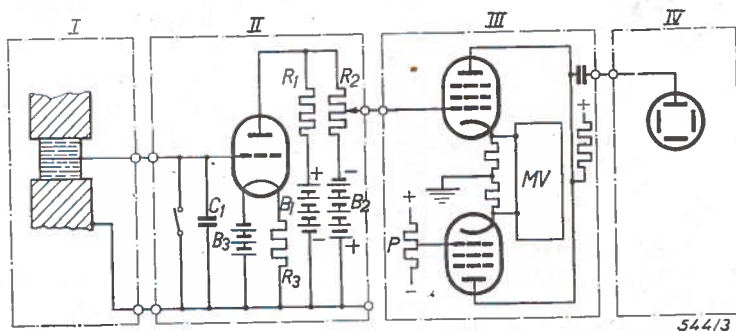


Fig. 15. Schakelschema van een installatie voor het meten van drukken met behulp van een kwartsopnemer I, een electrometerversterker II, een elektronische schakelaar III en een oscillograaf IV. MV is de multivibrator van de elektronische schakelaar.

EEN MINIATUUR KATHODESTRAAL OSCILLOGRAAF

DE PHILIPS GM 5655



54417

Fig. 1. Vooraanzicht van de oscillograaf GM 5655. De kleine afmetingen blijken duidelijk uit de verhouding tussen de schermdiameter, welke 7 cm bedraagt, en de breedte en hoogte van de kast.

In vele gevallen zal men liever genoeg nemen met een eenvoudige oscillograaf - die uiteraard goedkoper is dan een geperfectioneerd apparaat met een relatief groot scherm. Dit geldt in de eerste plaats voor onderwijsinstellingen, maar ook in laboratoria en bedrijven zal men dikwijls, naast de duurdere, eenvoudige oscillografen voor routinewerkzaamheden willen gebruiken. Ook in de sterkstroomtechniek en voor de contrôle van een bandfabricage zal men gaarne van dergelijke oscillografen gebruik willen maken. Ten slotte vermelden we nog, dat de reparateur van radiotoestellen er in vele gevallen tegen op zal zien al zijn medewerkers van kostbare oscillografen te voorzien. Dit zal vooral het geval zijn als hij

iedere reparatiepost met een oscillograaf wil uitrusten. Daarom brengt Philips thans een nieuwe kleine oscillograaf, de GM 5655, die, dank zij de steeds voortschrijdende techniek, uiterst kleine afmetingen heeft verkregen. Ondanks zijn kleinheid heeft deze oscillograaf vele eigenschappen gemeen met de grote laboratorium- en industrie-oscillografen. Deze kleine praktische oscillograaf zal daarom overal gebruikt kunnen worden waar de topprestaties van de grote oscillografen niet absoluut noodzakelijk zijn. Voor de service op alle mogelijke gebieden is deze oscillograaf, dank zij zijn kleine afmetingen en gering gewicht, natuurlijk zeer aantrekkelijk. Ook zal men dikwijls er toe overgaan deze oscillograaf op grote schaal in meet- en contrôlepanelen in te bouwen; van de zijde van bijv. vele P.T.T. diensten bestaat hiervoor grote belangstelling. Voor het repareren van radiotoestellen kan een meetkop GM 4575 worden geleverd. Met de combinatie GM 4575 en GM 5655 kan men het aan iedere trap van de ontvanger toegevoerde antennesignaal op het scherm van de kathodestraalbuis zichtbaar maken. In de meetkop GM 4575 bevindt zich een als rooster-detector geschakelde penthode. In combinatie met de frequentiemodulator

GM 2881 kan de oscillograaf GM 5655 ook dienen voor het visueel instellen van afstemkringen van een ontvanger.

Deze oscillograaf is uitgerust met :

1. twee gevoelige versterkers, een voor de horizontale en een voor de verticale afbuiging ;
2. een lineaire tijdbasisseenheid ;
3. een inrichting voor inwendige en uitwendige synchronisatie van de tijdbasisfrequentie, met automatische instelling van de amplitude (dank zij deze laatste, is de inwendige synchronisatie nagenoeg onafhankelijk van de te onderzoeken spanning) ;
4. een universele netvoedingstransformator voor 6 verschillende spanningen ;
5. een kathodestraalbuis met een scherm diameter van 7 cm.

De volgende korte bespreking van de verschillende eenheden en eigenschappen zal een beeld geven van dit apparaat.

De kathodestraalbuis

De beoogde kleine afmetingen van het apparaat maakten het noodzakelijk een kathodestraalbuis met een scherm diameter van 7 cm te kiezen en de versterkers zo eenvoudig mogelijk te houden. Dit laatste hield in, dat men moest afzien van balansversterkers voor het symmetrisch sturen t.o.v. aarde van de platenparen van de kathodestraalbuis voor verticale en horizontale afbuiging. Daarom werd voor deze oscillograaf de kathode-

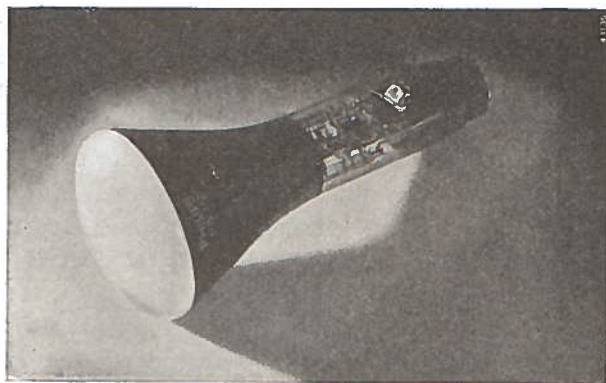


Fig. 2. De Philips kathodestraalbuis DG 7-2.

straalbuis DG 7-2 gekozen ; hiervan hebben, met het oog op trapezium-
vervorming van het oscillogram, de platen voor de horizontale afbuiging
een speciale vorm, waardoor het mogelijk is een asymmetrische tijd-
basisspanning t.o.v. aarde te gebruiken. Ten gevolge van de asymme-
trische sturing van de Y-platen treedt een onvermijdelijke, doch geringe
defocussing aan de boven- en de onderzijde van het oscillogram op ;

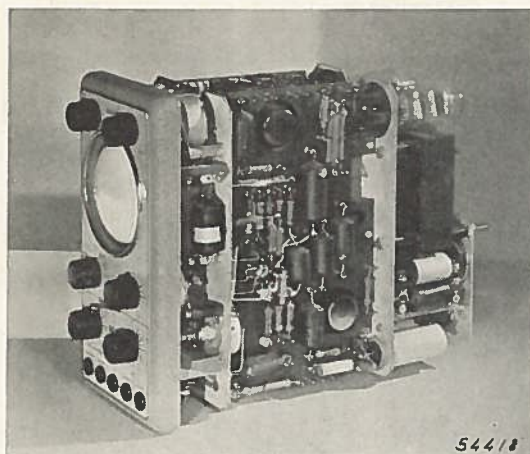


Fig. 3. Een foto van de oscillograaf, waarvan de kast is verwijderd. Men ziet hieruit duidelijk de originele en compacte bouw, terwijl toch alle delen buitengewoon toegankelijk zijn.

tijdbasisspanning. De deflectiegevoeligheid van de X-platen is bij een spanning van 800 V op de tweede anode ongeveer 0,14 mm/V, die van de Y-platen bedraagt ongeveer 0,22 mm/V. Bij lagere anodespanningen zijn deze gevoeligheden evenredig groter.

De versterkers

Zoals reeds werd vermeld, bevinden zich in deze oscillograaf twee versterkers, een voor de verticale en een voor de horizontale afbuiging van de elektronenbundel. Dit zijn dus geen balansversterkers, en de ingangs- en uitgangsspanningen zijn asymmetrisch ten opzichte van aarde. In ieder van deze versterkers wordt een buis ECH 21 gebruikt, een normale triode-heptode uit de serie van omroep-ontvangbuizen. Het triodedeel wordt gebruikt als voorversterker, en het heptodedeel als eindversterker. Deze beide trappen zijn door middel van een weerstand-condensatorelement met elkaar gekoppeld. Beide versterkers zijn door middel van een sterke spanningstegenkoppeling onafhankelijk gemaakt van veranderingen in de steilheid van de buizen, die bijv. het gevolg zijn van netspanningvariaties. Deze tegenkoppeling is frequentieafhankelijk, zodat de frequentiekaracteristiek voor hoge frequenties is gecorrigeerd. Daardoor is bereikt dat, bij een maximale versterking van 500 keer, voor iedere versterker het frequentiegebied ligt tussen 6 en 100 000 Hz, waarbij de afwijking van de lineaire karakteristiek ten hoogste +5% en -25% bedraagt (in het frequentiegebied van 6 tot 50 000 Hz zijn deze afwijkingen maximaal +5% en -10%). Daar de gevoeligheid van de X-platen bij de gekozen anodespanning van de kathodestraalbuis (630 V) 22,5 V_{eff} per cm en de gevoeligheid van de Y-platen 15 V_{eff} per cm is, hebben we voor de maximale gevoeligheid van het kanaal voor horizontale afbuiging een waarde van 45 mV_{eff}/cm (0,127 V spanningsverandering per cm deflectie) en voor de maximale gevoeligheid van het kanaal voor verticale afbuiging een waarde van 30 mV_{eff}/cm (0,085 V spanningsverandering per cm deflectie).

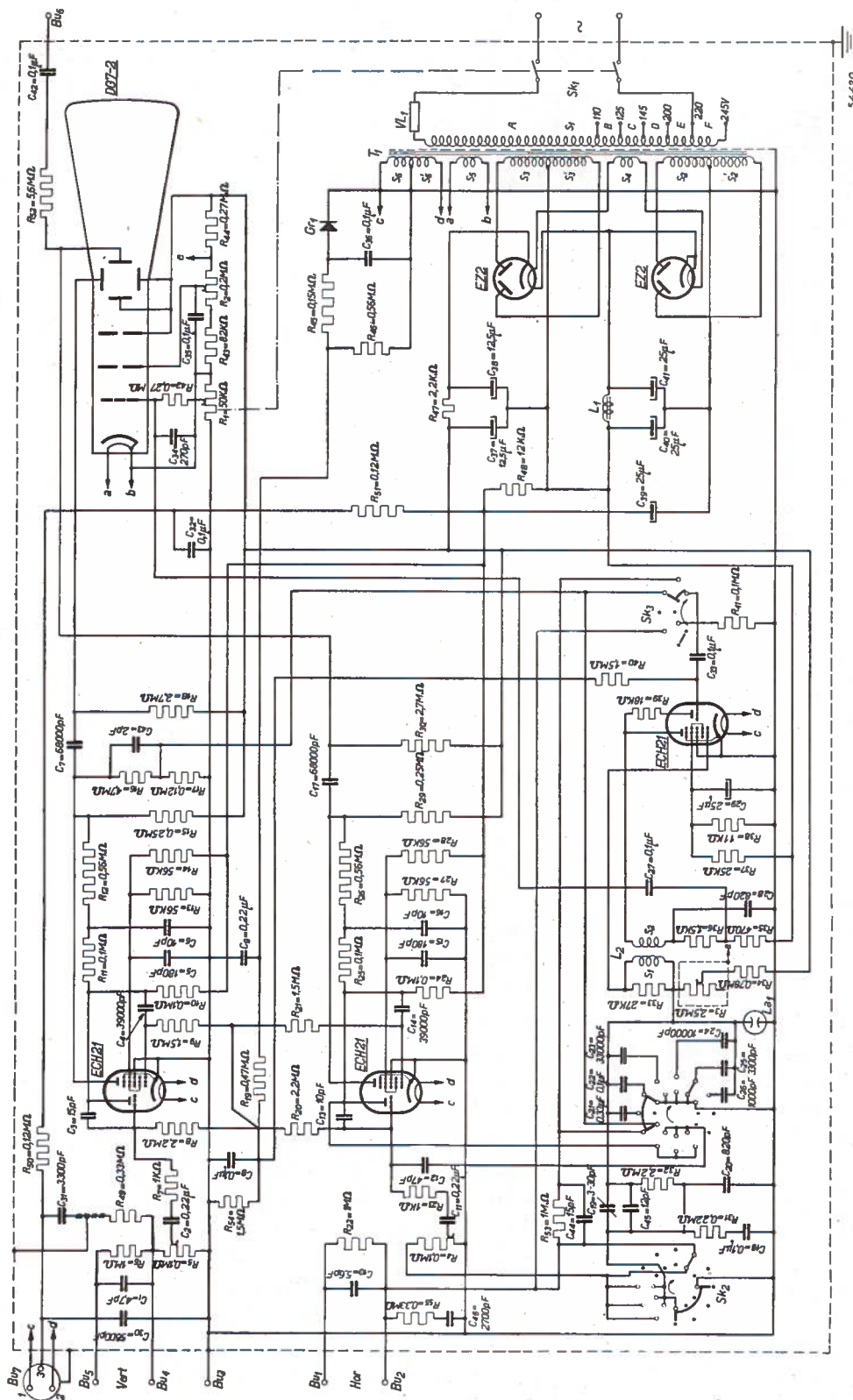


Fig. 4. Het schema van de miniatuur oscillograaf GM 5655.

Tussen de anode van het triodedeel van de ECH 21 en het rooster hiervan bevindt zich een klein neutrodyne condensatortje, om de invloed van de capaciteit tussen de anode van het heptodedeel en het rooster van het triodedeel te niet te doen. De ingangen van beide versterkers hebben een vaste verzwakker van 1 : 13 en een continu regelbare verzwakker. Zoals uit het schema van fig. 4 blijkt, wordt de vaste verzwakking bereikt door de spanning aan de klemmen Bu_5 en Bu_3 , resp. Bu_1 en Bu_3 , te leggen; deze vaste verzwakking heeft men niet als men de spanning toevoert aan de klemmen Bu_4 en Bu_3 , resp. Bu_2 en Bu_3 . De continuegeleers staan een verzwakking toe van 1 : 10 000. Deze hebben weinig invloed op de frequentiekaracteristiek van de versterkers; de trappenverzwakkers echter wel. Bij gebruik van een trappenverzwakker is de frequentiekaracteristiek van de betreffende versterker vlak, met een nauwkeurigheid van $\pm 10\%$, in een gebied van 16—30 000 Hz. De versterkers kunnen voor het meten van fazebetrekkingen worden gebruikt tot een frequentie van 10 000 Hz, als men alleen gebruik maakt van de continuverzwakkers, en tot een frequentie van 2500 Hz, als men gebruik maakt van de trappen- en de continuverzwakkers. Tot deze frequenties zijn de fazeverschuivingen in de versterkers gelijk en verwaarloosbaar klein. De onderstaande tabellen geven een overzicht van eigenschappen van de versterkers en de ingangskringen.

I. Versterker voor verticale sturing

Ingangs-klemmen	Max. gevoeligheid		Ingangs-weerstand $M \Omega$	Ingangs-capaciteit pF	Max. ingangs-spanning V ¹⁾	Frequentie-bereik Hz	Max. afwijkingen van de lineariteit %	Hoogste frequentie voor kleine fazeverschuiving Hz
	V_{eff}/cm	V spannings-verandering per cm						
Bu_4 en Bu_3	0,03	0,085	0,1	30	50	6—100 000	+ 5 en — 25	10 000
Bu_5 en Bu_3	0,39	1,10	1,1	12	300	6—30 000	± 10	2 500

II. Versterker voor horizontale sturing

Ingangs-klemmen	Max. gevoeligheid		Ingangs-weerstand $M \Omega$	Ingangs-capaciteit pF	Max. ingangs-spanning V ¹⁾	Frequentie-bereik Hz	Max. afwijkingen van de lineariteit %	Hoogste frequentie voor kleine fazeverschuiving Hz
	V_{eff}/cm	V spannings-verandering per cm						
Bu_3 en Bu_3 ²⁾	0,045	0,127	0,1	65	50	6—100 000	+ 5 en — 25	10 000
Bu_2 en Bu_1	0,585	0,165	1,1	12	300	6—30 000	± 10	2 500

¹⁾ Gelijkspanning + effectieve wisselspanning (ongeveer sinusvormig).

²⁾ De maximale gevoeligheid aan deze ingang is 0,09 V_{eff}/cm , corresponderend met 0,255 V spanningsverandering per cm deflectie, als de synchronisatieschakelaar SK_3 op de stand „Ext” is gezet; de ingangsweerstand bedraagt dan 50 000 ohm.

³⁾ Gelijkspanning + effectieve wisselspanning (ongeveer sinsvormig).

De versterker voor horizontale sturing kan dienen voor het versterken van een van buiten toegevoerde wisselspanning of van de in de oscillograaf zelf opgewekte lineaire tijdbasisspanning. Met behulp van de omschakelaar voor de tijdbasisfrequentie kan men de tijdbasis uitschakelen en de versterker direct op de hiervoor aangebrachte ingangsklemmen aansluiten.

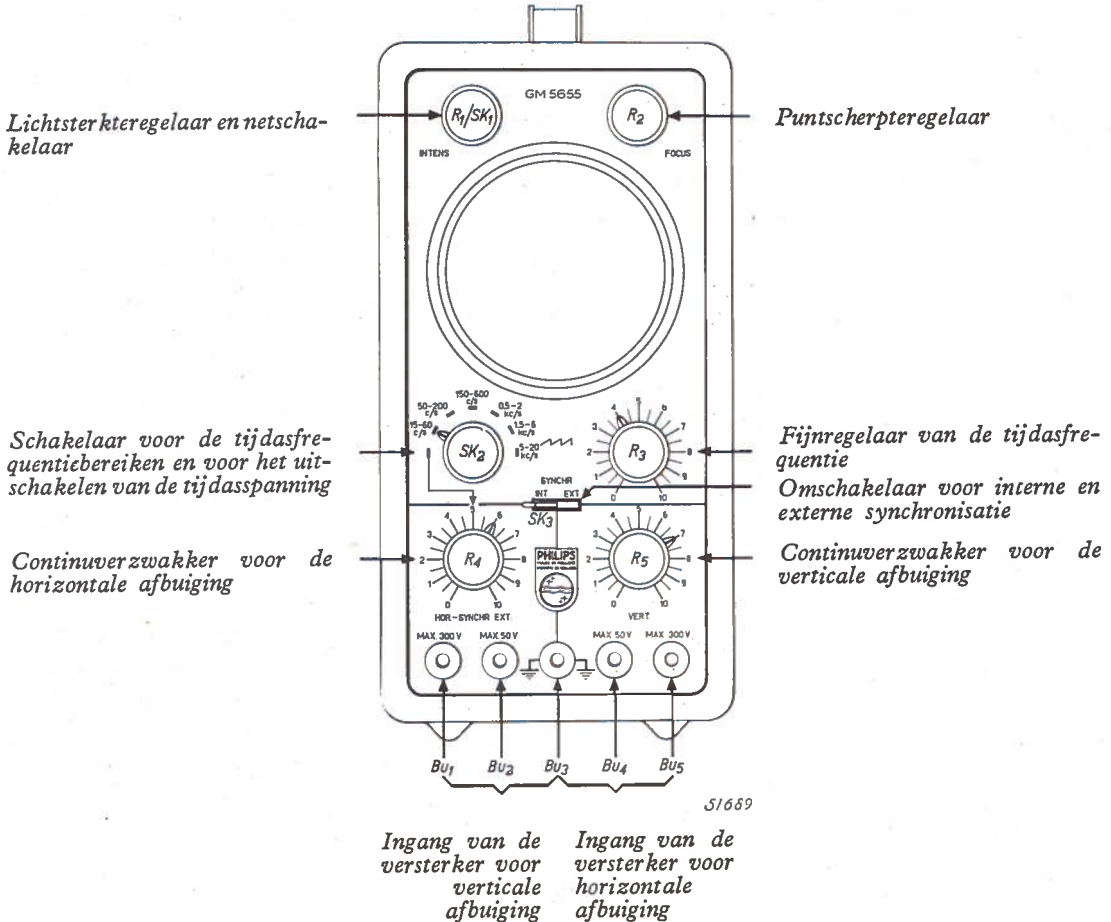


Fig. 5. De bedieningsorganen van de GM 5655 op het voorpaneel.

De generator van de tijdbasisspanning

Daar een versterker voor de sturing van het platenpaar voor horizontale afbuiging aanwezig is, kan de schakeling van de generator voor de tijdbasisspanning zeer eenvoudig zijn. Voor de tijdbasisspanning wordt slechts één buis gebruikt.

In wezen is de schakeling als voorgesteld in fig. 6. Een condensator C_t wordt, bij geopende schakelaar S , over een weerstand R_t geladen uit een stroombron met spanning V_b ; bij gesloten schakelaar ontladt hij zich over de weerstand R_d . In werkelijkheid wordt, in plaats van een schakelaar, een buisschakeling gebruikt.

Zowel tijdens het laden als tijdens het ontladen van C_t , verloopt de

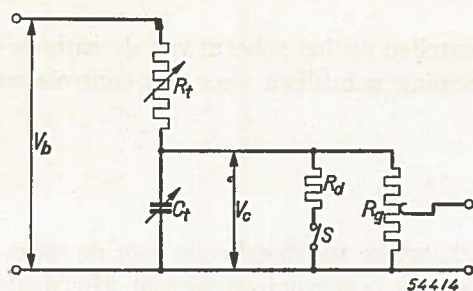


Fig. 6. Principeschema van de tijdbasisschakeling. De condensator C_t wordt geladen uit een stroombron met spanning V_b , over een regelbare weerstand R_t , en, bij gesloten schakelaar S , ontladen over de veel kleinere weerstand R_d . In werkelijkheid is S een buis. R_g = ingangspotentiometer van een versterker.

spanning V_c aan deze condensator volgens een exponentiële functie van de tijd, dus niet linear. Deze niet-lineariteit is echter verwaarloosbaar klein, als men de amplitude van V_c klein houdt ten opzichte van V_b . Daar de tijdasspanning versterkt wordt door de versterker voor horizontale sturing, is dit niet moeilijk te verwezenlijken.

Zoals reeds vermeld, wordt het ontladen van de tijdascondensator bereikt met behulp van een buisschakeling. Als buis wordt hiervoor gebruikt het heptodegedeelte van een triode-heptode ECH 21. Dit gedeelte is geschakeld als overgenererende oscillator, die telkens gedurende korte tijd oscilleert. In deze tijd wordt de condensator C_t ontladen, en daardoor houdt de oscillatie op tot de condensator weer is geladen. De relaxatietijd van deze combinatie kan in zeer wijde grenzen worden ingesteld. In de GM 5655 kan de tijdasfrequentie worden ingesteld tussen 15 en 20 000 Hz, met behulp van een schakelaar (waarmee de capaciteit C_t in trappen wordt veranderd) en een potentiometer (waarmee de weerstand R_t continu wordt geregeld). De frequentiebereiken van de trappen zijn :

15— 60 Hz	500— 2000 Hz
50—200 „	1500— 6000 „
150—600 „	5000—20000 „

De uitgangsspanning van de tijdasgenerator kan worden toegevoerd aan de continuverzwakker van de X-versterker. Met behulp van deze continuverzwakker kan men dus de breedte van het beeld instellen zonder dat daardoor de tijdasfrequentie wordt beïnvloed. Gedurende de terugslag van de tijdas, dus in de tijd dat de buis oscilleert, wordt de straal onderdrukt. Dit is bereikt door een weerstand op te nemen in serie met de anode van het heptodegedeelte. Het oscilleren veroorzaakt over deze weerstand een spanningpiek, welke over een condensator wordt toegevoerd aan de Wehnelt cylinder van de kathodestraalbuis. Door de straal tijdens de terugloop te onderdrukken, wint het beeld vaak aan duidelijkheid. Aan de achterkant van het apparaat bevindt zich een speciale klem, (Bu_6) welke over een condensator en een weerstand is verbonden met de eindtrap van de X-versterker. Bij gebruik van de inwendige tijdasspanning ligt deze versterkte spanning dus tussen klem Bu_6 en aarde. Deze spanning kan bijv. worden gebruikt voor het sturen van de frequentiemodulator GM 2881, welke dient voor het zichtbaar maken van

resonantiekrommen van ontvangtoestellen op het scherm van de kathodestraalbuis. Ook kan men deze spanning gebruiken voor het controleren van laagfrequent versterkers.

De synchronisatie

Het triodegedeelte van de ECH 21, welke wordt gebruikt voor de tijdas-generator, dient als versterker voor het synchronisatiesignaal. Hiermede kan een zeer soepele synchronisatie worden bereikt tussen de te onderzoeken periodieke spanning en de tijdasspanning, en oversynchronisatie kan niet optreden. De synchronisatie kan geschieden met de frequentie van een willekeurige wisselspanning buiten het apparaat, welke aan de klemmen Bu_1 en Bu_3 , resp. Bu_2 en Bu_3 , wordt gelegd, of met de frequentie van de spanning tussen de Y-platen van de kathodestraalbuis. In het eerste geval noemen we de synchronisatie extern („Ext”), in het tweede intern („Int”).

Tabel III verschaft enige gegevens voor het gebruik van de externe synchronisatie.

III. Externe synchronisatie

Ingangsklemmen	Laagste spanning V_{eff}		Hoogste spanning V_{eff}		Ingangsweerstand Megohm
	tot 3000 Hz	bij 100 000 Hz	tot 3000 Hz	bij 100 000 Hz	
Bu_2 en Bu_3	1	3	5	15	0,1
Bu_1 en Bu_3	10	30	50	150	1,1

Diverse opmerkingen

Ter wille van de eenvoud en de kleine afmetingen van het apparaat, was men gedwongen enige regelorganen, die men op de grotere oscillografen vindt, weg te laten. Dit is o.a. het geval met de horizontale en de verticale instelling van het beeldpunt, en verder kunnen de afbuigplaten niet van de versterkers worden losgekoppeld, ten einde ze direct van buiten af te sturen. Ook is niet voorzien in een aansluiting voor straalmodulatie, en kan de straalonderdrukking gedurende de terugloop van de tijdas niet buiten werking worden gesteld.

De voeding

Voor de voeding van de buizen wordt gebruik gemaakt van twee dubbel-fazige gelijkrichters met buizen EZ 2, welke in serie zijn geschakeld, en een klein seleengelijkrichtertje. De twee in serie geschakelde gelijkrichters leveren een gelijkspanning van 630 V en voeden bij deze spanning de versterkers en de kathodestraalbuis. De tijdasoscillator wordt gevoed

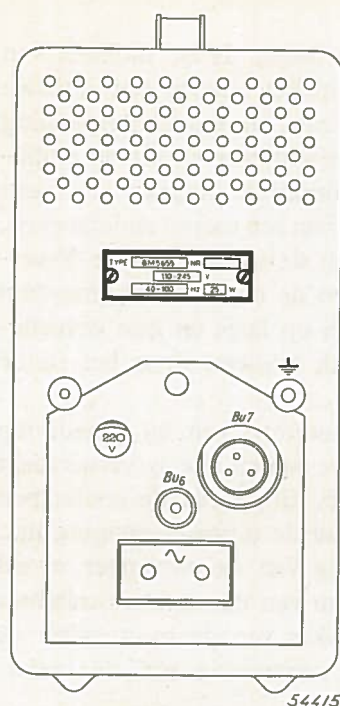


Fig. 7. Achteraanzicht van de GM 5655.

door de eerste van de twee in serie geschakelde gelijkrichters, bij een spanning van 250 V. Het seleengelijkrichtertje dient voor het leveren van de negatieve rooster-spanning van de versterkbuizen. De gemeenschappelijke transformator voor al deze gelijkrichters en de gloeispanningen heeft aan de primaire zijde aftakkingen voor netspanningen van 110, 125, 145, 200, 220 en 245 volt, en hij is tevens bruikbaar in een frequentiegebied van 40 tot 100 Hz. Het nodige, door het net te leveren vermogen bedraagt 35 W. De transformator is beveiligd tegen te hoge temperaturen.

Gewicht en afmetingen

Gewicht compleet 6,4 kg ; hoogte 24 cm, breedte 11,6 cm ; lengte 29,5 cm.

Het volgen van het signaal in een radio-ontvanger

Met behulp van de meetkop GM 4575 (zie fig. 8) kan men op het scherm van de oscillograaf het hoogfrequente of middenfrequente signaal in iedere trap van een radio-ontvangtoestel zichtbaar maken, en hiermee dus constateren in welke trap fouten optreden. In de meetkop bevindt zich, zoals reeds gezegd, een penthode, de EF 41, welke als rooster-detector wordt gebruikt. Deze buis heeft bijzonder kleine afmetingen¹⁾. Met behulp van een driederig snoer met aardmantel en een driepolige stekker, wordt de meetkop aangesloten aan de achterzijde van de oscillograaf (Bu₇, zie fig. 7). Indien aan de ingang van een ontvangtoestel een gemoduleerd signaal wordt toegevoerd, bijv. van een service meet-zender, dan zal, als de contactpen van de meetkop in aanraking wordt gebracht met een punt van een trap waaraan de versterkte ingangsspanning ligt, de gedetecteerde modulatie-wisselspanning zich aan de ingang

¹⁾ Dit is een moderne Rimlock buis.

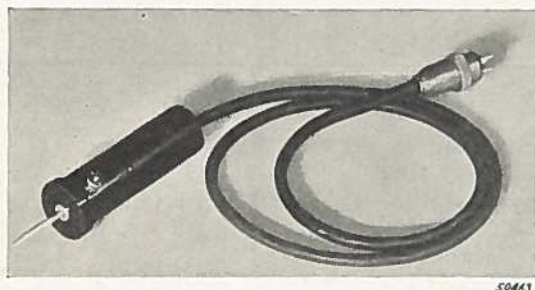


Fig. 8. Meetkop GM 4575 voor het volgen van het signaal van trap tot trap in een radio-ontvangtoestel.

van de versterker voor verticale deflectie bevinden. Is de tijdbasis van de oscillograaf uitgeschakeld, dan ziet men op het scherm een verticale streep, en is de tijdas ingeschakeld, dan ziet men de modulatiespanning als functie van de tijd. Uit de vorm van deze kromme en uit de amplitude, kan men afleiden of er in deze of in voorgaande trappen storingen optreden. Wil men de laagfrequentversterker van een toestel onderzoeken, dan doet men beter het l.f. signaal direct aan de ingang van de Y-versterker te leggen zonder gebruik te maken van de meetkop. De meetkop is voorzien van een schakelaartje, waarmee hij op hoge en lage gevoeligheid wordt ingesteld. Dit schakelaartje wordt bediend door het ronde voorplaatje van de meetkop te draaien.

De versterking van een trap van een ontvangtoestel kan bij benadering worden bepaald door eerst de beeldhoogte te meten die is veroorzaakt door de spanning aan de ingang van de trap, en daarna de contactpen in aanraking te brengen met een punt waaraan de uitgangsspanning ligt. Men verzwakt dan het signaal aan de ingang van de ontvanger zoveel als nodig is om dezelfde uitslag op het scherm van de kathodestraalbuis te krijgen, en leest vervolgens op de verzwakker van de meetzender de toegepaste verzwakking af. Deze geeft de versterking van de onderzochte trap.

In tabel IV vindt men de nodige gegevens van de meetkop met oscillograaf.

IV. Combinatie van de meetkop GM 4575 en de oscillograaf GM 5655

Stand v. d. schakelaar op de meetkop	Gevoeligheid $\text{mV}_{\text{eff}}/\text{cm}^1)$	Ingangsweerstand $\text{M}\Omega$	Ingangscapaciteit pF	Max. ingangsspanning V	Frequentiebereik v. h. H.F. signaal
1	ca. 65	0,82	10	250 V - + 100 V $\approx$	tot 30 MHz
2	ca. 650		2		

¹⁾ Bij een modulatiediepte van 30 %.

INHOUD

De Philips oscillograaf in de werktuigbouw

Een miniatuur kathodestraaloscillograaf, de Philips GM 5655

ELECTRONISCH METEN

DE TOEPASSING DER MODERNE
ELECTRONISCHE MEETAPPARATEN
IN LABORATORIA EN BEDRIJVEN



JAARGANG 2

NUMMER 6

In de kunstzijde-industrie „Nijma” te Nijmegen werd de Philips stroboscoop GM 5500 gebruikt voor onderzoeken aan twijnmachines.



De Philips stroboscoop GM 5500 is een uitzonderlijk lichtsterk apparaat, dat het mogelijk maakt de beweging van snel roterende of heen- en weer bewegende machinedelen bij normaal daglicht door observeren en fotograferen te analyseren. Dit apparaat kan daarom grote diensten bewijzen overal waar men van deze bewegingen studie wil maken, en zal er zeker toe bijdragen belangrijke verbeteringen van velerlei machines te bereiken. Deze stroboscoop werd verkregen door het speciaal voor dit doel ontwerpen van een hoge-druk edelgaslamp en een daarbij passende relaisbuis. In dit nummer van „Electronisch Meten” geven wij een beschrijving van de stroboscoop GM 5500 en wordt gewezen op enige toepassingsmogelijkheden ervan.

STROBOSCOPIE EN DE NIEUWE PHILIPS STROBOSCOOP GM 5500

Inleiding

Overal waar men met bewegende voorwerpen heeft te maken, doet zich het verlangen voor, deze gedurende hun beweging op een bepaald ogenblik of van tijdstip tot tijdstip te kunnen waarnemen. Uit deze waarneming wil men concluderen of de beweging naar wens verloopt, dan wel of er storingen optreden die onverwachte of onbekende invloeden op de juiste beweging uitoefenen.

Zeër bekend zijn bijv. de voor dit doel vertraagde filmopnamen van over hindernissen springende paarden, zwimmers die van een springtoren duiken, enz. Dergelijke opnamen maken het bijv. mogelijk, de houding van een atleet gedurende de uitvoering van een handeling te bestuderen en daaruit conclusies te trekken voor verbetering en verhoogde prestaties. Evenals sportieve verrichtingen met de filmcamera kunnen worden geanalyseerd, zo ook wenst men machine-onderdelen of andere voorwerpen waarvan men de bewegingstoestand precies wil kennen en waarvan het oog de beweging niet kan volgen, van ogenblik tot ogenblik waar te nemen, om aan de hand van de bevindingen eventuele verbeteringen te kunnen aanbrengen.

Deze wens heeft geleid tot de ontwikkeling van stroboscopische apparaten, met behulp waarvan men periodieke bewegingen schijnbaar tot stilstand kan brengen, door het betreffende object, gedurende iedere bewegingsperiode en synchroon daarmee, een zeer kort ogenblik zichtbaar te maken. Er bestaan twee manieren om bewegende delen stroboscopisch te onderzoeken, en wel :

1. door het betreffende voorwerp continu te belichten en waar te nemen met een optisch instrument, waarvan het gezichtsveld periodiek wordt afgedekt, en
2. door het voorwerp in een donkere ruimte te plaatsen en periodiek zeer kort te belichten.

Principieel zijn beide methoden gelijk, en beide kunnen zij als volgt worden verklaard:

Wordt volgens de eerste methode een bewegend voorwerp goed belicht en plaatst men voor het oog een instrument, waarmee men het voorwerp gedurende zeer korte tijd kan waarnemen op de ogenblikken waarop het zich na iedere bewegingsperiode in dezelfde stand bevindt, dan zal het schijnbaar stilstaan, vooropgesteld dat de duur van de periode kort genoeg is om geen afzonderlijke indrukken op het oog achter te laten. Het instrument waarmee men het periodieke waarnemen van het voorwerp bereikt, kan bijv. bestaan uit een eenvoudige schijf, waarin zich bij de omtrek een gat of radiale spleet bevindt. Zorgt men dat het aantal omwentelingen per seconde van deze schijf overeenkomt met de frequentie van de periodieke beweging van het te onderzoeken voorwerp, dan zal men een stilstaand beeld verkrijgen.

Deze methode heeft het voordeel dat men niet uitdrukkelijk een extra belichting van het te onderzoeken voorwerp nodig heeft. Hierbij moet echter niet worden vergeten, dat de totale hoeveelheid licht die tot het oog doordringt, zeer gering is, en dus al gauw een extra heldere belichting van het object wenselijk wordt. Belangrijke nadelen van deze methode zijn, dat het gezichtsveld zeer beperkt is en dat de waarneming slechts telkens door één persoon kan geschieden. Bovendien is het waarnemen via een optisch instrument, dat vlak voor het oog moet worden gehouden, hinderlijk en vermoeiend.

Volgens de andere methode, waarbij het te onderzoeken voorwerp in een donkere ruimte is geplaatst, zorgt men, dat het slechts dan zeer kort wordt belicht als het zich na iedere periode weer in dezelfde stand bevindt. Indien ook hier aan de voorwaarde is voldaan, dat deze korte lichtflitsen elkaar voldoende snel opvolgen, zien wij het voorwerp zonder andere optische hulpmiddelen stil staan.

Deze tweede methode veroorlooft waarnemingen door verscheidene personen tegelijkertijd en is ook niet vermoeiend, omdat men met het blote oog kan zien. Een nadeel is, dat men in vele gevallen de ruimte waarin het bewegende voorwerp zich bevindt, geheel of ten dele zal moeten verduistern. Dit laatste nadeel nu houdt verband met de meerdere of mindere sterkte van de lichtbron waarmee men het bewegende voorwerp belicht. Gelukt het een lichtbron met een zo grote lichtsterkte te construeren, dat de belichting van het bewegende voorwerp veel sterker is dan de normale belichting door de omgeving, dan zal de ruimte waarin het voorwerp zich bevindt weinig of zelfs in het geheel niet behoeven te worden verduisterd. Bovendien is het bij deze tweede methode mogelijk, ook aperiodische of eenmalige bewegingen op bepaalde wijze te onderzoeken. Stelt men nl. een fototoestel in de nabijheid van het te onderzoeken voorwerp op, dan is het op betrekkelijk eenvoudige wijze mogelijk, hiermede een fotografische opname van de bewegingstoestand van het object te maken, indien men er voor zorgt dat inderdaad de belichtingsduur zeer kort is en, zo nodig, de sluiters van de camera op het juiste moment wordt geopend. Dat bij de tweede methode de lichtflitsen slechts van uiterst korte duur mogen zijn, blijkt uit de volgende eenvoudige berekening:

Heeft men bijv. een vliegwiel van een verbrandingsmotor, dat 3000 omwentelingen per minuut maakt en een diameter heeft van 50 cm, dan heeft een punt aan de omtrek van dit wiel een lineaire snelheid van

$$v = \frac{\pi Dn}{60} = \frac{3,14 \times 0,5 \times 3000}{60} = 78,5 \text{ m/sec.}$$

Wil men bereiken dat het voorwerp schijnbaar stil staat en daarbij een scherp beeld toont, dan kan men bijv. gedurende de lichtflits een verplaatsing van 2 mm aan de omtrek van het wiel toestaan. Dit komt dus overeen met een duur van:

$$\frac{2}{78,5 \times 10^3} \text{ sec} = \frac{1}{39250} \text{ sec} = 25,5 \text{ microsec.}$$

Gezien het feit dat dit een normaal voorbeeld uit de praktijk is, moet de duur van elke lichtflits dus zo mogelijk nog korter zijn, ten einde ook in ongunstiger gevallen goede resultaten te kunnen bereiken. De frequentie van de lichtflitsen die in dit voorbeeld nodig is, bedraagt 3000 per minuut (overeenkomend met het aantal omwentelingen per minuut), d.w.z. 50 per seconde. Dit is in de hedendaagse techniek geenszins een hoge omwentelingsfrequentie. Er zijn vele machinedelen die een belangrijk hogere omwentelings- of bewegingsfrequentie hebben, als bijv. compressoren voor verbrandingsmotoren en de gasturbines van vliegtuigen met straalaandrijving; hierbij zijn omwentelingsgetallen van 10 000 tot 18 000 per minuut geenszins een uitzondering.

Uit het bovenstaande moge blijken dat, indien het gelukt een lichtbron te vervaardigen die voldoet aan de eisen van zeer korte flitsduur en voldoende hoge flitsfrequentie bij grote lichtsterkte, de tweede methode verreweg de voorkeur verdient boven de eerste.

Voor het waarnemen van snelle bewegingen kunnen ook speciaal voor dit doel vervaardigde lopende-filmcameras worden gebruikt, waarvan er verkrijgbaar zijn met snelheden van 10 000 beelden per sec en meer. Deze zijn echter meer geschikt voor het bestuderen van eenmalige verschijnselen, terwijl de stroboscoop het mogelijk maakt nagenoeg onbeperkt lang periodieke bewegingen te bestuderen, eventueel met verscheidene waarnemers tegelijk, en men daarbij niet behoeft te wachten op het ontwikkelen van een film.

De Philips stroboscoop GM 5500

In de bovenstaande inleiding is geformuleerd waarvoor stroboscopen kunnen dienen en welke eigenschappen een stroboscoop zou moeten hebben. Voornamelijk komt het er op neer, dat men een lichtbron nodig heeft waarmee men periodieke lichtflitsen van buitengewone lichtsterkte en uiterst korte duur moet kunnen geven. Philips heeft voor dit doel een speciale lamp kunnen ontwerpen en met deze lamp een apparaat geconstrueerd dat zich kenmerkt door:

1. Een zo sterke belichting van het te onderzoeken voorwerp, dat het bij normaal daglicht of kunstlicht kan worden waargenomen.
2. Uiterst korte flitsduur, zodat men geen vertekening of wazigheid van het beeld verkrijgt.
3. Aanpassing van de frequentie van de flitsen aan alle in de praktijk voorkomende periodieke bewegingen.
4. De mogelijkheid dat verscheidene personen met het blote oog het verkregen beeld gelijktijdig kunnen waarnemen.
5. Uiterst eenvoudige bediening en praktische opstelling. Vergissingen in de bediening van het apparaat zijn vrijwel uitgesloten, zodat het door leken kan worden bediend.

Zoals het blokschema van dit apparaat, de stroboscoop GM 5500, fig. 2, laat zien, bestaat het uit 5 hoofdeenheden :



Fig. 1. De complete stroboscoop GM 5500.

1. de lichtwerper met flitslamp voor de belichting van het waar te nemen voorwerp;
2. de generator voor het produceren van de periodieke stroomstoten door de flitslampen;
3. de stuurgenerator en frequentieregelaar die de relaisbuis van de stroomstootgenerator stuurt;
4. de frequentiemeter, waarmee de frequentie van de lichtflitsen wordt gecontroleerd;
5. het voedingsgedeelte.

Achtereenvolgens zullen thans deze 5 hoofdbestanddelen worden besproken.

De lichtwerper

De lichtwerper, die normaal boven op het apparaat is geplaatst (zie fig. 1) en die in fig. 3 afzonderlijk is afgebeeld, bevat een lamp, welke hierin op eenvoudige wijze wordt bevestigd. Deze speciale flitslamp (zie fig. 4) bestaat uit een geheel gesloten glazen ballon, die inwendig van een spiegelreflector is voorzien.

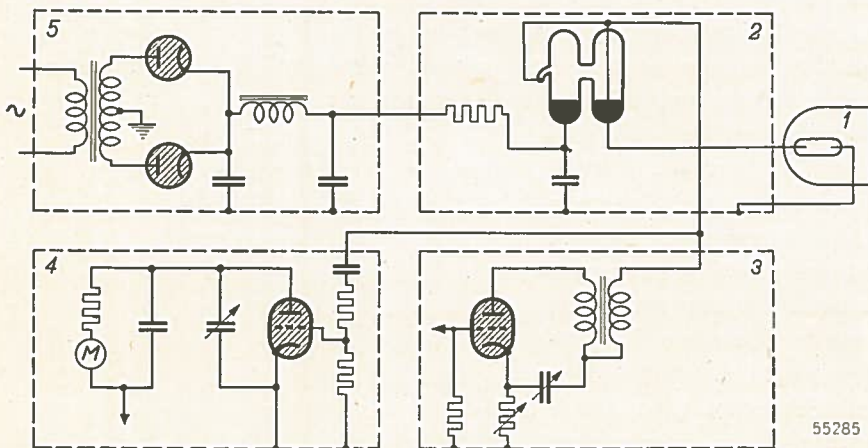


Fig. 2. Blokschema van de Philips stroboscoop GM 5500.



Fig. 3. De lichtwerper.

In het brandpunt is een uit kwarts bestaand buisje gemonteerd, dat gevuld is met argon van hoge druk; dit buisje vormt het eigenlijke lichtgevend element. De glazen ballon is gevuld met stikstof, omdat anders bij de hoge temperatuur van het kwartsbuisje het kwarts zou worden aangetast door de zuurstof in de lucht. Het licht van deze edelgaslamp is blauwachtig wit en heeft een continu spectrum met een hoge fotografische actiniteit. Het vertoont dus enige gelijkenis met dat van een met water gekoelde kwiklamp, die eveneens als flitslamp zou kunnen worden gebruikt. Uiteraard

is echter het werken met een lamp zonder waterkoeling veel eenvoudiger en bovendien bezit deze lichtbron voordelen ten opzichte van de kwiklamp: zij is te allen tijde bedrijfsklaar, terwijl een kwiklamp, ter verkrijging van de nodige dampspanning, moet worden voorverwarmd. Deze kwartslamp heeft een kortere flitstijd dan de kwiklamp; inderdaad is de lichtuitstraling van deze laatste niet uitsluitend een electrisch verschijnsel, zodat nalichten optreedt ten gevolge van de warmtetraagheid van de kwikdamp.

De flitstijd van de kwartslamp bedraagt ongeveer $10 \cdot 10^{-6}$ sec; in deze tijd wordt bij maximum ingestelde intensiteit een hoeveelheid licht van 200 lumensec uitgestraald en een energie van 2 wattsec verbruikt, zodat de specifieke lichtstroom 100 lumen per watt bedraagt. Dit is ongeveer hetzelfde rendement als onder gunstige omstandigheden met een door water gekoelde kwiklamp van zeer hoge druk kan worden verkregen. De lichtstroom tijdens de flits is ongeveer 2×10^6 Dlm bij een stroomsterkte van 2000 A en een vermogen van 200 kW. Behalve deze zeer hoge piekbelastingen, ontvangt de lamp nog een geringe continue belasting, ten einde doorslag te vergemakkelijken. Het gemiddeld opgenomen vermogen van de lamp is, bijv. bij 25 flitsen per sec, ongeveer 75 watt. De frequentie van de lichtflitsen kan tot 250 per sec worden opgevoerd. Dit komt overeen met 15 000 omwentelingen of periodieke bewegingen per min. De mogelijkheid bestaat zelfs, nog sneller bewegende voorwerpen waar te nemen door één flits op elke twee bewegingsperioden te produceren.

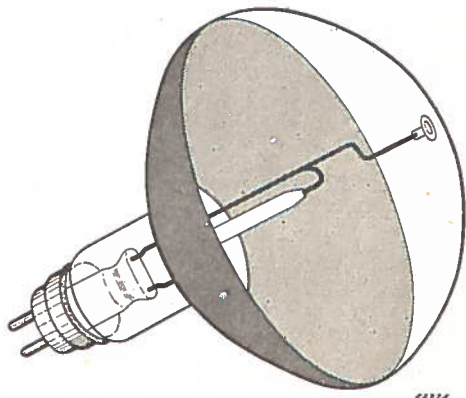


Fig. 4. Speciale stroboscoop-(flits-) lamp type 57900/P06.

Wij willen nog even nagaan hoe groot de beweging is, die bij een normaal machinedeel dat 15 000 omwentelingen per minuut maakt, (dus overeenkomend met de max. flitsfrequentie) gedurende een lichtflits wordt gemaakt. Hiertoe denken wij bijv. aan een compressor-schoepenrad, dat een diameter heeft van 15 cm. Bij het genoemde toerental wordt een omtreksnelheid gevonden van :

$$v = \frac{\pi D n}{60} = \frac{\pi \cdot 0,15 \cdot 15000}{60} = 118 \text{ m/sec.}$$

Gedurende de flitstijd van 10 microseconden van de lamp, legt een punt aan de omtrek van het schoepenrad dus een weg af van:

$$10 \cdot 10^{-6} \cdot 118 \text{ m} = 0,00118 \text{ m} = 1,18 \text{ mm,}$$

hetgeen dus wil zeggen, dat de grootste onscherpte optreedt door een verplaatsing van één millimeter. Men ziet gemakkelijk in, dat deze onscherpte klein genoeg is om een duidelijk en helder beeld van het te bestuderen voorwerp, zelfs bij deze omtreksnelheid, mogelijk te maken.

De vereiste lichtstroom

De geproduceerde lichtstroom moet zo groot zijn, dat hierdoor het voorwerp dat moet worden waargenomen, aanmerkelijk sterker wordt verlicht dan door het normale kunstlicht of zelfs door het daglicht. Rekent men, dat de verlichtingssterkte in een door daglicht verlichte werkruimte 100 tot 500 lux bedraagt, dan heeft men een verlichting van minstens 1000—5000 lux door de stroboscoop nodig, om verduistering van de ruimte onnodig te maken. Valt het zonlicht direct op een machine, dan is uiteraard de situatie nog veel ongunstiger. De daardoor veroorzaakte verlichting bedraagt dan al gauw 10 000 lux, zelfs als rekening wordt gehouden met de absorptie door de ruiten en met andere verliesoorzaken. Een stroboscoop moet ook onder deze omstandigheden goede resultaten geven. De lichtstroom uitgezonden door de Philips flitslamp 57900 P/06 bedraagt ca. 20 000 C00 lumen. Dit betekent, dat op een afstand van 2 m de verlichtingssterkte in de gerichte stralenbundel ca. 10 000 000 lux bedraagt. De verlichting die met deze lamp wordt verkregen is dus vele malen sterker dan die veroorzaakt door opvallend zonlicht.

Zelfs is de lamp voldoende sterk om fotografische opnamen te maken met normaal negatiefmateriaal en een eenvoudige camera met sterk gediafragmeerde lens (bijv. F : 11 tot F : 22).

In verband met de beschikbare lichtsterkte wordt nog opgemerkt dat, bij grotere lichtintensiteit, het menselijk oog progressief minder reageert, m.a.w. dat bijv. een verschil in verlichtingssterkte van 200 tot 300 lux dezelfde indruk op het oog maakt als een verschil van 2000 tot 3000 lux. Het gaat dus niet om de absolute vergroting van de verlichtingssterkte, doch om de verhouding.

De beschreven flitslamp is in twee uitvoeringen verkrijgbaar, nl. model 57900 P/06 met heldere ballon, welke een gerichte stralenbundel geeft, en

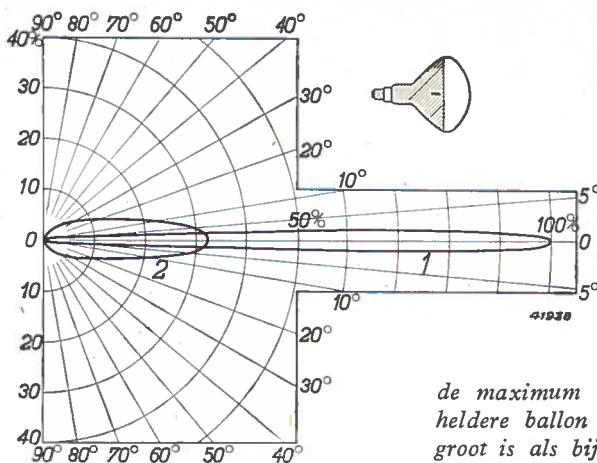


Fig. 5. Verdeling van de verlichtingssterkte van de flitslamp: 1) met heldere, 2) met gematteerde ballon. De achterwand van de ballon is in beide gevallen met een spiegellende laag bedekt. De schaal van kromme 2 is tien maal zo groot als die van kromme 1, zodat de maximum verlichtingssterkte bij de heldere ballon ongeveer dertig maal zo groot is als bij de gematteerde ballon.

model 57900 P/27, welke een gematteerde ballon heeft en daardoor binnen de stralingshoek diffuus licht verspreidt.

De krommen van fig. 5 geven een indruk van de verlichtingssterkte op verschillende afstanden, die wordt bereikt in de gerichte lichtbundel van deze lampen. De diameter van de lichtbundel van de lamp met heldere ballon is daarbij nog zodanig, dat door de gerichte stralenbundel nog vrij grote voorwerpen kunnen worden verlicht.

Is echter een nog groter verlicht oppervlak gewenst, dan gebruike men de lamp met gematteerde ballon.

De stroomstootgenerator

In dit gedeelte van het apparaat wordt de elektrische stroom voor de voeding van de flitslamp, al of niet periodiek, opgewekt. De stroomstoot van 2000 A met een duur van 3 tot 10×10^{-6} sec, welke nodig is voor de flitslamp,

wordt verkregen door een condensator die eerst is opgeladen, plotseling door de flitslamp te ontladen. Wegens de uiterst korte duur van de ontlading kan worden volstaan met contact- en leidingmateriaal van redelijke afmetingen, aangezien de gemiddelde stroom, gerekend over een bepaald tijdsverloop, betrekkelijk gering is. Niettemin zijn enkele speciale maatregelen getroffen. De schakelinrichting die deze enorme stroom op het juiste ogenblik door de lamp moet sturen, moet in staat zijn dit vermogen te verwerken.

De schakeling van de stroomstootgenerator voor de flitslamp is weergegeven in fig. 6. Een condensator, C_1 , wordt via een laadweerstand, R_1 , geleidelijk opgeladen tot 700 V, om op bepaalde tijdstippen, via de relaisbuis en de flitslamp A, weer te worden ontladen, waardoor de gewenste stroomstoten worden verkregen.

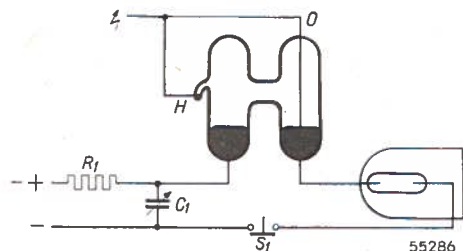
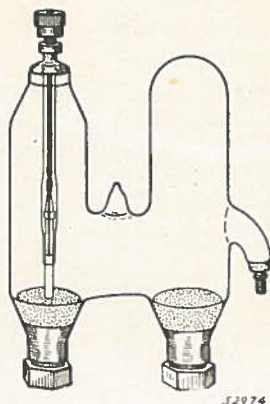


Fig. 6. Schema van de stroomstootgenerator.

Fig. 7. Relaisbuis voor het voeden van de flitslamp. De kwikelectroden kunnen kortstondig stroomstoten van 2000 ampère verdragen.



Alhoewel de relaisbuis een stroomstoot van enige duizenden ampère moet kunnen schakelen, bedraagt de gemiddelde stroomsterkte minder dan $\frac{1}{2}$ A (men bedenke hierbij dat, zelfs bij de hoogste flitsfrequentie van 250 per sec, de lamp slechts werkelijk licht geeft gedurende $250 \times 3 \mu$ sec, dat is dus nog minder dan 1 milliseconde).

De afmetingen van deze relaisbuis kunnen in verband met deze lage gemiddelde belasting betrekkelijk klein zijn, zodat de elektroden bij elke doorslag sterk worden belast.

Aangezien echter beide elektroden uit kwik bestaan, heeft deze grote belasting geen schadelijke gevolgen. Er treedt tijdens de stroomstoot een sterke verdamping van het kwik op. De kwikdamp condenseert in de glazen koepels die boven de elektroden zijn aangebracht, en het gecondenseerde kwik valt in druppels op de elektroden terug (zie fig. 7).

Voor het ontsteken van de relaisbuis wordt een stootspanning van ongeveer 8 kilovolt aangelegd tussen de kathode en de ontsteelelektrode O met de daarmee verbonden hulpanode H, die de ontlading inleidt. De condensator wordt dan via de relaisbuis en de flitslamp ontladen, waarna de relaisbuis dooft.

Voor het geval dat de relaisbuis, ten gevolge van de via de laadweerstand R_1 toegevoerde stroom, zou blijven branden, kan het circuit een ogenblik onderbroken worden met behulp van schakelaar S_1 (fig. 6).

De ontlaadtijd van de condensator is uiterst kort. Deze tijd wordt echter nog beïnvloed door bijkomstigheden, als bedradingszelfinductie enz. Het is dan ook noodzakelijk, ten einde een zo kort mogelijke flitstijd te bereiken, de leidingen tussen condensator, relaisbuis en lamp zo kort mogelijk te houden. Hierdoor wordt ook verklaard, dat de flitstijd, die normaal ca. 10μ sec is, bij gebruik van een verlengkabel tussen apparaat en lichtwerper ca. 30μ sec bedraagt.

De condensator C_1 bestaat in werkelijkheid uit een batterij van 7 condensatoren van verschillende capaciteit. Elk daarvan kan worden ingeschakeld met behulp van een van de schakelaars op het bedieningspaneel. Hierdoor is het mogelijk, de afgegeven ontladestroom die door de flitslamp vloeit, te regelen, en dus ook de lichtintensiteit te variëren. Hierbij varieert ook de flitsduur, nl. van 3 tot 10 micro-seconden.

Stuurgenerator en frequentieregelaar

Een vereenvoudigd schema van de stuurgenerator met frequentieregeling is weergegeven in fig. 8. Deze generator wekt met behulp van een gastriode relaxatietrillingen op. Een condensator (C) wordt opgeladen over

een weerstand (R); daarbij stijgt de anodespanning van de relaisbuis totdat doorslag plaats heeft. De condensator ontladst zich over de primaire wikkeling van de transformator en de relaisbuis. Hierdoor wordt in de secundaire wikkeling van de transformator een spanningsstoot van ca. 8 kV geïnduceerd, die wordt gebruikt voor het sturen van de relaisbuis van de stroomstootgenerator voor de flitslamp. Zodra de condensator voldoende ontladen is, dooft de relaisbuis, waarna de lading opnieuw begint.

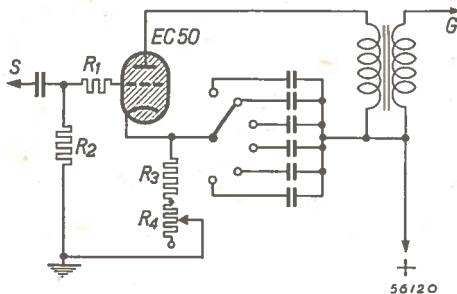


Fig. 8. Vereenvoudigd schema van de stuurgenerator met frequentieregeling. S = synchronisatiepunt, G = naar rooster van de stroomstootgenerator.

De frequentie van de spanningsimpulsen wordt bepaald door de waarden van R en C , en kan tussen 0,5 en 250 p/s worden geregeld. Door op het rooster van de buis een wisselspanning aan te leggen, waarvan de frequentie afhangt van de periodieke beweging van het waar te nemen object, kan de frequentie van deze stuurgenerator worden gesynchroniseerd met de beweging van het voorwerp.

Met behulp van een drukknop die op de synchronisatieklemmen is aangesloten, kan de roosterspanning van de gastriode zodanig worden gewijzigd, dat doorslag van de buis plaats heeft en dus één flits wordt verkregen. Onmiddellijk na de ontlading is de oorspronkelijke spannings-toestand hersteld en kan een nieuwe flits worden geproduceerd, aangezien de oplaadtijd van de condensator uiterst gering is.

Tevens kan men de gastriode sturen met een uitwendige contactinrichting, die bijv. zodanig op het te onderzoeken machine-onderdeel wordt gemonteerd dat bij iedere omwenteling of periodieke beweging, het contact wordt gesloten en een lichtflits wordt geproduceerd.

Het voorwerp wordt dan steeds nauwkeurig in dezelfde stand belicht, waardoor men een ogenschijnlijk stilstaand beeld verkrijgt.

Het is niet altijd mogelijk of wenselijk een dergelijke contactinrichting aan te brengen. Maakt men gebruik van de reeds beschreven stuurgenerator met frequentieregeling, dan werkt men „ongesynchroniseerd”. De mogelijkheid bestaat dan, dat het stroboscopisch verkregen beeld niet stil staat, maar langzame bewegingen in of tegen de bewegingsrichting van het voorwerp vertoont, hetgeen wordt veroorzaakt door langzame fluctuaties in de periodieke beweging van het object. Een dergelijk onderzoek zonder synchronisatie komt dikwijls in aanmerking indien men de constantheid van de beweging of van het toerental wenst te controleren. In een dergelijk geval zou synchronisatie juist verkeerd zijn, omdat dan ook bij onregelmatige bewegingen een stilstaand beeld wordt verkregen.

Ten einde het aantal flitsen dat per seconde door de stroboscoop wordt geleverd, nauwkeurig te kunnen controleren, is het apparaat voorzien van een frequentiemeter. Deze meet de frequentie indirect, door de gemiddelde laadstroom aan te wijzen van de condensator, die bij elke flits door een gastriode wordt ontladen, om daarna weer tot een bepaalde spanning te worden geladen. De gastriode van de frequentiemeter wordt gestuurd door spanningsimpulsen, die worden verkregen door dezelfde stuurspanning van 8 kV waarmee ook de relaisbuis van de stroomstootgenerator wordt gestuurd. Behalve deze impuls spanning, staat op het rooster van de gastriode een zo grote negatieve voorspanning, dat bij afwezigheid van een impuls geen doorslag kan optreden. Daar de condensator bij elke doorslag vrijwel volledig wordt ontladen, is de gemiddelde sterkte van de stroom door de gastriode een maat voor de lading van de condensator, vermenigvuldigd met de frequentie van de spanningsimpulsen. Deze stroom wordt aangewezen door een draaispoel-instrument, dat rechtstreeks in aantal flitsen per seconde is geijkt. Fig. 9 toont het prinsipeschema.

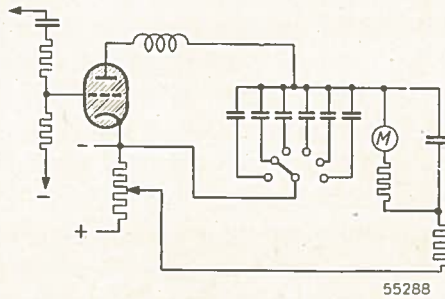


Fig. 9. Prinsipeschema van de frequentiemeter.

Het voedingsapparaat

Het voedingsgedeelte dat alle onderdelen van het apparaat van de nodige spanningen en stromen moet voorzien, is ruim gedimensionneerd, en het apparaat is geschikt voor aansluiting op wisselspanningnetten van verschillende spanning. In de primaire leiding is een smeltveiligheid opgenomen. Bovendien bevindt zich tussen net en voedingstransformatoren een filter, dat kan worden in- of uitgeschakeld en dat dient om de weliswaar geringe elektrische storingen die het apparaat opwekt, niet tot het lichtnet te laten doordringen. De normale toestand is natuurlijk, dat het apparaat wordt geaard en het ontstoringsfilter ingeschakeld. Er kunnen zich echter omstandigheden voordoen, dat aarding bezwaren oplevert of te tijdrovend is; in dat geval moet het ontstoringsfilter worden uitgeschakeld, deels uit veiligheidsoverwegingen, deels om de installatie (die bij ingeschakeld filter immers verbonden is met de kast) voor uitwendige storingsvelden te vrijwaren.

Door middel van stabiliseerbuisen zijn de invloeden van netspanningsvariatie aanzienlijk beperkt.

Bij het voedingsgedeelte dient ook nog te worden genoemd de meter die de grootte aangeeft van de gemiddelde gelijkstroom die door de flitslamp wordt opgenomen. Op de schaal van de meter is een rode streep aangebracht.

Men dient er nl. voor te zorgen dat deze gelijkstroom een zekere maximum-waarde niet overschrijdt. Werkt men bij niet te hoge flitsfrequentie, dan kan men zonder bezwaar de maximum lichtintensiteit gebruiken. Bij de hoogste flitsfrequentie echter is het gewenst de lichtsterkte te reduceren, zodat de wijzer vóór het merkteken op de schaal blijft en van het voedings-apparaat niet een te hoge stroom wordt afgenomen. Een en ander is aldus ingericht om het voedingsgedeelte geen onnodig grote afmetingen te geven.

Enige bijzonderheden over de uitvoering

Afneembare lichtwerper

Normaal bevindt zich de lichtwerper boven op de schakelkast; met stekerpennen worden de nodige verbindingen tot stand gebracht. Het kan echter voorkomen, dat men objecten wil belichten die men met het gehele apparaat moeilijk kan benaderen; de lichtwerper is daarom afneembaar gemaakt en kan met een speciale, ca. 2 m lange kabel, die aan weerszijden van een steker, resp. contrasteker is voorzien, afzonderlijk worden opgesteld. Onder het hoofd „Stroomstootgenerator” is er reeds op gewezen dat het gebruik van deze kabel een vergroting van de flitsduur van 10 tot 30 μ sec ten gevolge heeft.

De lichtwerper is, ook indien hij op het apparaat is bevestigd, in alle richtingen draaibaar. Ook de schakelkast zelf kan gemakkelijk worden verplaatst, doordat 2 van de 4 wielhouders draaibaar zijn. Bovendien is aan weerszijden een beugel aangebracht, waardoor het geheel gemakkelijk kan worden gehanteerd. Deze beugels zijn zo geconstrueerd, dat het apparaat bij het transport zo nodig eraan kan worden opgehangen.

In gevallen waarin men twee lichtwerpers wil gebruiken, bijv. om machinedelen van twee kanten te belichten of om nog meer licht te hebben dan reeds met een lichtwerper ter beschikking staat, kunnen door middel van een aanpassingskastje GM 5504 twee lichtwerpers worden gevoed.

Bedieningsorganen

De verschillende bedieningsknoppen zijn op de bovenzijde van het apparaat gegroepeerd (zie fig. 10). Dit waarborgt een goede overzichtelijkheid en een eenvoudige bediening.

De inrichting van de bediening maakt vergissingen vrijwel onmogelijk, zodat men het apparaat zo nodig door leken kan laten bedienen.

Een knop voor de fijnregeling van de flitsfrequentie bevindt zich zowel op het schakelpaneel als op de lichtwerper. De regelaar op de lichtwerper gebruikt men bij separate opstelling van de lamp.

In het apparaat is een elektrische ventilator aangebracht, voornamelijk ter koeling van de grote relaisbuis. Deze ventilator komt automatisch in werking wanneer de netschakelaar wordt bediend. Twee signaallampjes dienen om te waarschuwen dat de netspanning is ingeschakeld, en om aan te geven dat de flitslamp voor bedrijf gereed is.

Afwerking

Het apparaat is zwart gelakt. De niet gelakte delen zijn verchromd. Bij de knoppen bevindt zich een duidelijke tekstplaat. De stroboscoop voldoet aan de veiligheidsvoorschriften. Het geproduceerde licht is onschadelijk voor de ogen, indien men niet in de flitslamp kijkt.

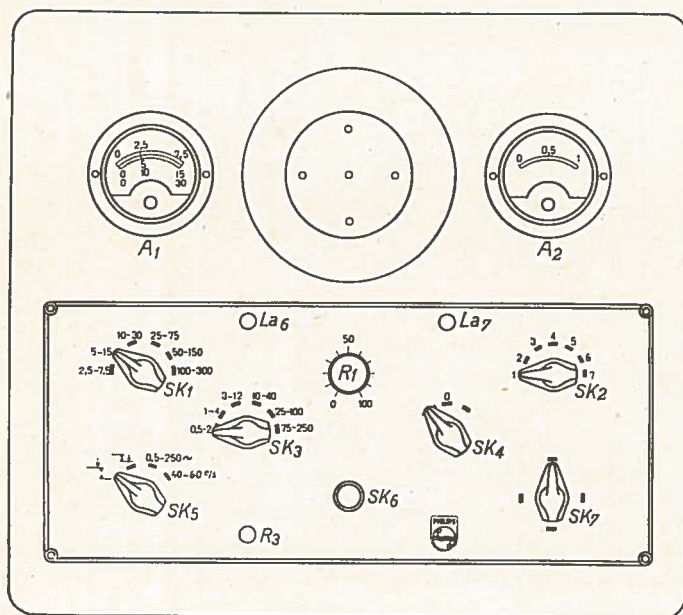


Fig. 10. Het schakelpaneel van de stroboscoop.

Samenvatting van technische gegevens

Verlichtingssterkte - De maximum lichtstroom bedraagt ongeveer 20 000 000 lumen. Bij gebruik van de lamp 57900 P/06 bedraagt de verlichtingssterkte op een afstand van 2 m in de as ongeveer 10 000 000 lux; bij gebruik van de lamp 57900 P/27 met gematteerde ballon: 1 200 000 lux.

Straalbundel - De doorsnede van de straalbundel van de heldere lamp bedraagt op een afstand van 1 m van de lichtbron 1450 cm². Indien een groter oppervlak moet worden verlicht, wordt de lamp met gematteerde ballon aanbevolen.

Flitsduur - Deze bedraagt ongeveer 3—10 μ sec, afhankelijk van de ingestelde lichtintensiteit. Bij gebruik van de verbindingskabel tussen lichtwerper en apparaat is de flitsduur 2 à 3 maal groter.

Frequentieregeling - Het apparaat kan worden ingesteld voor eenmalige en voor periodieke flitsen. De frequentie kan worden geregeld in de volgende trappen:

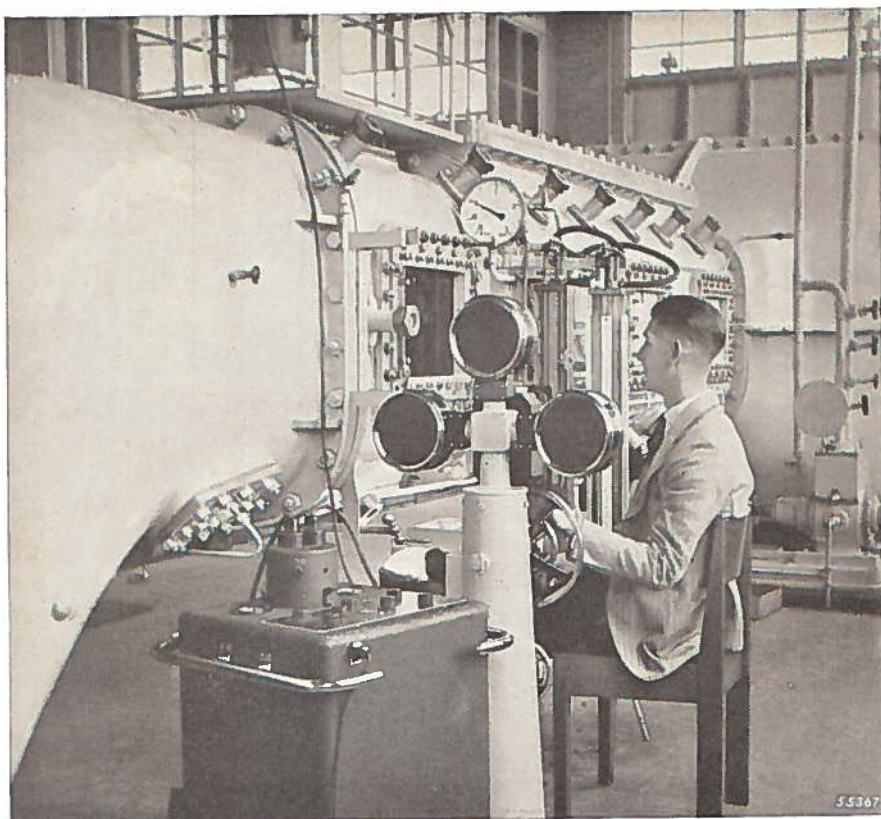


Fig. 11. Het waarnemen van het cavitatieverschijnsel bij schepsschroefmodellen met behulp van een cavitatietank en een Philips stroboscoop, in het scheepsbouwkundig proefstation te Wageningen.

0,5— 2 flitsen/sec	3 —12 flitsen/sec	25—100 flitsen/sec
1 — 4 flitsen/sec	10—40 flitsen/sec	75—250 flitsen/sec

Elk van deze trappen kan bovendien door een fijnregelaar continu worden geregeld, naar keuze op het apparaat of op de lichtwerper.

Frequentie-aflezing - De ingebouwde frequentiemeter maakt het mogelijk, het aantal flitsen per seconde direct af te lezen. De meter kan worden geijkt door de flitsfrequentie te synchroniseren met de netfrequentie. De nauwkeurigheid van deze frequentiemeting is ongeveer 5%.

Lichtintensiteit-regeling - De lichtintensiteit kan door middel van een schakelaar met 7 standen worden geregeld. Een draaispoelinstrument geeft de lichtstroom aan.

Synchronisatie - Aangezien het apparaat nagenoeg zonder traagheid reageert op een synchronisatie-impuls, kan worden gesynchroniseerd door middel van een contact of met behulp van een optisch of acoustisch hulpparaat (fotocel, microfoon, e.d.). Voor dit doel zijn twee synchronisatieklemmen aangebracht.

Voeding - Het apparaat wordt uit het lichtnet gevoed en kan worden omgeschakeld voor 110, 125, 145, 200, 220 of 245 V, bij 40—60 per/sec. Het opgenomen vermogen bedraagt ongeveer 0,75 kVA. Een smeltveiligheid is in de primaire leiding opgenomen. Een filter, dat desgewenst kan worden ingeschakeld, dient om storing op het net te voorkomen.

Buizen	Hoge-druk edelgaslamp	57900 P/06 of 57900 P/27
	Speciale relaisbuis	PL 5
	Triode met gasvulling	EC 50 (2)
	Gelijkrichtbuis met gasvulling	DCG 4/1000 (2)
	Stabilisatiebuis met gasvulling	100 E 1 (4)
	Stabilisatiebuis	U1
	Signaallampjes	7185 en 12875

Korte aanduiding van enige toepassingsmogelijkheden

Hieronder worden enige van de zeer vele toepassingsmogelijkheden van dergelijke apparaten in industrie en laboratorium vermeld. In het algemeen zal men een stroboscoop gebruiken waar het gedrag van zeer snel bewegende machinedelen of andere objecten, alsmede dat van vloeistoffen of gasen onder bedrijfsomstandigheden, in detail moeten worden onderzocht. Meer in het bijzonder zal een dergelijk onderzoek gewenst zijn, indien storingen of andere afwijkingen aan machines en installaties, materiaalbeschadiging, stagnatie van de productie of gevaar voor de omgeving veroorzaken. In dit verband kunnen worden genoemd onderzoeken aan vliegwielen, drijfwerken, motoren, pompen, centrifuges, ventilatoren, drukpersen, verpakkingsmachines, slijpmachines, propellers, scheepsschroeven enz. Interessant is de toepassing van de stroboscoop voor de scheepsbouw, waar het van belang is de juiste afmetingen en vormgeving van de schroeven te kunnen bepalen. Deze moeten worden aangepast aan de snelheid en de statische druk van het omringende water, ten einde cavitatie te voorkomen. Als cavitatie¹⁾ wordt in het algemeen aangeduid een wijziging van de stroming van een vloeistof, gekenmerkt door het feit, dat de druk op bepaalde plaatsen daalt tot de dampspanning van de vloeistof, waardoor op deze plaatsen vloeistof in damp overgaat. De homogeniteit van de vloeistof wordt hiermede verstoord. Bij voldoende uitbreiding van het cavitatiegebied veranderen de profiel-

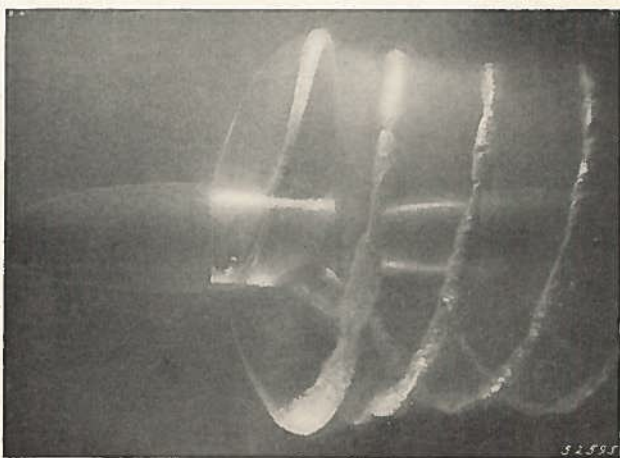


Fig. 12. *Scheepsschroef in cavitatietank.*

¹⁾ Zie W. P. A. van Lammeren: De stand van het cavitatievraagstuk bij scheepsschroeven, in T. N. O.-Nieuws 3, Nr. 2, Februari 1948.



Fig. 13. *Contrôle van een brandstof-inspuiting.*

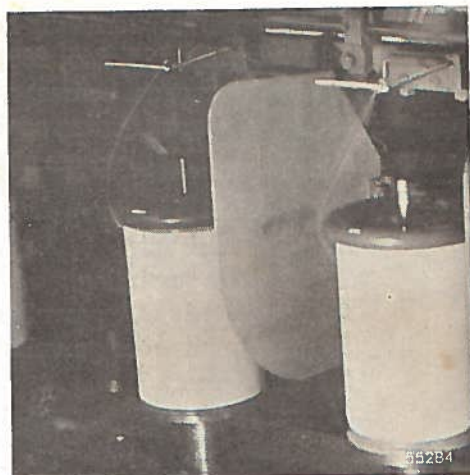


Fig. 14. *Het onderzoeken van de beweging van de draad, bij het wikkelen op een twijn-machine, in de kunstzijde-industrie.*

eigenschappen van schroefbladen. Deze verandering uit zich, wat de schroef betreft, in een verhoging van het aantal omwentelingen als gevolg van een reductie van stuwkracht en askoppel. Het rendement van de schroef daalt daarbij aanmerkelijk, zodat ten slotte, voor het bereiken van een bepaalde snelheid, een veel groter vermogen nodig kan zijn.

Cavitatie gaat in vele gevallen gepaard met intering van de schroefbladen (erosie), terwijl zij ook trillingen en breuk van de schroefbladen kan veroorzaken. Bij het construeren van scheepsschroeven is het dus van het allergrootste belang, het ontstaan van cavitatie, zelfs in de meest ongunstige bedrijfstoestand van het schip, zo mogelijk geheel uit te sluiten, maar in ieder geval tot het uiterste te beperken. Hiertoe dient de constructeur de grenzen te kennen waarboven cavitatie, c.q. stuwkrachtbeïnvloeding, is te verwachten. Een prachtig hulpmiddel bij het bepalen van deze grenzen vormt tegenwoordig de cavitatietunnel, waarin proeven met verkleinde schroefmodellen worden uitgevoerd.

In de cavitatietunnel (fig. 11) wordt de cavitatie zo natuurgetrouw mogelijk gereproduceerd. Door observatievensters van dik glas kan men, met behulp van de stroboscoop, optredende dampbellen en wervelingen aan modelschroeven waarnemen en de invloed van watersnelheid en -druk bij ieder gewenst toerental nauwkeurig nagaan (zie fig. 12). Een ander voorbeeld is het waarnemen van het met hoge druk inspuiten van brandstof bij Diesel motoren. Alle details van de verstuiving, en het optreden van onregelmatigheden, als ongewenste naaldnaheffingen, trillingen, afwijkingen van de inspuitskanalen enz., kunnen met behulp van de stroboscoop duidelijk worden waargenomen (zie fig. 13). Dit is natuurlijk slechts een greep uit het enorme toepassingsgebied van de stroboscopie, waarbij wij ten slotte nog vermelden het grote nut van de stroboscoop in de textielindustrie, voor het controleren van diverse twijn- en weefmachines (zie fig. 14).

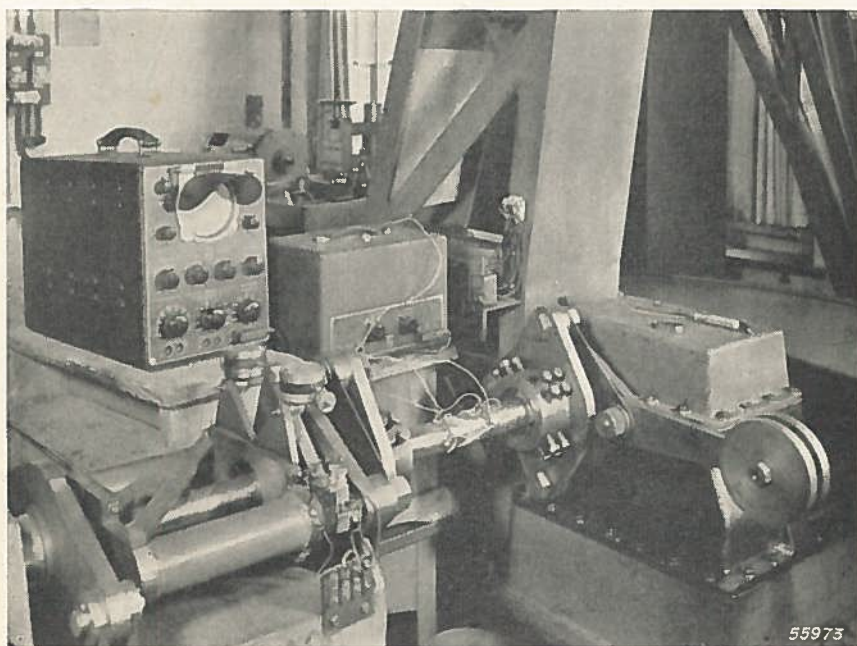
ELECTRONISCH METEN

DE TOEPASSING DER MODERNE
ELECTRONISCHE MEETAPPARATEN
IN LABORATORIA EN BEDRIJVEN



AARGANG 2

NUMMER 7



Een opstelling voor het meten van torsiëtrillingen in een as, met behulp van rekstrookjes. Foto opgenomen in het laboratorium van de Werkgroep Spanningsonderzoek, T.N.O. te Delft.

In dit nummer brengen wij een inleidend artikel, handelend over de zogenaamde rekstrookjes. Deze dienen voor het meten van lengteveranderingen in materialen, die zijn veroorzaakt door aangebrachte krachten. Deze elektrische meetmethode heeft in vele landen grote opgang gemaakt en biedt enorme voordelen t.o.v. de tot dusver gebruikelijke mechanische en optische meetmethoden. Na in dit nummer een beschrijving van de samenstelling van de rekstrookjes en een summier aanduiding van hun gebruiksmogelijkheden te hebben gegeven, stellen wij ons voor in volgende artikelen in te gaan op de toepassingen zelf.

REKSTROOKJES VOOR HET METEN VAN LENGTEVERANDERINGEN

door A. L. BIERMASZ, Eindhoven

Inleiding

Brengt men een materiaal onder mechanische spanning, dan zal, ten gevolge van zijn elektrische eigenschappen, o.a. een lengteverandering in de richting van de werkende kracht optreden. Deze lengteverandering is een maat voor de kracht. Nu treden in alle lichamen, onderdelen van constructies enz., mechanische spanningen op, en men heeft er meestal groot belang bij deze te kennen, om te weten of zich over- of onderbelasting voordoet. Als voorbeeld is te noemen een brug welke, behalve het eigen gewicht, ook het gewicht van de erover rijdende voertuigen moet kunnen dragen. Ten gevolge van de belasting treden overal in het materiaal spanningen op; door deze op verscheidene plaatsen te bepalen, kan men weten of de brug over- of ondergedimensioneerd is.

Door de lengteverandering te bepalen, kan men dus, zolang de elasticiteitsgrens van het materiaal niet wordt overschreden, een inzicht krijgen in de plaatselijk optredende spanningen, mits de elasticiteitseigenschappen van het gebruikte materiaal bekend zijn. Voor dit doel worden dan ook sedert lange tijd rekmeters gebruikt. Deze rekmeters hebben twee metalen punten, die in het te onderzoeken materiaal worden gedrukt; de afstandsverandering die is ontstaan als gevolg van mechanische rek, wordt, na vergroting door middel van kleine hefboomen, weergegeven op een wijzerplaat. Ook wordt dikwijls gebruik gemaakt van een optische vergrotingsmethode.

Het is duidelijk dat deze rekmeters, wegens hun noodzakelijk grote afmetingen en gewicht, in vele gevallen onpractisch zijn. Ook hebben zij het bezwaar dat, indien men op vele punten gelijktijdig of kort na elkaar lengteveranderingen wil constateren, men evenzovele rekmeters als meetpunten nodig heeft, diensgevolge de metingen zeer kostbaar zullen zijn en het aflezen van de aanwijzingen op de diverse schalen zeer veel tijd en mensen vergt.

Dikwijls ook zal men gaarne dynamisch willen meten, d.w.z. de lengteveranderingen als functie van de tijd opnemen, bijv. als een trein over een brug rolt. In de vliegtuigbouw komt het regelmatig voor, dat men aan vliegtuigmodellen op vele honderden punten tegelijk de optredende lengteveranderingen in de vleugels, de romp en de staartvlakken wenst te meten. Bij het beproeven van vliegtuigen namelijk, bootst men de belasting van de draagvlakken in de lucht na en meet de rekveranderingen in het materiaal. Voor al zulke onderzoeken, waarbij men de lengteveranderingen, bijv. ten gevolge van massakrachten van snel bewegende, lichte machinedelen wil meten, of als men metingen op moeilijk toegankelijke plaatsen of onder water wil verrichten, zijn mechanische rekmeters totaal onbruikbaar.

Men heeft daarom gezocht naar andere middelen om metingen van de lengteverandering te kunnen verrichten, en daartoe riep men de electro-

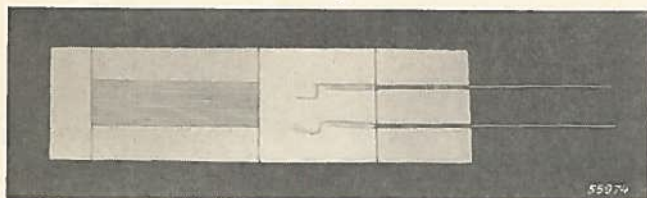


Fig. 1. Het uiterlijk van een rekstrookje voor het meten van lengteveranderingen in materialen (ware grootte).

techniek te hulp. Een buitengewoon geslaagde oplossing van vele meettechnische vraagstukken hebben de z.g. rekstrookjes gebracht (in het Engels „strain gauges”); hun gebruik heeft dan ook reeds een enorme vlucht genomen. Deze rekstrookjes zijn kleine reepjes papier, waarop weerstandsdraad heen en weer is gewikkeld (fig. 1 en 2); ze worden op het te onderzoeken voorwerp geplakt. Een lengteverandering in de richting van de lengteas van een strookje veroorzaakt een lengteverandering van de weerstandsdraad en dientengevolge een verandering van elektrische weerstand. Is het verband tussen de lengteverandering van het rekstrookje en de verandering van de weerstand bekend, dan kan, door meten van de verandering van de elektrische weerstand van het rekstrookje, de lengteverandering van het te onderzoeken materiaal worden bepaald. Kent men bovendien de elastische eigenschappen van het materiaal, dan kan deze gevonden weerstandsverandering dienst doen om de spanningstoestand in het materiaal te vinden.

Daar de rekstrookjes uiterst licht zijn en op de meest ontoegankelijke plaatsen kunnen worden aangebracht, en zij bovendien, bedekt met waterdichte was, in zeer vochtige omgeving kunnen worden gebruikt, betekenen ze een grote vooruitgang in het onderzoek van de mechanische spanningen in alle mogelijke constructies. Een verder groot voordeel van de elektrische meetmethode met rekstrookjes is, dat de waarnemingsplaats betrekkelijk ver verwijderd kan zijn van het meetpunt, en dat de resultaten van een groot aantal meetpunten op een centraal waarnemingspunt kunnen worden samengebracht en vergeleken. Ook kan volgens de elektrische meetmethode een grotere nauwkeurigheid van de metingen worden bereikt dan volgens de mechanische methode.

De mechanische rekmeters hebben nog het volgende grote bezwaar: Na een positieve of negatieve rekmeting, als de aangewende kracht heeft opgehouden te werken, is de wijzer van het afleesinstrument niet naar de oorspronkelijke stand teruggekeerd en geeft dus een andere waarde aan dan in het begin werd afgelezen. Dit verschijnsel is bekend onder de naam hysteresis.

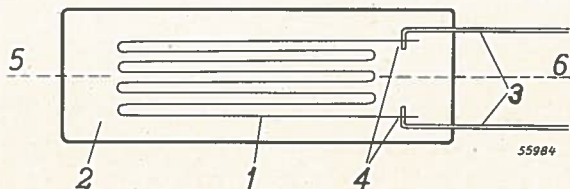


Fig. 2. Schets van de samenstelling van een rekstrookje. 1 = weerstandsdraad (constantaan), 2 = papierstrookje, 3 = aansluitelectroden, 4 = laspunten tussen weerstandsdraadeinden en aansluitelectroden, 5 - 6 = lengteas van het strookje.

Bij gebruik van rekstrookjes is de hysteresis zo gering, dat zij kan worden verwaarloosd.

Hoewel het principe waarop de werking van rekstrookjes berust, reeds lang bekend was (1856), zijn pas in de laatste 10 jaar goede soorten ontwikkeld, die nu alom veel toepassing vinden.

Allereerst zullen wij de samenstelling van rekstrookjes bespreken; hierbij komt dan tevens de z.g. ijkfactor k ter sprake.

Vervolgens wordt uitvoerig ingegaan op de wijze waarop de strookjes voor en tijdens de meting moeten worden behandeld om betrouwbare meetresultaten te verkrijgen.

Ten slotte doen wij een greep uit de vele toepassingsmogelijkheden die zich in de techniek voordoen, en zal het een en ander worden medegedeeld over de nodige meetapparatuur.

Samenstelling van de Philips rekstrookjes GM 4472 en GM 4473

De bijzonderheden van de Philips rekstrookjes zullen worden besproken aan de hand van fig. 2. De weerstandsdraad 1 die het voornaamste deel van het rekstrookje vormt, is zigzagsgewijs op de papieren drager 2 vastgelijmd. De elektroden 3 die de verbinding tussen het strookje en het meetapparaat vormen, zijn aan de weerstandsdraad 1 gesoldeerd en eveneens gedeeltelijk vastgelijmd op de drager. Hierdoor wordt bereikt dat, bij het aansluiten, de soldeerplaatsen 4 van het strookje voldoende zijn ontlast.

Zoals reeds in de inleiding is gezegd, wordt een rekstrookje met de onderzijde op het deformerende materiaal geplakt. Aan de lijm waarmee dit geschiedt wordt de zware eis gesteld, dat hij veroorlooft dat de deformatie van het materiaal volledig op het rekstrookje wordt overgedragen; inderdaad zou iedere kruip- of nawerking die de lijm vertoont, grote fouten in de meting veroorzaken. Bovendien is het gewenst dat de droogtijd van de lijm niet te lang is. Een goede lijm wordt door Philips in tubevorm in de handel gebracht onder GM 4479.

De drager 2 bestaat uit dun, poreus papier. Ook dit papier mag geen enkele nawerking vertonen en moet aan de bovenzijde de deformaties van het materiaal volledig op de weerstandsdraad overdragen. Ten einde het drogen van de lijm te bespoedigen, is een dunne, poreuze papiersoort gekozen. Veroorzaakt dus de deformatie van het materiaal via lijmlaag — papier — lijmlaag een lengteverandering (verlenging of verkorting!) van de weerstandsdraad, dan ontstaat een weerstandsverandering die recht evenredig is met deze lengteverandering.

Veronderstelt men dat, ten gevolge van een deformatie in de lengterichting 5—6, de weerstandsdraad (constantaan) 1‰ langer wordt, dan zal de weerstand van de draad, wat betreft de lengteverandering, ook 1‰ groter worden, en door de dwarscontractie van de draad nog eens 2‰ (hier stelt μ de constante van Poisson voor, die voor metalen ongeveer 0,35 is). Er treedt dus bij 1‰ rek een weerstandsverandering op van ongeveer $1,7\text{‰}$, ten gevolge van de vormverandering van de draad. Hierbij is verondersteld

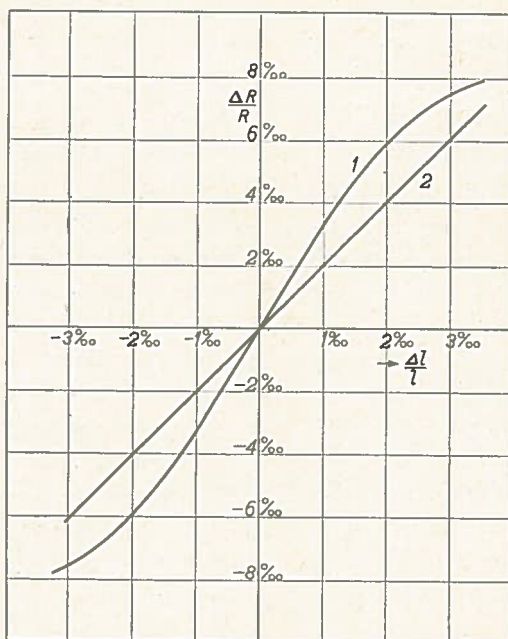
dat tijdens deze verlenging van de draad de soortelijke weerstand constant is gebleven. Daar tijdens de deformatie de soortelijke weerstand echter wél verandert, komt er nog een extra toeneming van de weerstand bij, waardoor de totale weerstandstoename ongeveer 2‰ is. De verhouding tussen weerstandsverandering en rekverandering noemen we de ijkfactor, dus

$$k = \frac{\Delta R/R}{\Delta l/l},$$

Hierin stelt R de elektrische weerstand en l de lengte van de constantaandraad voor. ΔR en Δl zijn de veranderingen van de weerstand en de lengte. Beide kunnen zowel positief als negatief zijn, d.w.z. het verband tussen weerstandsverandering en lengteverandering, k , geldt ook voor de deformatie waarbij het strookje wordt samengedrukt.

Het blijkt dat het gebruik van rekstrookjes niet hoeft te worden beperkt tot het elastische gebied (van ongeveer 2‰ stuik tot ongeveer 2‰ rek). Bij gebruik van constantaan rekstrookjes van Philips is het zelfs mogelijk aanzienlijk buiten dit elastische gebied te deformeren, terwijl toch de ijkfactor dezelfde blijft.

Fig. 3. Het verband tussen de weerstandsverandering $\frac{\Delta R}{R}$ en de rekverandering $\frac{\Delta l}{l}$ van een rekstrookje met weerstandsdraad van chroomnikkel (kromme 1) en van een rekstrookje met constantaandraad (kromme 2).



55987

In fig. 3 is het verband tussen de weerstands- en de rekverandering aangegeven voor een rekstrookje met weerstandsdraad van chroomnikkel (NiCr) (1) en een Philips rekstrookje met constantaandraad (2).

De ijkfactor k is voorgesteld door de helling van de lijn, en het is duidelijk dat deze alleen voor het constantaan draadstrookje ondubbelzinnige betekenis heeft. Er is nog een andere reden waarom aan het constantaan draadstrookje de voorkeur wordt gegeven boven andere, bijv. chroomnik-

kel draadstrookjes, nl. de geringe temperatuurcoëfficiënt van de weerstand. Iedere weerstandsverandering wordt bij de meting geïnterpreteerd als deformatie ; dus moet de invloed van de temperatuur op de weerstand van het strookje zeer gering blijven.

In de onderstaande tabel zijn, voor verschillende weerstandsmaterialen, de ijkfactor, de temperatuurcoëfficiënt van de weerstand R en de soortelijke weerstand vermeld. Ook uit deze waarde blijken weer de goede eigenschappen van constantaandraad voor metingen als hier bedoeld.

Tabel

Soort draad	k	$\alpha_T \cdot 10^{-6}$	s.w. 10^{-6}
Constantaan	2	2 — 4	50
NiCr	3	300	100
Fe	—4	5000	10
C	20	—500	7000

Gebruik van rekstrookjes

Voor het verkrijgen van goede rekstrookjes is het noodzakelijk de strookjes zeer stevig op het te onderzoeken materiaal te bevestigen. Meestal zal dit metaal zijn. Begonnen wordt met het goed schoonmaken van het oppervlak met fijn schuurlinnen ; vervolgens wordt het gereinigd met bijv. zuivere acetone; verder mag men het schoongemaakte oppervlak niet meer met een doek of met de vingers aanraken, ten einde nieuwe verontreinigingen te vermijden. Vervolgens wordt op de juiste plaats een gelijkmatige, dunne eerste laag lijm van de goede soort op het metaal gebracht; d.i. de z.g. prepareerlaag. Als deze laag goed droog is, wordt de achterzijde van het rekstrookje met een dunne laag van dezelfde lijm bedekt en op de prepareerlaag gedrukt ; het strookje moet over zijn volle lengte precies worden gelegd in de richting waarin de rek of de stuik zal worden gemeten. Van het grootste belang is dat, tijdens het vastkleven van het rekstrookje, geen luchtbelletjes worden ingesloten. Zolang mogelijk wordt het strookje krachtig op het metaal gedrukt. Om de druk zo goed mogelijk over het strookje te verdelen, verdient het aanbeveling eerst een dun kussentje van rubber op het strookje te leggen en hierop te drukken. Indien nu een niet al te preciese meting moet worden verricht, die van korte duur is, zal na ongeveer 6 uur drogen het rekstrookje voldoende met het metaal zijn verbonden om te kunnen meten. Anders is het gesteld als hoge nauwkeurigheid vereist wordt en langdurige metingen moeten worden verricht ; dan zijn bijzondere voorzorgen nodig ; o.a. moet het drogen enige dagen, zo mogelijk onder verhitting tot ongeveer 70 °C, worden volgehouden. Ook dient er tijdens en na het hele droogproces

voor te worden gezorgd, dat vocht geen invloed op het strookje kan uitoefenen, want zulks zou funest zijn voor de meetresultaten. Ten eerste veroorzaakt een vochtige omgeving een sterke verlaging van de isolatieweerstand tussen de constantaandraad en het oppervlak van het te onderzoeken materiaal. Deze elektrische isolatieweerstand, parallel aan de weerstand van het strookje, wordt meegemeten, waardoor een weerstandsverandering wordt gevonden die met de deformatie van het materiaal niets heeft te maken.

Ook veroorzaakt vocht het zwellen van de vezels van de papieren drager en van de lijm, waardoor ook een oncontroleerbare weerstandsverandering ontstaat. Vooral bij langdurige precisieingen moeten doeltreffende maatregelen worden genomen om dergelijke fouten te vermijden. De isolatieweerstand van het strookje meet men liefst na de laatste droogbehandeling. Is deze weerstand groter dan ongeveer 500 megohm, dan is er tijdens de metingen geen gevaar voor het ontstaan van fouten. Direct na deze meting dekt men het strookje af met een waslaag, door de was op het warm gemaakte metaal af te smelten. Op de duur zal echter ook zulk een waslaag niet alle vocht kunnen weren. Voor metingen buiten, onder zeer ongunstige omstandigheden, zullen dan ook nog drastischer maatregelen moeten worden genomen. Binnenkort brengt Philips rubber kapjes in de handel, die het mogelijk maken, zelfs onder water goed met rekstrookjes te meten; in een volgend artikel zullen hierover nadere mededelingen worden gedaan.

Het gedrag van de rekstrookjes bij verandering van de temperatuur is al ter sprake gekomen. Bij het opgeplakte strookje is de weerstandswaarde bovendien afhankelijk van de temperatuur van het materiaal waarop het is geplakt. Stijgt deze, dan wordt de lineaire uitzetting van het materiaal gemeten. Nu zal men in het algemeen niet in deze uitzetting geïnteresseerd zijn, maar uitsluitend in de deformatie ten gevolge van belastingen van het materiaal. Het is dus nodig de uitzetting ten gevolge van een temperatuurstijging te compenseren. Dit geschiedt door een ander rekstrookje met dezelfde ijkfactor en weerstandswaarde te plakken op identiek materiaal, dat echter niet aan belasting onderhevig is. Door dit tweede strookje in de buurt van het actieve op te stellen, kan worden gezorgd dat de temperatuur van beide gelijk is. Het is duidelijk, dat de weerstandsverandering in het compensatiestrookje uitsluitend door temperatuurvariaties ontstaat. De weerstandsverandering van het actieve strookje ontstaat, behalve door de genoemde temperatuurvariaties, door de belasting. Hebben nu beide strookjes dezelfde ijkfactor en dezelfde temperatuurcoëfficiënt van de weerstand, dan zal bij beide de weerstandsverandering ten gevolge van temperatuurverandering van het materiaal gelijk zijn. Bij het actieve strookje is dan nog de weerstandsverandering ten gevolge van de belasting extra aanwezig.

De meetapparatuur voor gebruik van rekstrookjes is daarom zo ingericht, dat slechts deze extra weerstandsverandering wordt gemeten. Nadere gegevens over meetapparatuur volgen in de laatste paragraaf.

In de practijk wordt meestal van het compensatiestrookje (in het Engels „dummy gauge”) gebruik gemaakt. Voor verscheidene meetpunten (actieve rekstrookjes) kan vaak met één compensatiestrookje worden volstaan. Er moet dan steeds op worden gelet, dat de ijkfactor van het compensatiestrookje gelijk is aan die van de actieve strookjes.

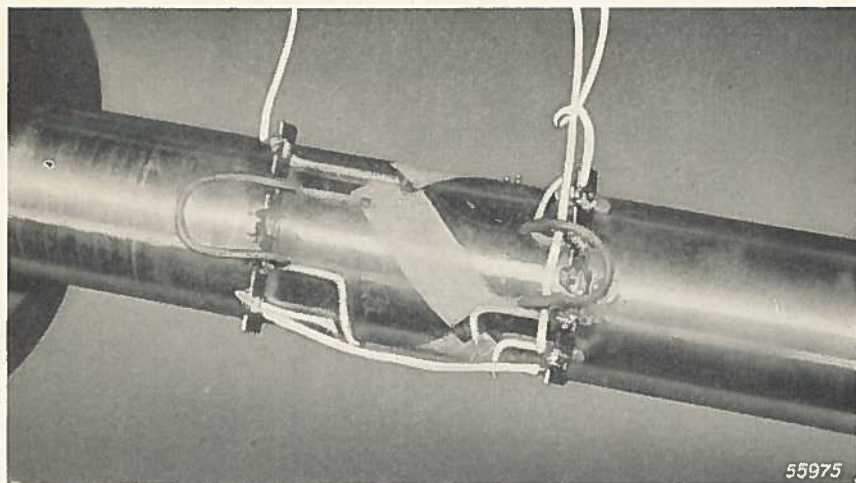
Alleen in de gevallen waarin snel variërende belastingen optreden, bijv. trillingen, is het niet steeds nodig van de compensatiemogelijkheid gebruik te maken. Ook hierop wordt in de laatste paragraaf nader ingegaan.

Gebruik van rekstrookjes

Wat het gebruik in de techniek betreft, valt een onderscheid te maken tussen het directe gebruik van rekstrookjes en het gebruik van rekstrookjes in hulpparaatuur die voor bepaalde metingen nodig is. Het directe gebruik van rekstrookjes vindt uitgebreid toepassing in de zware industrie, bijv. bij bruggenbouw, scheepsbouw, vliegtuigbouw en de constructie van alle mogelijke machines en machine-onderdelen, evenals in de wagonbouw. Bij bruggen kan het van belang zijn te weten hoe zwaar bepaalde constructie-elementen worden belast, bij het passeren van treinen, e.d. Waar vroeger door gebrek aan juistheid van de metingen overdreven zware constructies werden genomen, kan men thans, dank zij de rekstrookjes, de juiste veiligheid bepalen. Ook ten aanzien van in staalconstructies optredende trillingen, die practisch niet zijn te berekenen, zodat overdimensionering dikwijls het gevolg was, kan nu de max. grootte van de door de trillingen ontstane spanningen worden gemeten.

Een en ander geldt natuurlijk ook voor de scheepsbouw. Het zal namelijk vaak nodig zijn een ingewikkelde spanningstoestand in de scheepswand te bepalen. Daartoe meet men met 3 strookjes die onder 120° vlak bij elkaar zijn opgeplakt. Uit de weerstandsvarianties van deze 3 actieve strookjes volgt na eenvoudige berekening de volledige spanningstoestand ter plaatse. Voor metingen met rekstrookjes in de scheeps- en bruggenbouw moet vooral aan de vochtafsluiting worden gedacht, daar in deze takken van industrie vaak metingen van lange duur bij slechte weersomstandigheden nodig zijn. Dit laatste geldt niet zozeer voor de vliegtuigindustrie, daar de metingen hier meestal niet in de buitenlucht worden verricht en normaal ook van korte duur zijn; maatregelen tegen vocht behoeven dan ook niet te worden genomen. In de vliegtuigbouw echter heeft men, behalve voor statische belastingstoestanden, interesse voor belasting ten gevolge van trillingen.

In walsbedrijven kan het vaak van belang zijn de walsdruk te bepalen; voor maximaal rendement nl. wenst men de druk zo hoog mogelijk op te voeren. Tot nu toe nam men, om tegen defect raken van de walsen verzekerd te zijn, een veel te grote veiligheidsmarge; drukmetingen met rekstrookjes brengen ook hier uitkomst. Ook moet nog de mogelijkheid worden genoemd een torsiekoppel (bijv. bij een scheepsas) te meten; hier-

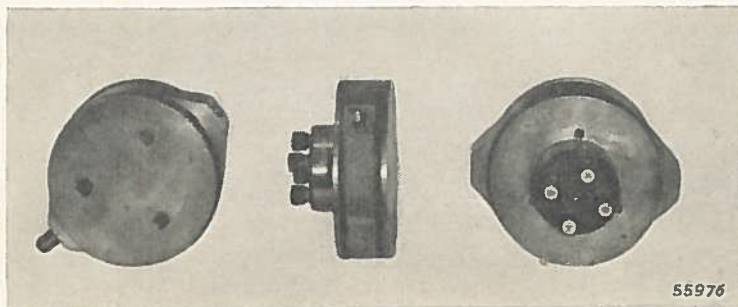


4. Fig . Detail van een met behulp van rekstrookjes uitgevoerde meting van torsietrillingen aan een as.

toe worden rekstrookjes onder een hoek van 45° met de as opgeplakt. Bij torsie zal het ene rekken, het andere samendrukken; uit de weerstands-verhouding is het torsiekoppel te berekenen. Fig. 4 laat zien hoe de meetstrookjes op een as worden geplakt voor het meten van torsiekoppels en torsietrilling. Ook voor het beveiligen van kostbare constructies kan het rekstrookje op eenvoudige wijze uitkomst bieden. Bij een hijskraan bijv. komt de maximaal toelaatbare belasting overeen met een bepaalde rek van een constructie-onderdeel op de kritieke plaats. Een spannings-verandering, veroorzaakt door de verandering van weerstand van een rekstrookje dat op die plaats is geplakt, kan een relaisapparaat bedienen (bijv. de Philips GM 4801) dat een alarminrichting in werking stelt of de toevoer van elektrische stroom naar electromotoren uitschakelt.

Ten slotte noemen wij enige hulpmeetapparaturen die voor de industrie zeker een verrijking betekenen. Dit zijn in de eerste plaats de dynamo-

Fig. 5a. Een dynamometer uitgerust met rekstrookjes, gezien van verscheidene kanten.



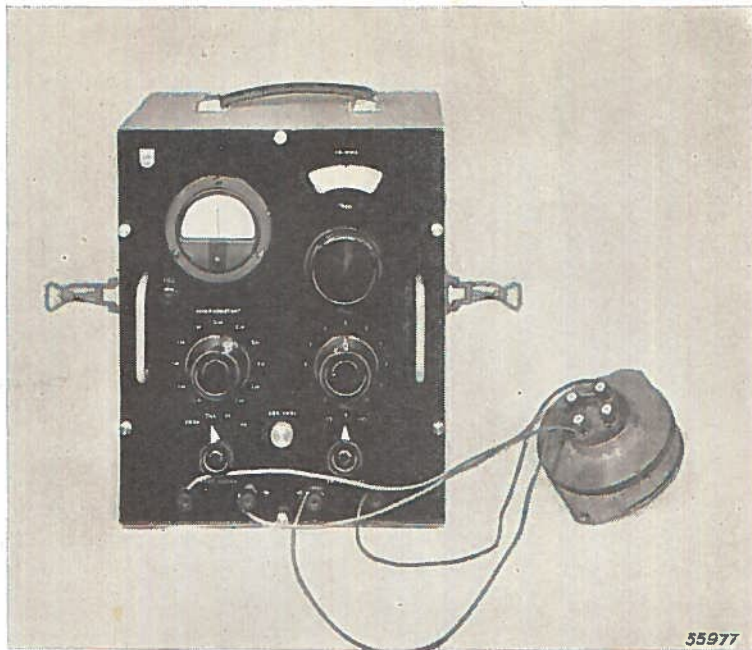


Fig. 5b. De dynamometer van fig. 5a in combinatie met de rekmeetinstallatie.

meters (fig. 5a en b). Deze bestaan in hoofdzaak uit een stalen ring. Door de deformatie van deze ring ten gevolge van trek- of drukkrachten met behulp van rekstrookjes te meten, kan men deze krachten bepalen. De afmetingen van deze dynamometers zijn zeer klein, zodat het op zeer eenvoudige wijze mogelijk is krachten tot 10 ton en zelfs grotere te meten. Ook kleinere krachten tot 2 ton kunnen met de dynamometer met grote precisie worden bepaald. Dat het toepassingsgebied van deze dynamometers groot is, zal wel niemand betwijfelen. Andere afgeleide meetapparaten zijn de waterdruk- en grondrukmeters. Ook met deze is onmiddellijk meten mogelijk, waar vroeger langdurig instellen noodzakelijk was. De grondrukmeting staat de laatste tijd, in het bijzonder voor de aanleg van vliegvelden, in het middelpunt van de belangstelling. De mogelijkheden van meting met rekstrookjes zijn legio; in het bestek van een artikel kan echter moeilijk volledigheid worden betracht.

Meetapparatuur

Er zijn statische en dynamische meetapparaten. Met het eerstgenoemde worden deformaties gemeten die het gevolg zijn van constante belastingen. Het principe volgt uit fig. 6. Het actieve rekstrookje en het compensatiestrookje worden aangesloten tussen 1, 2 en 3. Met de potentiometer 4 kan de brugschakeling in evenwicht worden gebracht. Ondergaat het actieve strookje tussen 2 en 3 een rek, dan is de brug uit even-

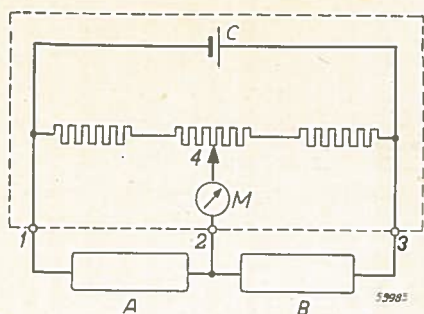


Fig. 6. Principe van een brugschakeling voor het meten, met behulp van rekstrookjes, van statische lengteveranderingen in materialen: 1, 2 en 3 = aansluitpunten voor de rekstrookjes A en B, C = batterij voor de voeding van de elektrische brug, M = nulindicator.

wicht. Ofwel kan deze evenwichtsverstoring direct op de meter worden afgelezen, of de brug moet opnieuw met potentiometer 4 in evenwicht worden gebracht, in welk laatste geval de beide standen van 4 worden afgelezen. Beide methoden past men toe, de eerste in de meetbrug GM 5536¹⁾, de tweede in de meetbrug GM 4571. De brug wordt in beide meetapparaten gevoed met wisselspanning. Het is daarom nodig te zorgen dat capaciteiten, parallel aan de rekstrookjes, geen invloed op de meetresultaten hebben; een speciale schakeling maakt dit mogelijk. Bovendien zijn beide apparaten geschikt voor aansluiting op de adaptor GM 5545, die het mogelijk maakt 10 combinaties van actieve en van compensatierekstrookjes achter elkaar op de meetapparaten aan te sluiten. De GM 5536 is geschikt voor de Philips strookjes van 600 ohm (GM 4472) en voor strookjes met een nog hogere weerstandswaarde, en heeft het voordeel ook snelle belastingsvariaties, die op de uitgangsspanning van de buis als modulatie van de wisselspanning aanwezig zijn, met behulp van een oscillograaf zichtbaar te maken; door een ijskinrichting kan de grootte van de belastingsvariaties worden vastgesteld.

De GM 4571 werkt volgens een nulmethode, met als gevolg grote precisie. Op de schaal van potentiometer 4 kan de rek direct worden afgelezen, dank

¹⁾ Dit apparaat is in een experimenteel stadium en kan vooreerst niet worden geleverd.

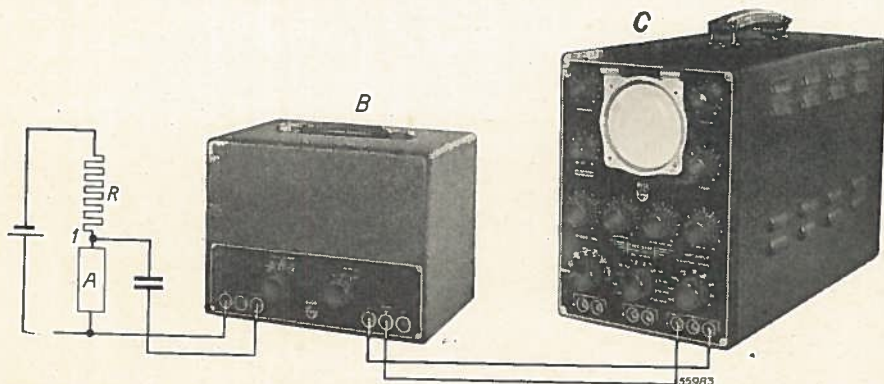


Fig. 7. Het principe van de meting van dynamische lengteveranderingen met behulp van een rekstrookje: A = rekstrookje, B = voorversterker (GM 4570), C = electronstraaloscillograaf (GM 3156).

zij een speciale ijkfactor-schaal. Alle waarden van weerstandsstrookjes groter dan 100 ohm kunnen met de meetbrug GM 4571 worden gemeten. Het principe van een dynamische meting is getoond in fig. 7. Hier is slechts één rekstrookje nodig, dat, via een weerstand R, met een constante spanning wordt gevoed. Door de weerstandsvariatie ontstaat op punt 1 een wisselspanning, die door een voorversterker wordt zichtbaar gemaakt op de oscillograaf. Met een vaste wisselspanning kan de schakeling worden geijkt.

De foto op de frontpagina laat de opstelling voor het meten van torsie-trillingen zien, waarbij de voorversterker GM 4570 en de oscillograaf GM 3156 worden gebruikt. Fig. 4 laat van nabij zien hoe de meetstrookjes zijn opgeplakt.

INHOUD

Rekstrookjes voor het meten van lengteveranderingen,
door A. L. BIERMASZ, Eindhoven.

RM 1204 N. 1 '49

ELECTRONISCH METEN

DE TOEPASSING DER MODERNE
ELECTRONISCHE MEETAPPARATEN
IN LABORATORIA EN BEDRIJVEN



JAARGANG 2

NUMMER 8



Een transportband voor het aanvoeren van kolen aan maalmachines, met een inrichting voor het ontdekken van ijzerdelen tussen de kolen.

ELECTRONISCHE BEVEILIGINGS- INSTALLATIES

Voor het beveiligen van alle mogelijke installaties en machines tegen beschadigingen, kan het Philips electronisch relais GM 4801 met succes worden gebruikt. Een installatie wordt beschreven waarmee, indien in de toevoer van kolen aan maalmachines ijzerdelen aanwezig zijn, de transportband wordt stop gezet. Dergelijke installaties zijn in gebruik bij de fabrieken te Zandvoorde van de Union Chimique Belge. Voorts brengt dit nummer een uitvoerig artikel over dynamisch onderzoek van materialen met behulp van de Philips trillingsmeetapparatuur, in vervolg op het in nummer 1 van deze jaargang verschenen eerste artikel.

ELECTRONISCHE BEVEILIGINGSINSTALLATIE VOOR KOLENMAALINRICHTINGEN

door E. VERSCHUEREN,

Union Chimique Belge, Fabrieken van Zandevoorde.

De aanwezigheid van metalen delen tussen de kolen baart de bedrijfsleiders van cokesovens en stookinrichtingen vele zorgen. Indien deze delen worden meegevoerd in de kolenmaalininstallaties kunnen belangrijke onderdelen van deze worden beschadigd, hetgeen leidt tot kostbare reparaties en het langdurig stilleggen van de maalmachines. Sommige uitvoeringen van kolenmaalinrichtingen, hoofdzakelijk die welke werken met concentrische trommels, worden door ijzerdelen bijzonder gemakkelijk beschadigd. Het vraagstuk van het zuiveren van de kolen van ijzerdelen is nog niet volledig opgelost. Er bestaan weliswaar magnetische trommels die tussen de transportbanden of aan het einde ervan zijn aangebracht, maar hun werking is lang niet feilloos. Zij houden veelal wel de kleine deeltjes tegen, maar niet de grote, vooral niet bij tamelijk grote snelheid van de transportband; bovendien beperkt zich het zuiveren tot de ferro-magnetische metalen.

Over het algemeen leveren de kleine metalen delen, als moeren, bouten enz. geen gevaar op; zij gaan door de zeven van de maaltrommels heen. Het is daarom veel belangrijker er voor te zorgen dat de grote stukken niet in deze maalmachines terecht komen. Aan deze eis werd voldaan in een belangrijke cokesoveninstallatie, waarbij gebruik werd gemaakt van de ervaringen opgedaan bij het opsporen van landmijnen gedurende de tweede wereldoorlog, met draagbare mijndetectorapparaten. Na het beëindigen van de vijandelijkheden werd een groot gedeelte van deze mijndetectoren door de legerdepôts verkocht.

In een platte dubbelwandige schijf van niet-magnetisch materiaal, de detectoreenheid, zijn twee platte spoelen ondergebracht, bijv. een zelfinductiespoel en een terugkoppelspoel van een buisoscillator met een eigenfrequentie van 1000 Hz, of een zelfinductiespoel en een koppelspoel verbonden met de ingang van een versterker. Deze spoelen zijn dusdanig opgesteld dat het gemeenschappelijk veld nagenoeg gelijk is aan nul, zolang er geen metalen deeltje in de buurt van de detector het evenwicht verstoort. Is dit laatste het geval, dan wordt de zwakke stroom van de buisgenerator versterkt en aan een hoofdtelefoon toegevoerd. De uitslag op een milliampèremeter maakt tevens de aanwezigheid van een metalen deeltje zichtbaar.

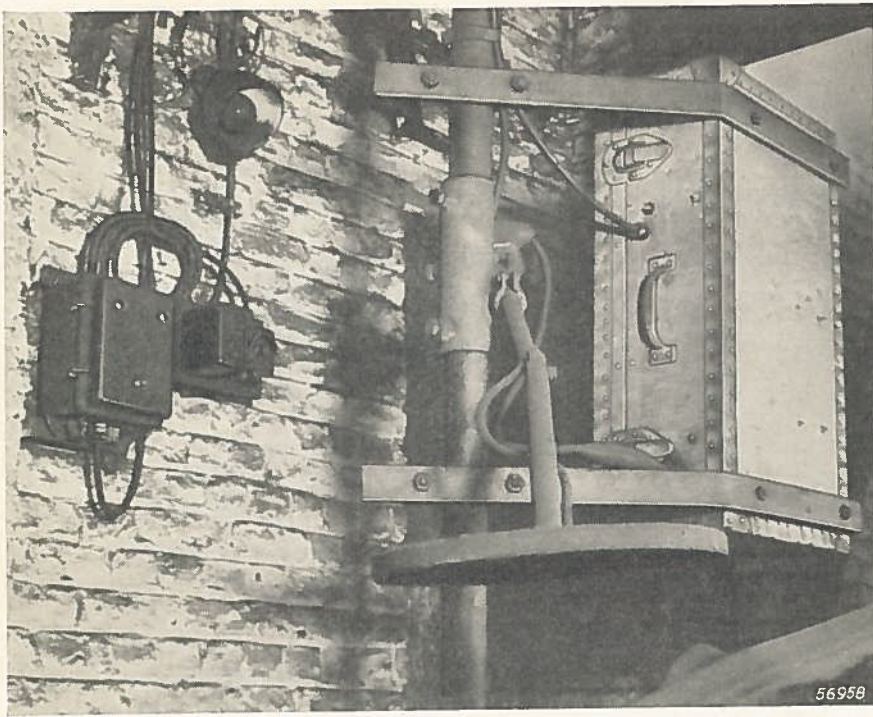


Fig. 1. De beveiligingsinstallatie voor een kolenmaalmachine. Men ziet op de voorgrond de opnemerschijf van de mijn detector, en aan de wand van links naar rechts het electronisch relais GM 4801, het tussenrelais en een draaischakelaar.

Dit apparaat is bijzonder geschikt voor het opsporen en ontdekken van metalen delen tussen de kolen. De schijf is gemonteerd boven de rubber transportband waarmee de kolen naar de maalininstallatie worden aangevoerd, en wel zodanig, dat het ijzeren frame met de rollen waarover de transportband loopt geen invloed heeft op de werking van de detector.

De gevoeligheid van de detector is instelbaar en voor het beoogde doel gereduceerd, om hem ongevoelig te maken voor kleine, onschadelijke deeltjes. De uitslag van de wijzer van de milliampèremeter wordt gebruikt voor het stopzetten van de aandrijfmotor van de transportband.

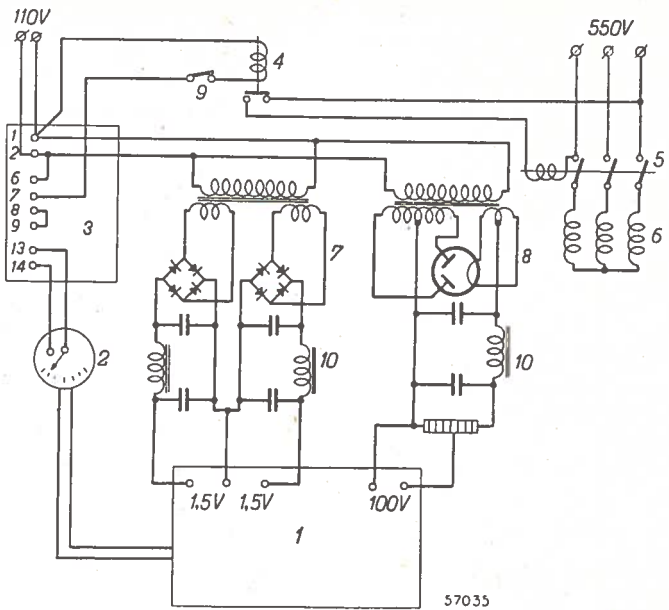
Zodra dit is gebeurd kan het toeziend personeel het schadelijke deel op een vaste afstand van de detector uit de kolen halen.

Hierbij is er dus van uitgegaan dat het oponthoud door het steeds onderbreken van de voeding van de maalmachines minder bezwaarlijk is dan de kans op vernieling van deze machines.

De milliampèremeter met een volle uitslag bij 1 mA is een teer instrument, dat niet in staat is een schakelaar in werking te stellen. Daarom werd gebruik gemaakt van het Philips electronisch relais GM 4801, dat zonder vertraging werkt en waarvan de gevoeligheid instelbaar is. Dit relais kan worden bekrachtigd door een spanningsimpuls, die wordt veroorzaakt door het sluiten van een contact dat zich op de wijzer van de milliam-

Fig. 2. Schema van de installatie voor het ontdekken van ijzerdelen tussen de kolen welke via een transportband aan kolenmaalmachines worden toegevoerd.

- 1 = Zender met frequentie 1000 Hz en versterker van het mijn detectorapparaat.
- 2 = Wijzerinstrument (milliampèremeter) met contactinrichting.
- 3 = Philips elektronisch relais GM 4801.
- 4 = Tussenrelais met onderbroken contacten in rusttoestand.
- 5 = Hoofdschakelaar met bekrachtigingspoel. De schakelaar reageert op minimum spanning.
- 6 = Aandrijfmotor van de transportband.
- 7 = Metaaloxxydegelijkrichter.
- 8 = Buisgelijkrichter.
- 9 = Draaischakelaar voor het stopzetten of in werking brengen van de electromotor.
- 10 = Filters.



pèremeter bevindt. Dit sluiten geschiedt zodra de uitslag van de wijzer voldoende groot is. Het relais van de GM 4801 heeft contacten die het mogelijk maken een elektrisch vermogen van 250W in-, resp. uit te schakelen. De GM 4801 is voorzien van twee signaallampjes, en de bekrachtiging van de relaisspoel kan automatisch of met de hand worden opgeheven. De opheffing met de hand van de bekrachtiging is in dit geval noodzakelijk, daar bij automatische opheffing de traagheid van het relais zo gering is, dat de contacten zich weer geopend, resp. gesloten hebben vooraleer het uitschakelen van de aandrijfmotor door middel van de hoofdschakelaar heeft kunnen plaats hebben.

Indien de spanning van het net waarop de aandrijfmotor is aangesloten te hoog is, verdient het de voorkeur tussen het elektronisch relais GM 4801 en de bekrachtigingsspoel van de hoofdschakelaar een spanningsrelais te schakelen, waarvan de contacten in de rusttoestand óf gesloten óf geopend kunnen zijn, naar gelang van de inrichting van de hoofdschakelaar. Een mijn detector wordt normaal gevoed door twee droge batterijen, de ene met een spanning van 100 V, de andere met een spanning van 1,5 V.

Voor een draagbaar apparaat is de voeding door batterijen natuurlijk noodzakelijk, maar zij is niet gewenst voor een installatie die doorlopend in werking is. Daarom werden deze batterijen vervangen door een buisgelijkrichter met een dubbele diode, waarvan de gelijkspanning 100 V bedraagt, en een metaaloxxydegelijkrichter voor de voeding van de gloeidraden van de versterkbuizen. In de leidingen van de gelijkrichters naar

het detectorapparaat zijn filters opgenomen, ten einde spanningsimpulsen die in het net door storingen mochten optreden, af te vlakken. Deze zouden een ongewenste weiking van het electronisch relais kunnen veroorzaken. De gevoeligheid van de installatie kan namelijk zo hoog worden opgevoerd, dat de aanwezigheid van een gewone spijker is te ontdekken.

Het schema van fig. 2 geeft de samenstelling van de verschillende apparaten weer zonder in te gaan op de constructiedetails van de detector en het electronisch relais GM 4801; deze kan men zich gemakkelijk verschaffen. Deze installatie bewijst waardevolle diensten, en de bescheiden aanschaffingskosten worden zeer snel geamortiseerd door de geringere onderhoudskosten van de maalmachines.

BOEKAANKONDIGING

ELECTRONICA IN DE INDUSTRIE

Principe, werkwijze en toepassingsmogelijkheden

door A. VAN SLUITERS, hoofdingenieur van de Hoofdindustriegroep Electronica der N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken te Eindhoven.
N.V. Uitgevers Mij. Diligentia, Amsterdam 1948. 170 blz., 80 fig., f 4,95.

In een algemeen gedeelte worden de toepassingen en werktuigen der electronica besproken. De toepassingen hebben betrekking op electronische arbeid en op electronisch intellect; de werktuigen zijn hoogvacuumbuizen of met gas gevulde buizen, waarin het vrijmaken van electronen kan geschieden door verhitting van een gloeikathode of door bombarderen met electronen of ionen of door bestraling met electromagnetische golven (bijv. licht).

Dit algemene gedeelte en de voorafgaande inleiding schilderen de Electronica als geheel; de volgende hoofdstukken gaan uitvoerig in op de technische toepassingen. Men vindt er gegevens in omtrent hoogfrequentverhitting, ultrageluid, röntgenonderzoek ten dienste van de techniek, gelijkrichten, omvormen van gelijkstroom in wisselstroom en meer dergelijke voorbeelden van electronische aard. Op het gebied van het electronisch intellect worden o.a. besproken verschillende soorten schakelingen, alarmsystemen, telapparaten, sorteerapparaten, meetinstallaties, regelinstallaties, enz.

Hen die weinig theorie, doch vooral beknopte en deugdelijke practische voorlichting verlangen, zal dit boekje in hoge mate voldoen. Het zal hun doen begrijpen welke bijzondere plaats de electronentechniek te midden van de andere technieken inneemt. Een alfabetisch register zal de waarde van dit boekje nog aanmerkelijk doen stijgen.

Dr. M. P. VRIJ.

HET GEBRUIK VAN DE TRILLINGSOPNEMER GM 5526 BIJ HET DYNAMISCH ONDERZOEK

2e deel

door J. SEVERS, Eindhoven.

In het inleidende artikel over dit onderwerp¹⁾ werden de belangrijkste eigenschappen van de trillingsopnemer GM 5526 en van zijn voor excitatiedoeleinden aanbevolen modificatie, de GM 8010, besproken.

Alvorens verscheidene onderzoekingsmethoden te beschrijven, zullen wij nagaan op welke wijze men vooruit beoordeelt of een bepaald object geschikt is om met de GM 8010 in een voor het doel voldoende sterkte in trilling te worden gebracht. Wij zullen dan tevens gelegenheid hebben enkele van de in deze artikelen veel voorkomende vaktermen toe te lichten.

Begonnen wordt met de onderstelling, dat bij constante frequentie de trillingsintensiteit strikt evenredig is met de aandrijfkracht. Dit houdt in, dat wordt gewerkt in het gebied waarin de elastische constanten onafhankelijk zijn van de materiaalspanningen. Hoewel het onderzoek met behulp van mechanische wisselkrachten ongetwijfeld ook belangrijk is voor de gevallen waarin men beoogt grote materiaalspanningen op te wekken, bijv. voor vermoeidheidsproeven, zo moge toch worden vastgesteld, dat het dynamisch onderzoek met kleine excitatiekracht, als opgewekt door de GM 8010 en GM 5526, zich in hoofdzaak bezig houdt met metingen bij „kleine deformaties”.

Het is duidelijk dat in dit geval met willekeurig kleine krachten kan worden volstaan, mits de resulterende trillingsbewegingen sterk genoeg zijn om met de gegeven indicatie-instrumenten de gewenste waarnemingen te kunnen verrichten. Met de eventuele aanwezigheid van storende trillingen, voortkomend uit de omgeving, moet hierbij uiteraard rekening worden gehouden.

Verdere vereenvoudigende onderstellingen zijn, dat de op het object werkende krachten sinusvormig zijn, en dat de beschouwing beperkt blijft tot de condities die zich voordoen na het bereiken van de stationnaire trillingstoestand.

Betrekkingen tussen kracht en trillingsintensiteit

Als op enig punt van een mechanisch trillingssysteem, de wisselkracht $F = \hat{F} \sin \omega t$ werkt, waarin $\hat{F}$ de krachtsamplitude in dynes voorstelt, dan zal de ter plaatse optredende trillingssnelheid (in cm/sec) zijn:

$$\dot{x} = \frac{\hat{F} \sin \omega t}{z_m} = \hat{x} \sin (\omega t + \varphi). \quad (1)$$

Hier is φ de fazehoek tussen de snelheid en de kracht, en z_m de *mechanische impedantie* in dynes/cm/sec in het aandrijfpunt, die per definitie gelijk is aan het quotiënt: *kracht gedeeld door snelheid*.

¹⁾ Zie Electronisch Meten Jaargang 2, Nr. 1.

De versnelling en de verplaatsing worden uit verg. (1) verkregen door vermenigvuldiging met $j\omega$, respectievelijk met $-j/\omega$, waarmee wordt uitgedrukt dat de versnelling 90° voorijlend t.o.v. de snelheid in fase is verschoven, en de verplaatsing 90° achterblijft. (De versnellingsamplitude in cm/sec^2 is gelijk aan $\hat{\ddot{x}} = \omega \hat{\dot{x}}$ en de verplaatsingsamplitude in cm aan $\hat{x} = \hat{\dot{x}}/\omega$, waarbij $\hat{\dot{x}}$ wordt uitgedrukt in cm/sec).

Voor het vooruit berekenen van trillingsintensiteiten is het dus nodig de waarden van z_m en ω te kennen. Daar de impedantie z_m zelf een functie is van ω , kunnen er gevallen voorkomen waarin ω 's tegen elkaar wegvallen, zodat dan één gegeven minder nodig is. Als een eenvoudig geval dat later belangrijk zal blijken te zijn, nemen wij bijvoorbeeld aan dat het object zuiver is te beschouwen als een massa. De mechanische impedantie z_m van een massa is een *reactantie* $j\omega m$, en de versnellingsamplitude vindt men in dit geval uit :

$$\hat{\ddot{x}} = j\omega \hat{\dot{x}} = \frac{j\omega \hat{F}}{j\omega m} = \hat{F}/m,$$

waarbij valt op te merken dat de versnelling in fase is met de kracht. Evenzo vindt men voor een zuivere stijfheid, $z_m = -js/\omega$; de verplaatsing

$$\hat{x} = -j \hat{\dot{x}}/\omega = \frac{-j \hat{F}}{-j\omega s/\omega} = \hat{F}/s \text{ is in fase met de kracht.}$$

De mechanische impedantie als functie van de frequentie, in haar algemene vorm uitgedrukt als impedantievergelijking, is gemakkelijk genoeg te berekenen, als men heeft te maken met eenvoudige trillingssystemen die bestaan uit een klein aantal geconcentreerde massa-, stijfheids- en weerstandselementen. Omgekeerd kan men alle onbekende elementen van het systeem wiskundig afleiden uit experimenteel opgenomen impedantie- en fazehoekkrommen, indien men over de algemene impedantievergelijking voor de betreffende configuratie beschikt.

Het laat zich aanzien dat dit al spoedig tot zeer ingewikkelde berekeningen voert, indien het aantal elementen niet langer klein is te noemen, in het bijzonder indien men heeft te maken met willekeurige objecten waarin de massa-, de stijfheids- en weerstandselementen — mogelijk nog op ongelijkmatige wijze — *continu zijn verdeeld*.

Hoewel zulke studies omtrent het impedantieverloop over een breed frequentiegebied soms van groot theoretisch belang zijn, kan men de gewenste informatie gelukkig meestal op veel eenvoudiger wijze verkrijgen. Uit metingen en waarnemingen in de betrekkelijk smalle frequentiegebieden waar de mechanische impedantie of de fazehoek tussen kracht en snelheid opmerkelijke onregelmatigheden vertoont, die de aanwezigheid van een *mechanische resonantie* verraden, laten zich gewoonlijk alle vereiste gegevens zonder veel moeite afleiden. Wel kan het soms nodig zijn met meer dan één onafhankelijke variabele te werken, door bijv. het op een

geschikte plaats toevoegen van een bekende massa, doch zulke kleine kunstgrepen compliceren de handelingen nauwelijks.

Afgezien van het bovenstaande, mag er nog op worden gewezen, dat metingen bij de resonantiefrequenties van een object alleen reeds belangrijk zijn omdat het kennen van deze frequenties zelf dikwijls het enige onmiddellijke doel van de onderzoeker is. Dit vastgesteld hebbend, bepalen wij thans onze aandacht tot de veel eenvoudiger opgave, een handige uitdrukking te vinden voor de mechanische impedantie van een object in resonantie.

Van een *eigenfrequentie* kan worden gesproken indien het object voor een punt van excitatie in *fazeresonantie* is. De fazehoek φ tussen excitatiekracht en trillingssnelheid ter plaatse is dan nul, terwijl bij iets grotere en kleinere frequenties de massakrachten niet in evenwicht zijn met de stijfheidskrachten, en dus $\varphi \neq 0$.

Na het bereiken van de stationnaire trillingstoestand ²⁾, is het door het object opgenomen arbeidsvermogen $\frac{1}{2} \hat{F} \hat{x}_0$ constant en gelijk aan de totale energiedissipatie per secunde $\frac{1}{2} r \hat{x}_0^2$, aangenomen dat de dempingskracht evenredig is met de snelheid. Voor de snelheidsamplitude in resonantie volgt daaruit :

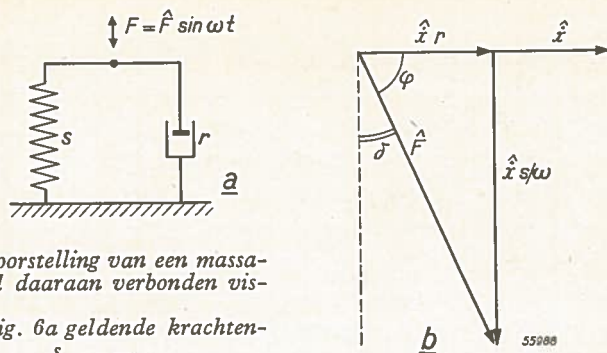
$$\hat{x}_0 = \hat{F}/r. \quad (2)$$

Hierin is r een reële weerstand, de z.g. *verliesweerstand* op de plaats van excitatie.

Nu komt het er dus eerst op aan een gemakkelijke manier te vinden om de grootte van de verliesweerstand te bepalen. Een onzekere factor hierbij is altijd het door het *uitwendige verlies* veroorzaakte aandeel, dat een gevolg is van het afvloeien van energie via de ondersteuningspunten van het object naar de omgeving. Op het schatten van de verhouding tussen dit energieverlies en dat in het object zelf, indien de omstandigheden niet toelaten deze verhouding te veranderen, kan men door meetervaring een zekere kijk krijgen.

Bij vele onderzoeken zal het gewenst zijn de uitwendige verliezen zo gering mogelijk te houden, omdat men bijvoorbeeld uit de grootte der *inwendige verliezen* belangrijke conclusies omtrent de toestand van het proefstuk kan trekken, of omdat men anders sommige gezochte eigenfrequenties niet zou kunnen vinden. De meest gunstige manier van ondersteunen van het object zal dan ook soms zeer zorgvuldige overweging vereisen. Op dit onderwerp zal in een later artikel uitvoerig worden teruggekomen.

²⁾ Indien de kracht wordt uitgedrukt in dynes en de snelheid in cm/sec, verkrijgt men het arbeidsvermogen in dynes $\times$ cm/sec = erg/sec (1 erg/sec is 10^{-7} watt). Het electrisch analogon voor $\frac{1}{2} \hat{F} \hat{x}_0$ is $\frac{1}{2} \hat{E} \hat{I} = E_{\text{eff}} I_{\text{eff}}$. Opgemerkt moge nog worden dat na het eerste in werking treden van de aandrijfkracht bij de resonantiefrequentie, de trillingsintensiteit blijft aangroeien tot het krachtenevenwicht $F = \dot{x}r$ is bereikt.



a) Fig. 6. Schematische voorstelling van een massavrije veer met een parallel daaraan verbonden visqueuze weerstand.

b) Vectorfiguur der voor fig. 6a geldende krachtenbetrekkingen ($\operatorname{tg} \delta = \frac{\omega r}{s}$, $\operatorname{tg} \varphi = \frac{s}{\omega r} = Q$).

Vergelijkingsmaat voor de inwendige verliezen

Voor het ogenblik is het allereerst van belang te weten, dat de eigenlijke inwendige verliezen van vaste stoffen onder gegeven omstandigheden kunnen worden uitgedrukt in een kenmerkende vergelijkingsmaat. Dit kan op verschillende manieren geschieden, die elk voor zich meer of minder op een bepaald geval zijn toegespitst. Men zal in de literatuur dan ook niet steeds dezelfde verliesmaat aantreffen; de verschillende *kwaliteitsgetallen* zijn uiteraard onderling nauw verwant.

De voor ons doel meest geschikte maat is gebaseerd op de verhouding tussen twee krachten, namelijk de snelheidsevenredige kracht ter overwinning van de inwendige verliesweerstand, en de verplaatsingsevenredige kracht voor het teweegbrengen van een zuiver elastische deformatie.

In fig. 6 stelt s de stijfheid voor van een massavrije ideale veer, r een daarmee *parallel* verbonden visqueuze weerstand. Het krachtenevenwicht $F = r \dot{x} + s x$ kan voor een sinusvormig veranderlijke kracht worden geschreven als :

$$F = \hat{F} \sin \omega t = (r - j s / \omega) \hat{x} \sin (\omega t + \varphi).$$

Zoals de bijbehorende vectorfiguur laat zien, is de fazehoek φ tussen de snelheid en de kracht over de parallelschakeling kleiner dan 90° . Indien r nul ware, zou deze hoek precies 90° zijn. Het verschil $90^\circ - \varphi$ is dus een maat voor de verhouding tussen weerstandskracht en stijfheid; dit verschil noemt men de *verlieshoek*; deze wordt aangeduid met de letter δ . De tangens van deze verlieshoek is gelijk aan de meergenoemde krachtenverhouding. Daarom noemt men deze verliesmaat gewoonlijk *verlies-tangens*, $\operatorname{tg} \delta$, of — daar de tangens van een kleine hoek praktisch gelijk is aan de hoek zelf in radialen — ook vaak *verlieshoek*, of kortweg δ ³⁾. Opmerkelijk is het feit dat de verlieshoek van vele homogene isotrope materialen bij kleine spanningen, en voor gegeven condities van temperatuur enz., bij benadering een *constante* is.

Een uitgesproken frequentie- en afmetingsafhankelijkheid neemt men bij stoffen met een goed warmtegeleidingsvermogen echter waar, als de plaatsen die afwisselend aan samendrukking en uitrekking onderhevig

³⁾ Hier moge reeds worden vermeld dat voor alle praktisch voorkomende waarden van δ , nl. $\delta < \text{ca. } 0,3$, de betrekking tussen $\operatorname{tg} \delta$ en het in een later artikel nog te noemen *logarithmisch decrement* (ϑ) eenvoudig is: $\operatorname{tg} \delta = \vartheta / \pi$.

zijn, betrekkelijk dicht bij elkaar liggen (denken wij bijv. aan de transversale trilling van dunne staven), zodat wisselende warmtestromen door het lichaam heen in het spel komen ⁴⁾).

Insteede van de $\tan \delta$ als verliesmaat te gebruiken, is het dikwijls handiger werken met zijn *reciproke waarde* ($= \tan \varphi$, fig. 6), die gewoonlijk *kwaliteitsfactor* wordt genoemd, en wordt aangeduid met het symbool Q . Om enigszins een indruk te geven van grootteorde, volgen in de onderstaande tabel enige resultaten van eigen Q -metingen, bij kamertemperatuur, aan verschillende materiaalmonsters.

Tabel

Materiaal	Q	Materiaal	Q
Polyvenylchloride *)	ca. 4	Getrokken messing	14 000
Hardrubber (eboniet)	„ 40	„ duraluminium	59 000
Hardlinnen (novotext)	„ 60	Gereedschapstaal,	
Baksteen, 1e kwal.	„ 800	ontlaten	88 000

De buitengewoon hoge Q -cijfers van de genoemde metalen hebben voor praktische vooruitberekening der trillingsintensiteit slechts betrekkelijke waarde. Bij onze metingen was uiterste zorg besteed aan het vermijden van alle andere verliezen dan die in het materiaal zelf; om luchtwrijving en thermo-elastische demping tot een minimum terug te brengen, werden bijv. de staven metaal longitudinaal in trilling gebracht. Practisch zijn het vooral de moeilijkheden in het verschaffen van een voldoende verliesarme ondersteuning voor het proefstuk die het voor het vooruitbepalen van de trillingssterkte wenselijk maken te beginnen met aanmerkelijk lagere waarden aan te nemen. Daarenboven neemt de Q nog zeer veel sterker af, in een mate waarvoor geen cijfers zijn te geven, als het werkstuk inwendige wrijvingsvlakken bezit, als bijv. scheuren, klem- of klinkverbindingen. Hier is het nodig uit meetervaring te beschikken over vergelijkingswaarden voor de betreffende soort objecten.

Berekening van de te verwachten trillingssterkte

Indien nu de verlieshoek of de kwaliteitsfactor van een proefobject ten naaste bij kan worden geschat, levert de berekening van de in vergelijking (2) in te vullen *verliesweerstand* in het resonantiegeval weinig moeite op. In het bijzonder zullen wij interesse hebben voor de verliesweerstand op de plaatsen waar het lichaam in resonantie *zo sterk mogelijk* trilt. Zulke plaatsen noemt men *trillingsbuiken*; de punten waar de trillingssterkte minimaal is heten *trillingsknopen* (verg. fig. 7).

Levert een vooruitberekening de uitkomst op dat, gezien de gevoeligheid der Philips trillingsdetectors, met de beschikbare kracht de intensiteit in

⁴⁾ J. L. Snoek: Over de inwendige demping van vaste stoffen, Tijdschr. voor Natuurk. 7 (Maart 1940), blz. 133-146; C. Zener: Internal Friction in Solids, Physical Review 53 (1 Jan. 1938), blz. 90-101.

*) „Plastic”, halfhard, elasticiteitsmodulus ca. $1,5 \cdot 10^{10}$ dyne/cm².

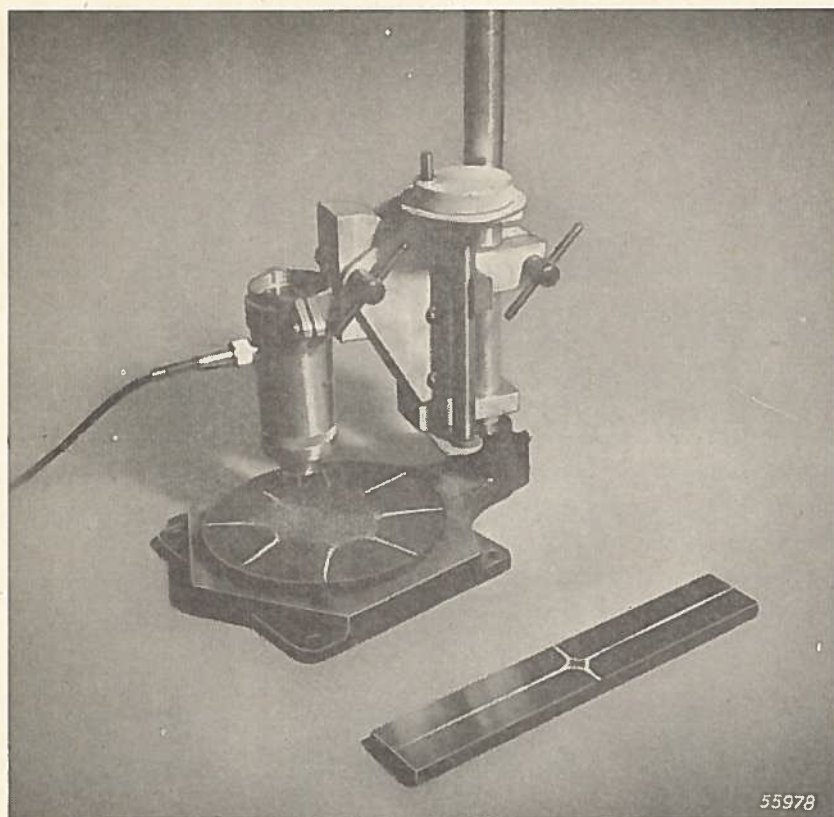


Fig. 7. Chladni figuren van zandkorrels op enige platen metaal. De zandkorrels verzamelen zich op de knooplijnen.

- a) Buigtrilling in een ronde plaat.
b) Torsietrilling in een rechthoekige plaat.

de trillingsbuiken ruim voldoende zal zijn, dan kan de meting uitvoerbaar worden geacht; overtollige trillingssterkte kan zo nodig op verscheiden manieren worden gereduceerd.

Maximale trillingssterkte bij resonantie betekent, dat z_m door een minimum gaat. Het elementaire, uit drie parallel geschakelde elementen bestaande trillingssysteem, als getekend in fig. 8, bezit deze eigenschap eveneens, zij het dan ook voor slechts één frequentie.

Het is nuttig dit eenvoudige systeem nader te beschouwen. Het krachten-evenwicht heeft in dit geval de gedaante:

$$F = m \ddot{x} + r \dot{x} + s x,$$

wat bij $F = \hat{F} \sin \omega t$ voor de stationnaire toestand kan worden geschreven als:

$$\hat{F} \sin \omega t = \frac{(j\omega m + r - j s/\omega)}{\omega} \hat{x} \sin (\omega t + \varphi) \quad (3)$$

De onderstreepte factor tussen haakjes is de mechanische impedantie z_m . In fazeresonantie moet $\omega_0 m = s/\omega_0$ zijn (waaruit volgt dat $\omega_0 = \sqrt{s/m}$, met s in dynes/cm en m in grammen-massa $\approx 1,02$ maal het gewicht in grammen).

De snelheid is dan in faze met kracht, en wel is: $\hat{\dot{x}}_0 = \hat{F}/r$. Indien wij,

volgens fig. 6, r uitdrukken in de *verlieshoek*, wordt verkregen: $\hat{\dot{x}}_0 = \frac{\omega_0 F}{s\delta}$; doch $\omega_0/s = 1/\omega_0 m$; dus kan men ook schrijven ⁵⁾:

$$\begin{aligned}\hat{\dot{x}}_0 &= \hat{F}/\delta \omega_0 m \text{ cm/sec, of:} \\ \hat{\dot{x}}_0 &= Q \hat{F}/\omega_0 m \text{ cm/sec.}\end{aligned}\quad (4a)$$

De door (4a) gegeven betrekking blijkt nu bijzonder geschikt te zijn voor het vooruit berekenen van de trillingsintensiteit van willekeurige vaste lichamen. Weliswaar kunnen deze lichamen talloze eigenfrequenties bezitten, waarbij z_m minimaal is, maar binnen een smalle frequentieband gedraagt een object met verdeelde constanten zich voor elk dezer eigenfrequenties weinig verschillend van een elementair enkelfrequentiesysteem.

Desgewenst kan ω_0 , indien men omtrent zijn waarde niet het geringste idee heeft, worden geëlimineerd door beide termen van (4a) met $j\omega_0$ te vermenigvuldigen, zodat men verkrijgt:

$$\hat{\dot{x}}_0 = (j) \hat{F}/\delta m = (j) Q \hat{F}/m \text{ cm/sec}^2. \quad (4b)$$

Belangrijk is echter de vraag, welke de *effectieve* massa m_e van het object is voor de plaats van excitatie die in vergelijking (4a) moet worden gebruikt.

Het begrip effectieve massa

De effectieve massa (m_e) is een denkbeeldige puntmassa met dezelfde maximale kinetische energie als het gehele object bezit bij het passeren van de neutrale positie, maar met de snelheid van het punt onder beschouwing. Uit de overweging dat het in resonantie verkerende lichaam nabij sommige plaatsen, nl. de *trillingsknopen*, slechts zwak trilt en dus zeer weinig kinetische energie bezit, terwijl deze plaatsen toch wel hun aandeel bijdragen tot de totale massa, volgt reeds dat in de *trillingsbuiken*, waar $\hat{\dot{x}}$ het grootst is, m_e kleiner zal zijn dan de totale massa m_t . In het algemeen verhouden zich de effectieve massa's op twee plaatsen met verschillende snelheden, $\dot{x}_1$, $\dot{x}_2$, als

$$m_{e1}/m_{e2} = (\dot{x}_2/\dot{x}_1)^2. \quad (5)$$

De verhouding m_e/m_t in de trillingsbuiken kan voor eenvoudig gevormde lichamen worden berekend en blijkt (zie fig. 9) een waarde te bezitten tussen omstreeks 0,2 en 0,7.

Op gelijksoortige wijze als men de grootte van een geconcentreerde massa kan bepalen door er bijvoorbeeld een kleine bekende massa aan toe te voegen en de veranderingen in eigenfrequentie te meten, kan men ook

⁵⁾ Heeft men met *trillingssystemen* te maken, dan wordt de verhouding $r\omega_0/s = r/\omega_0 m$ niet *verlieshoek* genoemd, maar *dampingscoëfficiënt*. Bestaat het trillingsstelsel uitsluitend uit één stuk materiaal, dan is de *verlieshoek* van het materiaal dus tevens de *dampingscoëfficiënt* van het systeem. De uitdrukking *kwaliteitsfactor* (Q) daarentegen, wordt in beide gevallen gebruikt.

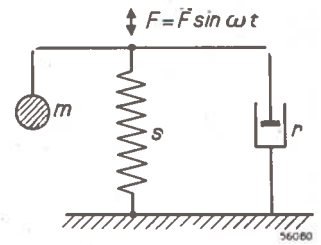


Fig. 8. Schematische voorstelling van de parallelschakeling van een zuivere massa (m), veerstijfheid (s) en viskeuze weerstand (r).

Fig. 9. De verhouding tussen de effectieve massa m_e en de totale massa m_t van enkele eenvoudige trillende lichamen in hun trillingsbuiken.

a = transversale trilling v.e. dunne staaf of bladveer, één uiteinde vast

b_1 = longitudinale trilling v.e. dunne staaf, één uiteinde vast

b_2 = longitudinale trilling v.e. dunne staaf, beide uiteinden vast

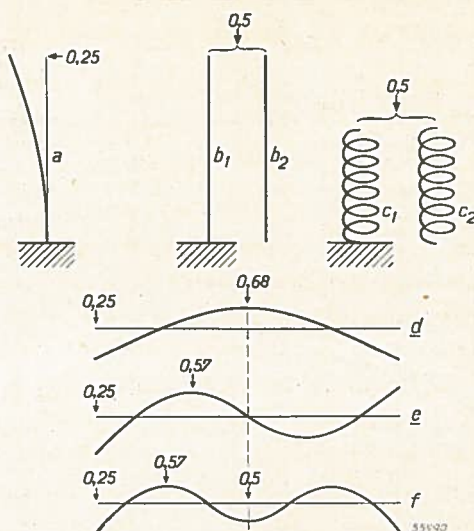
c_1 = longitudinale trilling v.e. schroefveer, één uiteinde vast

c_2 = longitudinale trilling v. e. schroefveer, beide uiteinden vrij

d = transversale trilling v. e. dunne staaf, beide uiteinden vrij; grondfrequentie

e = transversale trilling v. e. dunne staaf, beide uiteinden vrij; 2e eigenfrequentie

f = transversale trilling v.e. dunne staaf, beide uiteinden vrij; 3e eigenfrequentie. Bij alle hogere eigenfrequenties heeft de verhouding m_e/m_t op de buikplaatsen tussen de 2e knooppunten, gerekend vanaf de vrije uiteinden, steeds de waarde 0,5.



de effectieve massa op verschillende plaatsen van een willekeurig object experimenteel vaststellen.

Metingen van m_e zullen later ter sprake komen. Interessant is de uitkomst dat, ook bij minder eenvoudig gevormde lichamen, het quotiënt m_e/m_t in de trillingsbuiken bij alle resonantiefrequenties van het object minimale waarden bezit in dezelfde orde van grootte als hierboven genoemd. Voor de laagste eigenfrequenties van verscheiden kerkklokken, gemeten op de slagrand, en van een 3-bladige scheepsschroef, gaven eigen metingen bijvoorbeeld de uitkomsten 0,4, resp. 0,52.

Uiteraard zal m_e/m_t zeer klein kunnen worden, indien aan een trillingsknoop een aanmerkelijke hoeveelheid niet-meetrillende massa vast zit, zoals bijvoorbeeld in het geval van een betrekkelijk kleine bladveer welke aan één zijde is ingeklemd in een bankschroef. In dat geval beschouwt men beter het trillende deel afzonderlijk. Omgekeerd zal m_e/m_t zijn maximale waarde = 1 kunnen benaderen als het trillingssysteem het ideale geval van geconcentreerde massa en stijfheid nabij komt. Met $m_e = m_t$ is men in elk geval aan de veilige kant; als ruw gemiddelde kan $m_e = 0,5 m_t$ echter meestal wel worden gebruikt (een en ander geldend voor de trillingsbuiken). Meer naar de knoopplaatsen toe neemt m_e/m_t toe, tot deze verhouding precies op een knoopplijn voor de betreffende frequentie oneindig groot is.

Enige voorzorgsmaatregelen en correcties

Voorzichtigheid in het gebruik van verg. (4a) is geboden, indien de verliesweerstand van het object $r = \delta \omega_0 m_e$ verwacht mag worden klein te

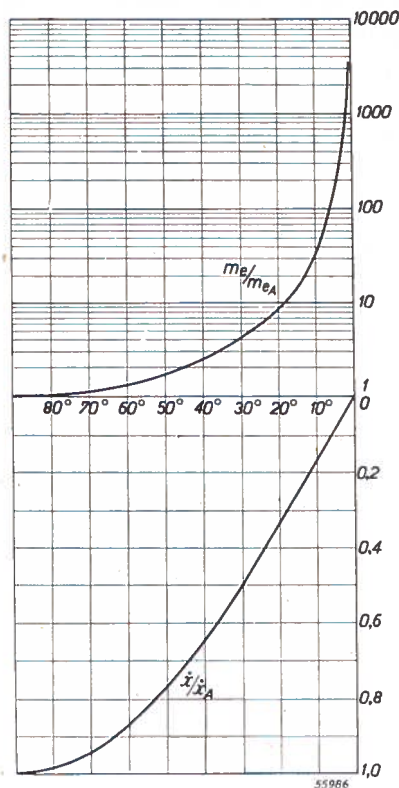


Fig. 10. Relatieve effectieve massa en trillingsintensiteit tussen buik- en knoopplaat-
sen als functie van de relatieve afstand van
een trillingsknoop.

Verticale as, boven: Verhouding tussen
effectieve massa m_e en minimale effectieve
massa m_{eA} (logarithmische schaal).

Verticale as, beneden: Verhouding tussen
trillingsintensiteit $\dot{x}$ en maximale trillings-
intensiteit $\dot{x}_A$ bij een veronderstelde sinus-
vormige intensiteitsverdeling (lineaire
schaal).

Gezamenlijke horizontale as: Afstand
tussen trillingsbuik (rechts) en trillings-
knoop (links), verdeeld in 90 graden.

zijn. Men moet namelijk niet ver-
geten dat aan het object noodzake-
lijkerwijze de dempingsweerstand
van de excitator, en eventueel ook
die van de detector, wordt toege-
voegd, zodat, indien deze toevoeging
niet mag worden verwaarloosd, de
trillingssterkte kleiner zal zijn dan
volgens (4a) wordt berekend.

De gecorrigeerde uitdrukking voor
de trillingssnelheid moet dus luiden:

$$\hat{x}_0 = \frac{\hat{F}}{\delta \omega_0 m_e + r_{\text{ext}}} \text{ cm/sec,} \quad (6)$$

waarin $\hat{F}$ in dynes en r_{ext} de uitwendige verliesweerstand in dyne/cm/sec.
Voor de weerstand van de instrumenten zelf werd in Electronisch Meten 2,
Nr. 1 125 dyne/cm/sec opgegeven. Hier kan nog wat electrodynamische
damping als gevolg van eindige generatorweerstand (blz. 6 en 7 van
het genoemde nummer) bijkomen, mogelijk ook enig verlies in het over-
gangscontact tussen object en contactpunt, in het bijzonder bij gebruik
van het plastieken opzetstukje.

Ten slotte kan er ook, via de veren over de vaste bevestiging van het
instrument aan een statief, een klein energieverlies optreden. Rekent men
voor deze toevoegingen ruwweg met in totaal een 1000 à 2000 dyne/cm/sec,
dan zal men dus bij de gevoeligheidsbeschouwing hiermee rekening moeten
houden, indien $\delta \omega_0 m_e$ kleiner zou zijn dan omstreeks 10 000 dyne/cm/sec.
In deze gevallen van geringe totale weerstand zal echter reeds bij zeer
kleine wisselkrachten een zo grote snelheid op de buikplaatsen worden
ontwikkeld, ten minste bij frequenties beneden de contactresonantie,
dat gevoeligheidsverlies eigenlijk een kwestie van ondergeschikt belang is.
Werkelijk noodzakelijk wordt het vermijden van de genoemde extra ver-
liesweerstand eerst, als de meting tot eigenlijk doel heeft de verlieshoek
van het materiaalmonster te meten.

In zo'n geval is het geboden de excitator en de detector dichter bij een

knoopplaats aan te brengen. Uit de gemakkelijk af te leiden betrekking

$$\frac{\Delta \delta}{\delta} = \frac{r_{\text{ext}}}{\delta \omega_0 m_e}, \quad (7)$$

waarin $\Delta \delta$ de verandering in dempingscoëfficiënt is, is direct na te gaan hoe groot m_e wel moet worden, wil men $\frac{\Delta \delta}{\delta}$ een aannemelijke waarde geven, van bijvoorbeeld enkele procenten.

Als eerste richtlijn bij het kiezen van een betere plaats voor de instrumenten, kan het feit dienen, dat het *verloop in trillingsintensiteit tussen twee knoopplaatsen*, bij objecten van constante dikte (balken of platen), in het algemeen bij goede benadering door een halve sinuskrumme wordt beschreven; tussen het vrije uiteinde van een *longitudinaal* trillende staaf en de dichtstbijzijnde knoop, is het een kwart van een sinuskrumme. Onder gebruikmaking van verg. (5) en een sinustafel, werd fig. 10 verkregen, welke geldig is voor bovengenoemde gevallen. Op bijv. $1/9 (= 10^\circ)$ van de totale afstand tussen een buik en een knoop (deze afstand = 90° gesteld), is de relatieve amplitude gedaald tot $0,174 = 1/5,75$ van haar waarde ter plaatse van de buik. De effectieve massa is er echter $(5,75)^2 = 33$ maal groter dan die op de buikplaats.

De vermindering in absolute trillingsintensiteit, gerekend ten opzichte van die welke men verkrijgt als de excitator op de optimale buikplaats wordt gezet, zal in de aangenomen nieuwe positie kleiner kunnen zijn dan deze factor 33, daar inmiddels de verhouding $r_{\text{ext}}/\delta \omega_0 m_e$ gunstiger is geworden. Het is niet alleen om de dempingscoëfficiënt van het object niet ongunstig te beïnvloeden, dat men vaak de instrumenten dicht bij een knoop zal aanbrengen. Gaat het namelijk om een zo nauwkeurig mogelijke bepaling van de eigenfrequentie(s) van een object, dan moet men rekening houden met het feit dat aan de effectieve massa m_e van het object, de massa van het beweeglijke systeem der instrumenten wordt toegevoegd (Electronisch Meten 2, Nr. 1, blz. 3 — 4).

Voor kleine verhoudingen tussen de toegevoegde massa (m_{ext}) en de effectieve objectmassa m_e , nl. kleiner dan bijv. $1/25$, geldt de eenvoudige betrekking :

$$\Delta f/f_0 = \frac{1}{2} \frac{m_{\text{ext}}}{m_e}, \quad (8)$$

waarin Δf de verstemming in p/s is en f_0 de werkelijke eigenfrequentie in p/s. Een toegevoegde massa m_{ext} van 10 gram zal dus bijvoorbeeld een verstemming geven van 1 %, indien het object ter plaatse een effectieve massa m_e van 500 gram heeft.

Het werken met dicht bij trillingsknopen geplaatste instrumenten brengt vanzelf mede, dat in gevallen waar $\Delta \delta$ en Δf klein moeten worden gehouden, de trillingsintensiteiten vrij klein zijn. Gezien echter de grote gevoeligheid van de trillingsopnemer GM 5526 als detector, en de eveneens hoge spanningsgevoeligheid van de als spanningsindicator bij het onderzoek aan te bevelen oscillograaf GM 3156 en/of versterker-voltmeter GM 4132, behoeft men niet te vrezen hierop vlug vast te lopen. Ter illustratie een klein rekenvoorbeeld :

Een snelheidsamplitude van 0,01 cm/sec geeft 3 mV topspanning; dit is met de oscillograaf GM 3156, zowel als met de buisvoltmeter GM 4132, uitstekend te meten. Stel $\hat{F} = 50\,000$ dyne, de Q van het object = bijv. 1000, en $\omega_0 = 2\pi f_0$ eveneens 1000. Verg. (4a) zegt ons dan, dat de aangenomen snelheidsamplitude van 0,01 cm/sec zal optreden als het object op de plaats van excitatie een effectieve massa heeft van $5 \cdot 10^6$ gram = 5000 kg.

Een handige vuistregel voor het frequentiegebied tot ca. 1000 p/s

Met de combinatie GM 5526, GM 5522 (amplitude-meetapparaat) en de oscillograaf GM 3156 of de buisvoltmeter GM 4132, kan men ook versnellingen meten bij frequenties beneden ca. 1000 p/s, en wel versnellingsamplituden van 100 cm/sec² en groter. Ziet men nu even naar verg. (4b), dan blijkt, indien wij voor $\hat{F}$ de hoogste te bereiken waarde van, ruw genomen, 10^6 dyne invullen, dat de effectieve massa in grammen max. 1000 Q mag bedragen. Met andere woorden :

„INDIEN DE EFFECTIEVE MASSA VAN ENIG OBJECT, UITGEDRUKT IN KILOGRAMMEN, GELIJK AAN OF KLEINER IS DAN DE KWALITEITSFACTOR Q , IS HET OBJECT MET DE GENOEMDE APPARATUUR ZONDER TWIJFEL OP EIGENFREQUENTIES MEETBAAR” ⁶⁾.

In verband met de beperking van het frequentiegebied zij nog opgemerkt, dat bij alle tot dusverre gegeven formules, opslingerings- en verzwakkingseffecten in de nabijheid van, resp. boven de in Electronisch Meten 2, Nr. 1 blz. 4 genoemde contactresonantiefrequentie (3000 à 4000 p/s), buiten beschouwing zijn gelaten. In een later artikel zal worden gehandeld over metingen bij zeer hoge frequenties.

Een voorbeeld uit de praktijk

Een overtuigend voorbeeld van de mogelijkheid met kleine wisselkrachten grote objecten te onderzoeken, wordt gegeven door de meetresultaten aan een 1000 kg wegende bronzen kerkklok (zie fig. 11).

Het onderzoek naar de correcte frequentieverhoudingen tussen de verschillende eigenresonanties en het zo nodig corrigeren daarvan door uitdraaien van metaal op de juiste plaatsen (fig. 12), is noodzakelijk om een melodieuze klank te verzekeren.

De klokkengieterij B. Eijsbouts te Asten, Noord-Brabant, tot wier dagelijks werk dit stemmen van klokken behoort, was zo welwillend ons in staat te stellen enige metingen te doen.

Gevonden werd o.a. dat de „ Q ” van alle klokken, groot en klein, indien

⁶⁾ Uit het aan het einde van de voorgaande paragraaf gegeven rekenvoorbeeld blijkt dat, in geval men de trillingssnelheid meet, ook nog wel objecten met een grotere massa dan die welke men met behulp van de vuistregel vindt, op eigenfrequenties kunnen worden onderzocht. De grootste gevoeligheid wordt steeds verkregen bij de *snelheidsmetingen* (vgl. blz. 19, „Keuze der bewegingsfunctie”).

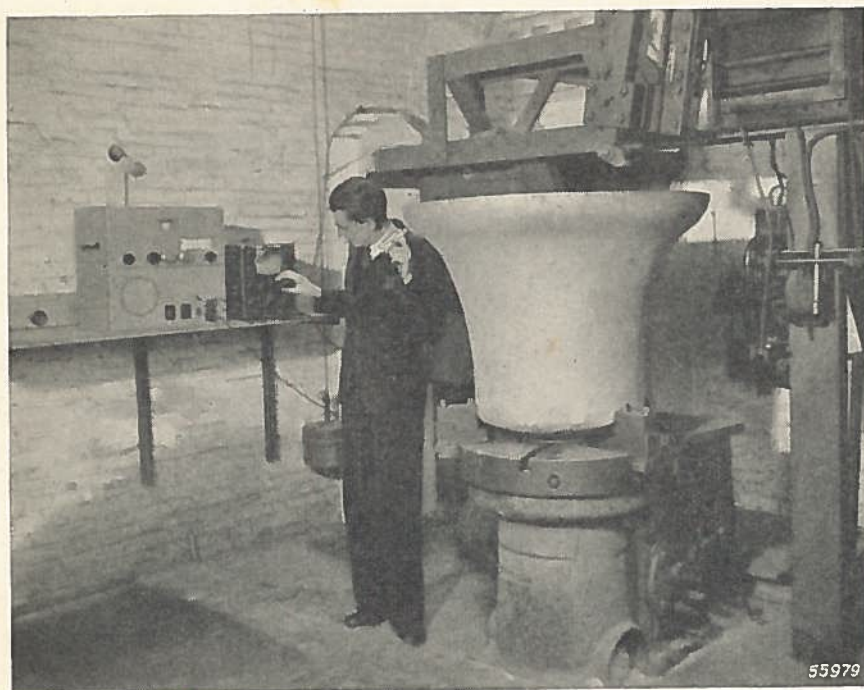


Fig. 11. Onderzoek van een 1000 kg wegende luidklok bij de firma B. Eijsbouts te Asten, Noord-Brabant, op eigenfrequentie.

zij — zoals de foto toont — op de kroon zijn opgesteld, op, ruw genomen, 3000 kan worden gesteld. De minimale effectieve massa voor de twee laagste eigenfrequenties werd bij klokken van verschillende grootte bepaald op 0,4 m_t. Verwacht werd, dat de z.g. onderoctaaf of bromtoon, dit is de laagste eigenfrequentie, bij de 1000 kg klok nog met een maximale snelheid van ca. 0,3 cm/sec zou doorkomen, als werd geëxciteerd met 40 000 dyne. Genoemde eigenfrequentie bedroeg 163 p/s (d.i. een e toon), $\omega_0 \approx 1000$. De uit verg. (4a) berekende snelheid werd inderdaad verkregen. Een lichaam dat bij acoustische frequentie trilt met een snelheid van 0,3 cm/sec aan zijn oppervlak, geeft een goed hoorbare toon. Ook alle belangrijke boventonen van deze klok konden zonder moeite met voldoende sterkte worden geëxciteerd.

Modellen op schaal

Onze gevoeligheidsbeschouwing zou onvolledig zijn, indien niets werd gezegd over metingen aan *modellen op schaal*. Om verschillende redenen kan het gewenst zijn in het ontwerpstadium van grote kostbare constructies verkleinde modellen te maken, waaraan men volgens de evenredigheids-wetten eigenschappen kan onderzoeken die voor berekening moeilijk of niet vatbaar zijn. Zulke modellen zijn niet alleen minder duur, doch kunnen, als het om trillingseigenschappen gaat, met veel kleinere krachten worden

onderzocht, voor een deel ook omdat men in het laboratorium storende omgevingstrillingen kan vermijden.

Ook voor het snel omrekenen van bekende betrekkingen voor een reeds onderzocht proefobject, tot die welke bij overgang naar een vergrote of verkleinde uitvoering daarvan te verwachten zijn, kunnen de hier volgende omrekeningsformuletjes dienstig zijn.

Lord Rayleigh ⁷⁾ leerde reeds dat de verhouding der overeenkomstige eigenfrequenties van gelijkvormige lichamen die alleen in afmetingen verschillen, het omgekeerde is van de verhouding tussen twee overeenkomstige afmetingen.

Volume en massa met de derde macht van de lineaire afmetingen evenredig zijnde, zal, voor een gegeven trillingsvorm, de frequentieverhouding van twee gelijkvormige massa's uit gelijk materiaal zijn:

$$f_a/f_b = (m_b/m_a)^{\frac{1}{3}}. \quad (9)$$



Fig. 12. Het uitdraaien van een klok ten einde de correcte verhouding tussen de verschillende eigenresonanties te verkrijgen (foto genomen bij de firma Eijsbouts).

⁷⁾ Lord Rayleigh: The Theory of Sound, Vol. II, par. 381, blz. 429, 2nd Edition 1945, Dover Publications New York.

Daar verder, voor overeenkomstige posities, de verhouding tussen de effectieve massa en de totale massa gelijk is, en de verlieshoek weinig afhankelijk is van afmetingen en frequentie, volgt uit de combinatie van verg. (9) met verg. (4a), dat de krachten die nodig zijn voor het opwekken van *gelijke snelheid* zich ongeveer zullen verhouden als:

$$\hat{F}_a/\hat{F}_b \approx (m_a/m_b)^{2/3} (\hat{x} = \text{constant}). \quad (10a)$$

Bij een massaverhouding $\frac{m_a}{m_b} = 1 : 1000$, verhouden gelijksoortige eigen-

frequenties f_a/f_b zich dus als $10 : 1$, en is de krachtenverhouding $\hat{F}_a/\hat{F}_b$ voor *gelijke snelheid*, bij excitatie op overeenkomstige plaatsen, ca. $1 : 100$. Voor het verkrijgen van *gelijke versnellingen*, resp. *verplaatsingen*, is de krachtenverhouding ongeveer:

$$\hat{F}_a/\hat{F}_b \approx m_a/m_b \text{ (10b), resp. } \hat{F}_a/\hat{F}_b \approx (m_a/m_b)^{1/3}. \quad (10c)$$

Uit de overweging dat, bij onveranderde elastische constanten, trillingsvorm en vormverhoudingen, de piekwaarden der *materiaalspanningen* ($\hat{\sigma}$) op overeenkomstige plaatsen gelijk blijven, indien men niet $\hat{x}$ constant houdt, doch $\hat{x}/m^{1/3}$, volgt ten slotte nog dat :

$$\hat{F}_a/\hat{F}_b \approx (m_a/m_b)^{2/3} (\hat{\sigma} = \text{constant}),$$

evenals bij behoud van constante snelheid.

Keuze der bewegingsfunctie

Het antwoord op de vraag of men bij het trillingsonderzoek in het algemeen het best doet *snelheid*, *versnelling* of *verplaatsing* te meten, is niet in enkele woorden te geven. Daar bij de bewerkingen differentiatie of integratie, die in het *amplitudemeteapparaat* GM 5522 elektrisch tot stand komen, spanning verloren gaat, is de uitgangsspanning voor een gegeven trilling van willekeurige frequentie bij onze apparatuur altijd het grootst voor de *snelheidsmeting*. De snelheidsmeting is dus gewenst, indien de trillingen zeer zwak zijn. Snelheid zal men ook meten ter bepaling, overeenkomstig verg. (1), van de grootte van een mechanische impedantie. Meting van de *versnelling* komt in aanmerking voor sommige gevallen van krachtenberekening, alsook indien sterke storende omgevingstrillingen, meestal van lage frequentie, aanwezig zijn terwijl hogere frequenties worden gemeten. Op blz. 12 werd voor de versnellingsamplitude in resonantie reeds opgegeven :

$$\hat{x}_o = (j) \frac{\hat{F}}{\delta m_e} \text{ cm/sec}^2.$$

Deze uitdrukking heeft voordelen als men niets weet omtrent de grootte van enige eigenfrequentie (zie de vuistregel op blz. 16), en kan ook te pas

komen indien men de *klepper-grens* vooruit wenst te bepalen (vergelijk Electronisch Meten 2, Nr. 1, blz. 8 - 9).

Het werken in de schakelstand „versnelling” van het amplitudemeetapparaat is verder aan te bevelen als de opnemer GM 5526 niet in een statief is gemonteerd, doch in de hand wordt gehouden, voor bijv. het aftasten van een object naar de plaatsen waar zich trillingsknopen en -buiken bevinden. Storende invloed van onwillekeurige handbewegingen op de uitgangsspanning wordt daardoor vermeden.

Verplaatsingsmetingen ten slotte kunnen in het bijzonder van belang zijn bij bestudering van de mechanische spanningen in het meetobject. De integratiemogelijkheid van het apparaat GM 5522 kan ook worden benut als men bij een niet-sinusvormige trilling de verhoudingen tussen de sterkten van trillingen met de grondfrequentie en trillingen met harmonische frequenties wenst te verbeteren.

De gevoeligheid van de combinatie van de GM 5526 en de GM 5522 bedraagt voor snelheidsmetingen 200 millivolt per cm/sec en voor versnellingsmetingen 1 millivolt per 100 cm/sec². In de integratiestand voor frequenties „ > 1 p/s”, is de verplaatsingsgevoeligheid 1 mV per 10^{-3} cm ($= 10 \mu$), in die voor frequenties „ > 10 p/s” 1 mV per 10^{-4} cm ($= 1 \mu$). Met het instrument GM 8010 als opnemer gebruikt, worden 3,02 maal kleinere spanningen verkregen.

INHOUD

Electronische beveiligingsinstallatie voor kolenmaalinrichtingen —
Het gebruik van de trillingsopnemer GM 5526 bij het dynamisch onderzoek.

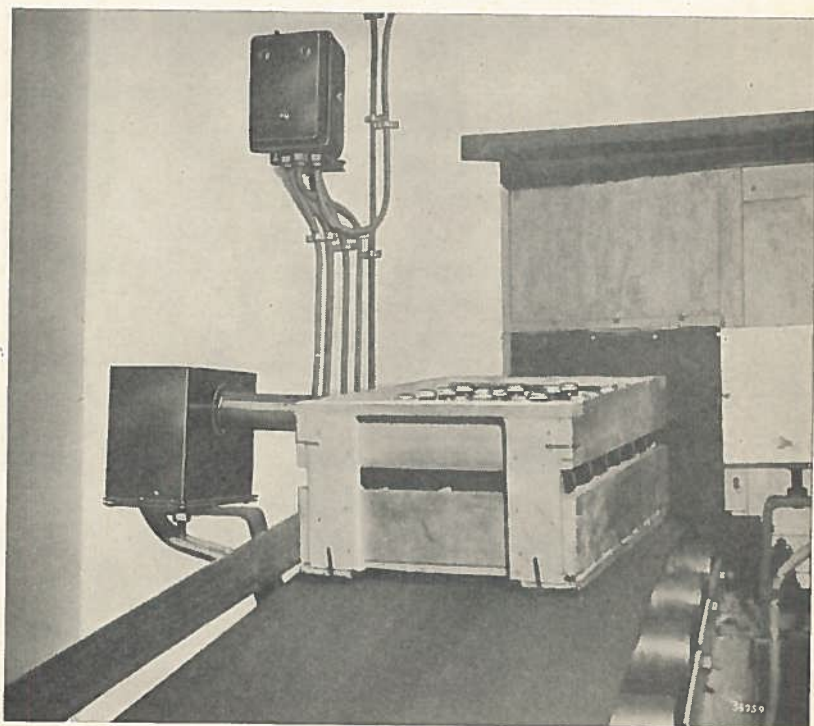
ELECTRONISCH METEN

DE TOEPASSING DER MODERNE
ELECTRONISCHE MEETAPPARATEN
IN LABORATORIA EN BEDRIJVEN



AARGANG 2

NUMMER 9



*In de bierbrouwerij van
Haecht (België) worden bier-
kisten geteld met behulp van
het Philips electronisch relais
GM 4801.*

INDUSTRIËLE TOEPASSING VAN ELECTRONISCHE SCHAKELAPPARATUUR

Het Philips electronisch relais GM 4801 in combinatie met een schijnwerper en een foto-electrische cel wordt in industrieën veel gebruikt voor het tellen in snel tempo van het aantal producten, zakken, pakjes enz., en biedt ten opzichte van mechanische telinrichtingen aanzienlijke voordelen. In dit nummer bespreken wij het gebruik van dit apparaat in een bierbrouwerij.

Verder worden metingen beschreven van mechanische spanningen welke bij breken van de draad optreden in de ijzeren steunconstructies van de bovenleidingen van het elektrische spoorwegnet. Zulke metingen werden verricht met behulp van Philips rekstrookjes en bijbehorende apparatuur, in samenwerking met de Nederlandse Spoorwegen.

EEN TELINRICHTING IN DE BIERBROUWERIJ VAN HAECHT

Mededeling van Philips Belgische N.V. te Brussel.

In een groot aantal industrieën heeft men te maken met het vraagstuk van het tellen van zeer verschillende voorwerpen. Dit vraagstuk werpt zich op met het oog op het verkrijgen van statistieken van de productie of het uitoefenen van een doorlopende contrôle — waarbij geen personeel te pas komt — op het aantal producten, zakken, pakjes enz., dat een bepaalde plaats van een onderneming voorbijgaat.

Mechanische inrichtingen voor zulke doeleinden werken niet steeds bevredigend; ze haperen nog wel eens, daar de constructie veelal ingewikkeld en gevoelig voor storingen is. Daarom ook zal men ze gedurig moeten controleren en onderhouden.

Men heeft bij de steeds meer om zich heen grijpende toepassing van electronische apparaten in de industrie ook gedacht aan het tellen met behulp van foto-electrische cellen. Deze wijze van tellen biedt het dubbele voordeel van een grote gevoeligheid, waarbij het gewicht van de voorwerpen geen rol speelt, en van een groot aanpassingsvermogen van de installatie. Het is namelijk mogelijk op vele plaatsen foto-electrische cellen op te stellen, zo nodig op een zekere afstand van de weg welke de te tellen voorwerpen volgen, en de tellers zelf te plaatsen waar zulks het meest convenieert of waar de supervisie van de productie het meest gewenst is. Philips heeft voor het foto-electrisch tellen een uitrusting samengesteld die bestaat uit een electronisch relais GM 4801 en een tellereenheid. Deze laatste bevat het telmechanisme alsmede een versterker en een foto-electrische cel. Deze apparatuur voldoet volkomen voor het oplossen van talloze telvraagstukken in de industrie. O.a. werd zij met succes geïnstal-

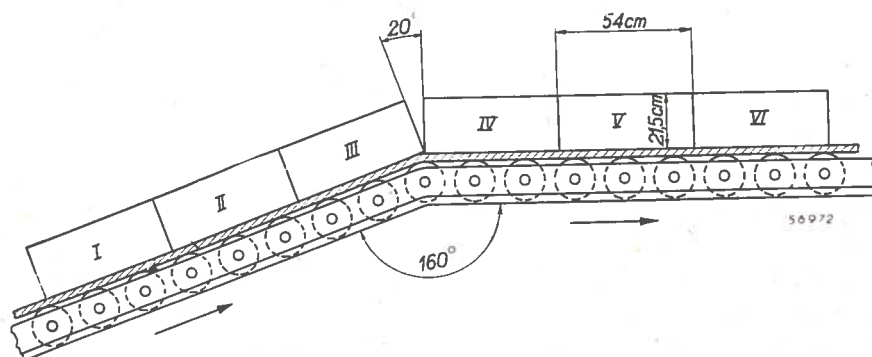


Fig. 1. Schematische voorstelling van een transportband met een knik van 160° waarop bierkisten de bottelarij van een bierbrouwerij verlaten. I VI zijn de bierkisten.

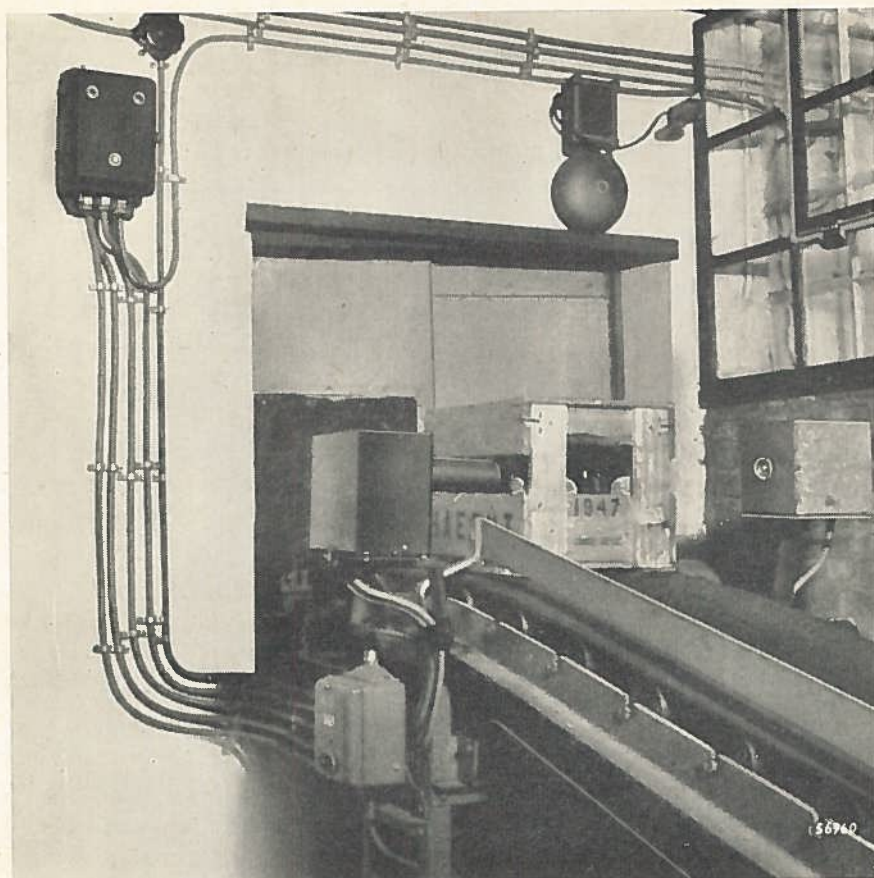


Fig. 2. De installatie van het Philips electronisch relais GM 4801 (links boven) aan de wand, met de fotocelkast en de schijnwerper voor het tellen van bierkisten welke op een transportband de bottelarij verlaten.

leerd in de bierbrouwerij van Haecht (België), waar zij dient voor het tellen en registreren van de kisten met flessen bier die via een transportband op rollen de bottelarij verlaten. Aanvankelijk had men te kampen met de moeilijkheid dat de kisten dikwijls in dergelijke aantallen passeerden, dat zij een aaneengesloten rij op de transportband vormden. Om echter met behulp van een gerichte lichtstraal en een foto-electrische cel te kunnen tellen, moet na ieder passerend voorwerp dat de lichtstraal onderbreekt, de belichting van de fotocel worden hersteld, ten einde een opeenvolging van impulsen te verkrijgen. Als dus de kisten in een gesloten rij het lokaal van de bottelarij verlieten, kon er uiteraard geen sprake zijn van een belichting van de fotocel tussen twee opeenvolgende kisten.

De oplossing werd gevonden door een knik van 160° in de transportband te brengen (zie fig. 1). Hierdoor ontstaat tussen de verticale wanden van twee opeenvolgende kisten, indien deze aansluiten, een opening van 20° op het ogenblik dat de ene kist de knik bereikt en de andere er juist geheel overheen is. Plaatst men de fotocel en de schijnwerper zodanig, dat de licht-

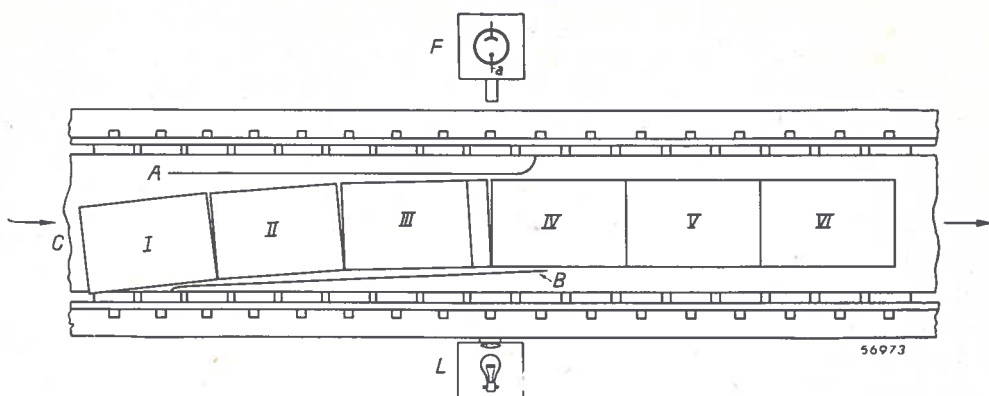


Fig. 3. Schematische voorstelling van de transportband met bierkisten, gezien van boven. De ijzeren banden A en B dienen om eventueel bij C scheef aankomende kisten in de juiste richting op de transportband te schuiven.

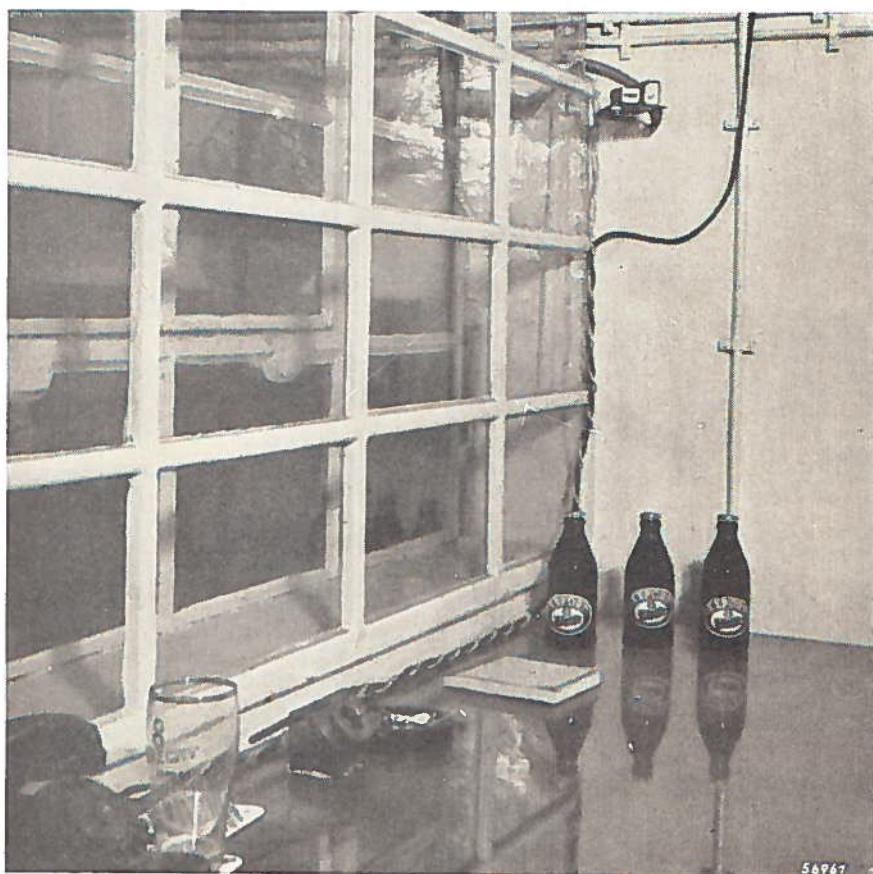


Fig. 4. Het telmechanisme in het bureau van de chef van de bottelarij (boven aan de wand).

bundel door deze opening de fotocel beschijnt, dan heeft men gedurende het lopen van de transportband een periodieke belichting van de fotocel verkregen. De normale snelheid van de transportband is 0,25 m per seconde. De lengte van de kisten is 54 cm en de hoogte 21,5 cm.

Op deze hoogte, en bij de gegeven snelheid van de transportband en de hoek van 20° tussen de verticale wanden van twee opeenvolgende kisten, heeft een belichting van de fotocel telkens gedurende ongeveer 0,25 seconde plaats. Deze duur is voldoende voor het exciteren van het relais en het telmechanisme. De telfrequentie is daarbij 28 per minuut. Fig. 2 toont de installatie van het elektronisch relais GM 4801 met de schijnwerper en de fotocelkast bij de transportband die de kisten van de bottelarij afvoert. Om te vermijden dat de kisten zich scheef op de transportband bevinden en daardoor de lichtstraal toch onderbroken kunnen houden, werden twee vlakke ijzeren banden A en B (zie fig. 3) aangebracht, die de kisten in de juiste richting op de transportband schuiven. Bij het passeren van de knik in de transportband liggen de kisten zuiver in de richting van de beweging van de transportband.

De viertallige teller werd in het bureau van de chef van de bottelarij geplaatst (zie fig. 4). Het aanbrengen van het telmechanisme op een bepaalde afstand van de plaats waar de voorwerpen passeren is in de praktijk alleen mogelijk met een elektrische sturing van de teller; dit is een van de belangrijke voordelen die een elektrische installatie biedt t.o.v. een mechanische inrichting.

PHILIPS TECHNISCH TIJDSCHRIFT

HET METEN VAN LENGTEVERANDERINGEN MET BEHULP VAN REKSTROOKJES, door A. L. BIERMASZ en H. HOEKSTRA

Jaargang 11, Nr. 1, Januari 1948, blz. 23—31.

De auteurs geven een overzicht van het principe, de voordelen, de uitvoeringsvormen en het gebruik van rekstrookjes, alsmede een beschrijving van de principes en uitvoeringsvormen van meetapparaten, te gebruiken in combinatie met de rekstrookjes. Deze meetapparaten zijn o.a. een meetbrug voor statische en dynamische belasting, type GM 5536, en een meetbrug voor statische belasting GM 4571. Ook worden de mogelijkheden van het gebruik van Philips kathodestraaloscillografen bij het onderzoek van rek in materialen aangegeven. Er wordt een paragraaf gewijd aan de diverse toepassingsmogelijkheden, waarbij als voorbeelden worden genoemd de in samenwerking met de Nederlandse Spoorwegen uitgevoerde metingen aan portalen van het elektrische bovenleidingnet. Dit onderwerp wordt eveneens en wat uitvoeriger op de hier volgende bladzijden behandeld.

Het artikel van Biermasz en Hoekstra geeft in sommige opzichten een waardevolle aanvulling van de door „Electronisch Meten” verstrekte gegevens en verdient de volle aandacht.

ONDERZOEKINGEN, MET BEHULP VAN REKSTROOKJES, VAN IN EEN STAALCONSTRUCTIE OPTREDENDE MECHANISCHE SPANNINGEN

door Ir. A. L. Biermasz, Eindhoven

Inleiding

In samenwerking met de Nederlandse Spoorwegen werden enige proeven uitgevoerd aan ijzeren draagconstructies van de elektrische bovenleiding van het spoorwegnet. De elektrische treinen van de Nederlandse Spoorwegen worden gevoed met gelijkstroom op een spanning van 1500 volt. De bovenleiding of „rijdraad” bestaat voor iedere baan uit twee op een afstand van ongeveer 10 cm parallel lopende koperen draden, welke hangen aan een draagkabel; het geheel wordt ondersteund door constructies van ijzer of gewapend beton, portalen genoemd. Deze bevinden zich op onderlinge afstanden van 60 à 70 meter. De ijzeren portalen bestaan uit twee verticale, in beton gefundeerde differdinger balken (dubbele T-balken) met een lengte van ongeveer 8 m, welke aan de bovenzijde zijn verbonden met een dwarsbalk. Aan deze dwarsbalk zijn door middel van isolatoren de twee draagkabels van de rijdraden van het dubbelspoor opgehangen

(zie fig. 1) en hieraan zijn tevens, in de nabijheid van de verticale balken, de voedingsdraden van de rijdraden door middel van isolatoren bevestigd (deze dienen om het spanningsverval in de rijdraad te verminderen). De rijdraden worden op regelmatige afstanden door middel van gewichten zodanig gespannen gehouden, dat ze vlak blijven, ook als bij het passeren van een trein de stroomafnemers er van onderen tegen aan drukken.

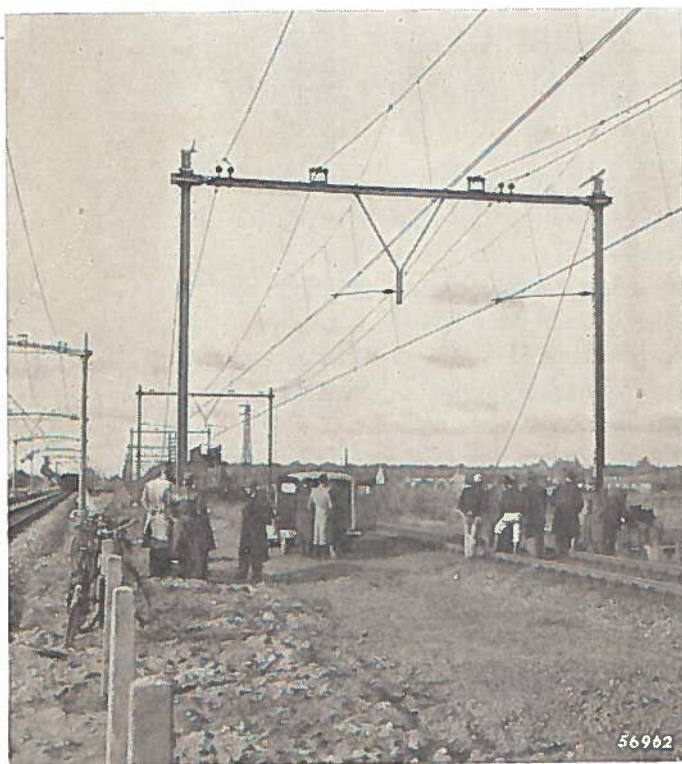


Fig. 1. Overzicht van de spoorbaan in afbraak, met bovenleiding en portalen, aan de balken waarvan spanningsmetingen werden verricht.

Doel van de metingen

Het interesseerde de technici van de Nederlandse Spoorwegen te weten welke krachten optreden in de draagconstructies van de bovenleiding, indien zich een breuk voordoet in een draagkabel, een stel rijdraden of in allebei tegelijk. Een dergelijke breuk komt weliswaar zelden voor, maar behoort toch tot de mogelijkheden waarmee moet worden gerekend. Zij kan o.a. optreden door blikseminslag.

Daar, wegens het nieuwe stadsplan door Eindhoven, een verhoogde spoorbaan zal worden gelegd, moest een tijdelijke spoorbaan worden aangelegd naast de tot dusver gebruikte. Van die gelegenheid werd gebruik gemaakt voor het verrichten van metingen van mechanische spanningen welke bij draadbreek optreden in de verticale draagbalken van de portalen van de nog niet opgeruimde oude spoorbaan. Voor dergelijke metingen beschikken de technici van de Nederlandse Spoorwegen reeds over mechanische meetinstrumenten, zogenaamde „Ockhuysen” meters, als zijn weergegeven in de fig. 2 en 7, over „theodolieten” en over een mechano-electrische meetapparatuur die bestaat uit een capacatieve opnemer met draaggolfversterker en -detector en een Philips oscillograaf. Het doel van de metingen was nu tevens de meetmethoden van de Nederlandse Spoor-

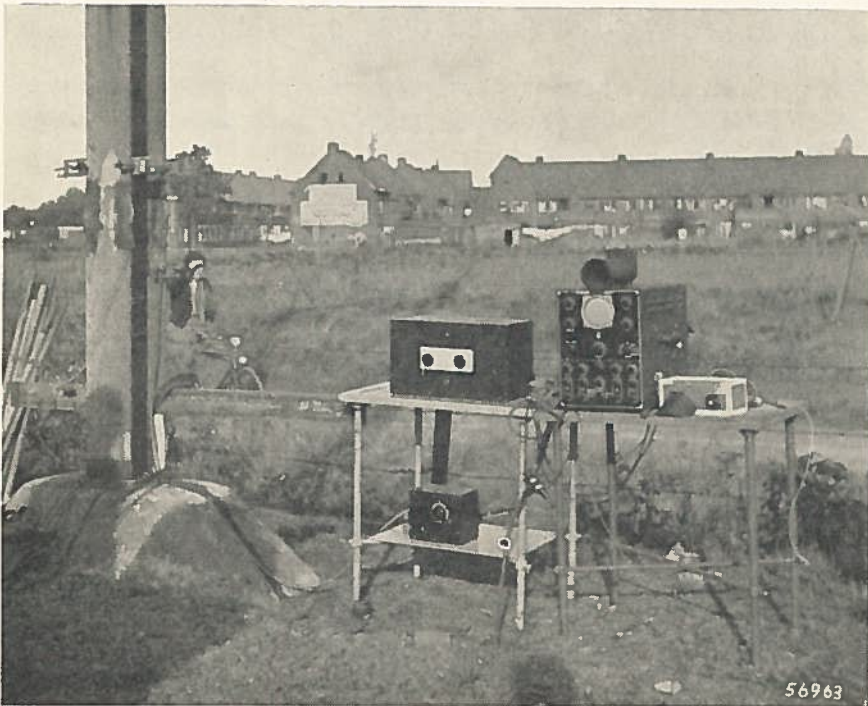


Fig. 2. De draaggolfapparatuur van de Nederlandse Spoorwegen, met een Philips kathodestraaloscillograaf. Aan de draagbalk van het portaal ziet men mechanische „Ockhuysen” rekmeters bevestigd.



Fig. 3. Het bevestigen van een rekstrookje (links) op een vlakgevijld rand van een dubbele T-balk.

wegen te vergelijken met de nieuwe Philips meetmethode met behulp van rekstrookjes en bijbehorende apparatuur, welke ten opzichte van de tot dusver gevolgde werkwijze grote voordelen biedt.

De in een verticale balk optredende maximale spanning kan slechts goed worden bepaald door meting. Daartoe werden, naast de andere meetinstrumenten, op de plaatsen van de verticale portaalbalken waar een grote spanningsverandering ten gevolge van draadbreek is te verwachten, rekstrookjes aangebracht.

Volgens het artikel in *Electronisch Meten* 2, Nr. 7, bedraagt de evenredig-

heidsconstante of ijkfactor $k = \frac{\Delta R/R}{\Delta l/l}$ van de rekstrookjes ongeveer 2,1.

Willen wij de spanningsverandering ΔS weten, die in een differdinger balk door draadbreek wordt veroorzaakt op de plaats waar het rekstrookje is bevestigd, dan volgt deze uit:

$$\Delta S = E \frac{\Delta l}{l} = \frac{E}{k} \cdot \frac{\Delta R}{R},$$

waarin E de elasticiteitsmodulus van staal voorstelt, welke ongeveer gelijk is aan $2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$.

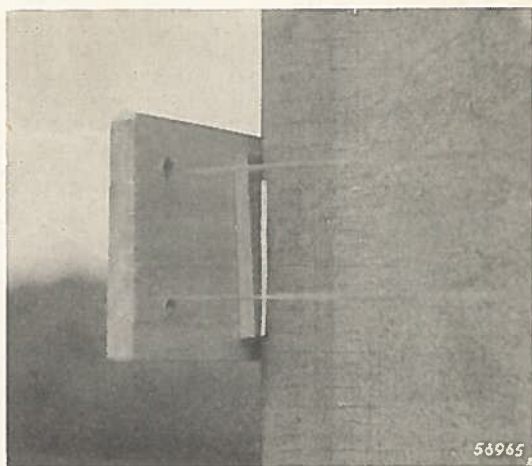
Op de plaats waar het rekstrookje zal worden aangebracht moeten de zijkanten van de balk goed vlak zijn gevijld (zie foto fig. 3).

Hierna wordt op de paal een lijmlaag, de zogenaamde prepareerlaag, aangebracht; bij voorkeur gebruikt men hiervoor de speciale lijm GM 4479; ten slotte wordt het rekstrookje opgeplakt. Er moet vooral voor worden gezorgd, dat er tijdens het opplakken geen luchtblaasjes onder de rekstrookjes ontstaan.

In fig. 4 zien wij de wijze van drogen van de gelijmde strookjes; een rubberkussentje verdeelt de druk gelijkmatig over het strookje. De drie andere rekstrookjes, die gelijktijdig op dezelfde hoogte op de zijkanten van de paal drogen, zijn op deze foto niet te zien.

Daar de metingen pas enige dagen na het bevestigen van de rekstrookjes zouden geschieden en met slechte weersomstandigheden moest worden rekening gehouden, werd een speciale vochtafdichting voor de strookjes

Fig. 4. Een rekstrookje dat met behulp van een rubberkussentje tegen de rand van de balk wordt aangedrukt gehouden gedurende de tijd dat de lijm moet drogen.



aangebracht. Op de foto fig. 5 is te zien, hoe over het strookje heen een rubber vlies op de paal is vastgelijmd. Het grote voordeel van deze tegen alle weersgesteldheden bestand zijnde afdichting bestaat hierin, dat het nu mogelijk is onder het rubbervlies enige korrels van een droogmiddel aan te brengen.

Hierdoor wordt niet alleen de droogtijd van de lijm zeer bekort, maar zal bovendien eventueel binnendringend vocht direct worden geabsorbeerd, zodat dit geen schadelijke invloed op het rekstrookje kan hebben.

De elektroden van het rekstrookje worden voor het vastplakken van het rubbervlies van de toevoerdraden die door het vlies heensteken, vastgesoldeerd (zie fig. 5).

Philips zal binnenkort rubber afschermkapjes voor rekstrookjes op de markt brengen, welke in zeer verschillende gevallen kunnen worden gebruikt en die zeer goed aan vlakke of flauw gebogen metalen oppervlakken kunnen worden vastgelijmd. In deze kapjes is voldoende ruimte om een droogmiddel aan te brengen.

Een zeer belangrijk punt waarop tijdens de metingen moet worden gelet, is de verandering van de temperatuur. De differdinger balken veranderen daardoor in lengte, en de meting van de weerstand van het rekstrookje geeft dientengevolge een weerstandsverandering aan. Daar de lengteverandering ten gevolge van de verandering van de temperatuur niets

heeft te maken met de spanning in de paal, is het nodig, dat voor een compensatie wordt gezorgd. Wij verkrijgen deze compensatie door gelijktijdig twee tegenover elkaar op één paal geplakte strookjes in de meetbrugschakeling op te nemen.

Het is duidelijk dat, als ten gevolge van de in de inleiding

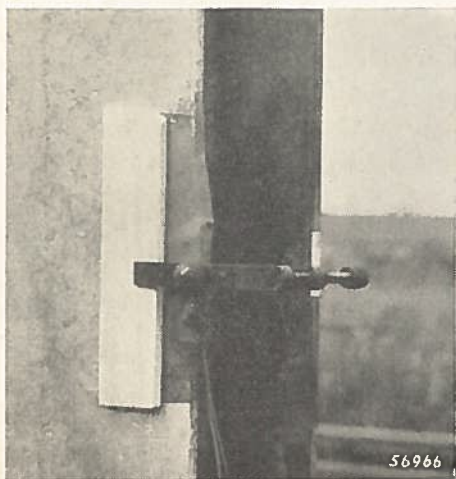


Fig. 5. De bedekking van een rekstrookje met een rubbervlies, ten einde een bescherming tegen de invloed van vocht te verkrijgen.

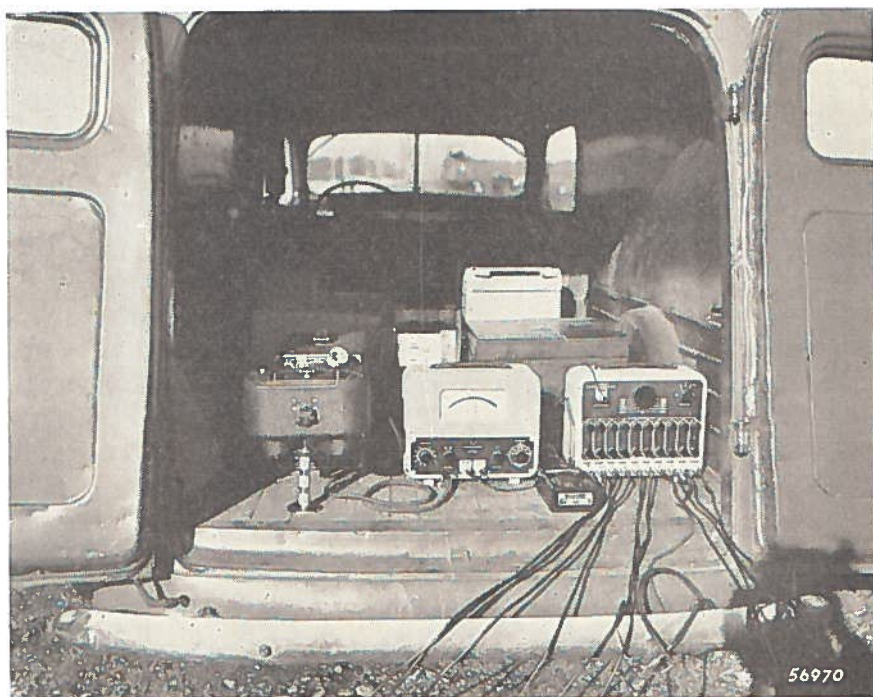


Fig. 6. Onder rubbervliezen aangebrachte compensatierekstrookjes.

genoemde draadbreek, de differdinger balk buigt, het ene strookje langer en het andere korter wordt en dus een dubbele weerstandsverandering ontstaat, terwijl de lengteverandering der strookjes door de temperatuur bij beide dezelfde is en dus niet wordt meegemeten (daar bij een temperatuurverandering de spanningsdeling in de brugschakeling dezelfde blijft). Aan een andere paal werden speciale compensatiestrookjes aangebracht en kon dus op iedere zijkant de spanningsverandering worden gemeten. Op de foto fig. 6 zijn deze compensatiestrookjes goed te zien. Dank zij deze temperatuurcompensatie en goede vochtafdichting is het nu mogelijk geworden ook betrouwbare metingen op lange termijn uit

De foto van fig. 9 toont, behalve de oscillograaf GM 3156, het omschakelapparaat GM 5545 (geheel rechts), het statisch en dynamisch meetapparaat GM 5536 en de Avimo camera waarmee het trillingsverschijnsel werd gefotografeerd.

Hoewel wij in het korte bestek van dit artikel niet uitvoerig op de bereikte meetresultaten kunnen ingaan, hopen wij toch een indruk te hebben gegeven van de wijze waarop statische en dynamische metingen met behulp van rekstrookjes aan staalconstructies moeten worden uitgevoerd om betrouwbare resultaten te verkrijgen.



EEN UNIVERSEEL MEETAPPARAAT VOOR HET CONTROLEREN VAN SPANNINGEN, STROMEN, WEERSTANDEN EN CAPACITEITEN

Bij de steeds veelvuldiger voorkomende toepassingen van met electronen-buizen uitgeruste apparaten in diverse industrieën, bestaat ongetwijfeld de behoefte deze apparaten te kunnen controleren en, zo er technisch personeel aanwezig is met voldoende kennis van deze apparaten, ze in noodgevallen te repareren. Voor dit doel brengt Philips o.a. een universeel meetapparaat, de GM 4257, waarop direct kunnen worden afgelezen gelijk- en wisselspanningen, gelijk- en wisselstromen, weerstands- en capaciteitswaarden.

De gelijk- en wisselspanningen kunnen worden gemeten van 0 tot 500 V in respectievelijk 7 en 6 gebieden, en de gelijk- en wisselstromen van 0 tot 2000 mA in respectievelijk 7 en 4 bereiken. Er zijn 5 capaciteitsmeetgebieden voor waarden van $500 \mu\text{F}$ tot $200 \mu\text{F}$ en 7 weerstandsmeetgebieden voor waarden van 0,5 tot $50 \times 10^6 \text{ ohm}$.

De primaire stroom van het te onderzoeken apparaat kan worden geleverd door het universele meetapparaat. Daartoe zijn op de frontplaat twee klemmen aangebracht. De wisselspanning tussen deze klemmen kan worden ingesteld op 6 waarden, en de aan het te onderzoeken apparaat toegevoerde stroom kan worden gemeten in twee gebieden (de maximale belasting op deze aansluiting is 100 W en mag kortstondig 150 W bedragen).

Een meetgebied wordt, zonder dat vergissingen mogelijk zijn, ingeschakeld, door de vijf pennen van een contactstuk in een rij van vijf boven elkaar geplaatste contactbussen te brengen.

Deze contactbussen zijn op het voorpaneel in zes vakken gegroepeerd. Ieder vak dient voor het meten van een bepaalde grootheid, bijv. gelijkspanning, of voor het meten van een capaciteit, en boven ieder vak is de eenheid van de grootheid, boven iedere verticale rij van contactbussen de eindwaarde van het meetbereik aangegeven.

Het wijzerinstrument is ondergebracht in een afzonderlijke kast, welke met de kast van het hoofdaparaat is verbonden door middel van een veeladerige kabel. Deze aparte kast voor het wijzerinstrument heeft het mogelijk gemaakt een zeer groot instrument te gebruiken, zodar de aflezing op de schalen bijzonder gemakkelijk is. Bovendien kan hierdoor het wijzerinstrument op een goed zichtbare en veilige plaats worden opgesteld en zijn beschadigingen ervan gemakkelijk te vermijden.

Het wijzerinstrument heeft vier schalen: een schaal met een indeling van 0 tot 500, een schaal met een indeling van 0 tot 200, een schaal die is geïjkt in capaciteiten en een schaal geïjkt in weerstanden.

Bijzonder handig is, dat er links van het wijzerinstrument boven elkaar vier signaallampjes zijn aangebracht, die zijn gemerkt „500”, „200”, „R” en „C”. Het oplichten van een dergelijk lampje, dat automatisch geschiedt bij het kiezen van een meetgebied, geeft aan op welke schaal men moet aflezen.



Fig. 1. Het universele meetapparaat GM 4257 en de aparte kast voor het wijzer-instrument met de signaallampjes voor de indicatie van de te gebruiken schaal.

Bij het meten van capaciteiten en weerstanden levert het apparaat zelf de nodige meetspanning, welke kan worden gecontroleerd en op de juiste waarde bijgesteld. Indien het te onderzoeken apparaat wordt gevoed via de GM 4257, wordt bovendien bij deze metingen de primaire stroomtoevoer naar het te onderzoeken apparaat onderbroken, zodat geen spanning staat op onderdelen die worden gemeten.

EEN NIEUWE ELECTRONISCHE SCHAKELAAR, DE PHILIPS GM 4581

Behalve de elektronische schakelaar GM 4580, die voor meer universele toepassing, bijv. in de electrotechniek, werd ontworpen, en waarvoor een grote gevoeligheid van de versterkers niet van primair belang is, brengt Philips nu ook een dergelijk apparaat, speciaal voor het gelijktijdig onderzoek, met behulp van een kathodestraaloscillograaf, van mechanische en acoustische verschijnselen aan de markt. Door de conversie van mechanische verschijnselen in elektrische, met behulp van daarvoor bestemde opnemers, beschikt men in het algemeen over zeer geringe spanningen, veelal van de grootte-orde van enige millivolt. Nu kan men, bijv. door gebruik te maken van de versterker van de oscillograaf GM 3156 als voorversterker voor een der kanalen van de GM 4580, wel de gevoeligheid voor dit kanaal verhogen, maar dan heeft men toch voor het andere kanaal dikwijls een onvoldoende gevoeligheid, tenzij men gebruik maakt van een afzonderlijke versterker voor dit kanaal. Ook zou men voor het registreren van zeer langzame mechanische verschijnselen gaarne het frequentiegebied van de GM 4580 uitgebreid zien tot lagere frequenties. Er bestond dus een zekere behoefte aan een apparaat dat speciaal geschikt is voor mechanische en acoustische onderzoekingen, en daarom werd de nieuwe elektronische schakelaar GM 4581 ontworpen.

De versterkers van dit apparaat hebben een zodanige gevoeligheid, dat nagenoeg alle mechanische onderzoekingen ermede kunnen worden verricht; zij bedraagt voor ieder der kanalen $1 \text{ mV}_{\text{eff}}/\text{cm}$, dit is $2,8 \text{ mV}$ spanningsverandering per cm verplaatsing van het

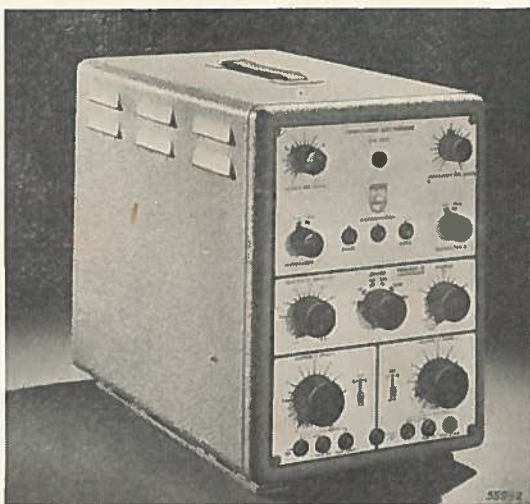


Fig 1. De nieuwe elektronische schakelaar GM 4581 voor het onderzoeken van mechanische en acoustische verschijnselen.

beeldpunt. Het frequentiegebied van de versterkers voor een amplitudegetrouwheid van $\pm 30\%$ is 0,25 — 70 000 Hz, en voor een amplitudegetrouwheid van $\pm 2\%$: 1 — 10 000 Hz. Iedere kanaalingang heeft een vaste verzwakker met een verhouding van 1 : 10 en een continu regelbare verzwakker. Zonder gebruik te maken van de vaste verzwakking is de



Fig. 2 De oscillogrammen van twee verschillende verschijnselen, opgenomen met behulp van de oscillograaf GM 3156 en de elektronische schakelaar GM 4581. Men ziet duidelijk het onderscheid in helderheid van de beide oscillogrammen.

maximale ingangsspanning 500 V en de ingangsweerstand 10 megohm, terwijl bij gebruik van deze verzwakking de maximale ingangsspanning 50 V en de ingangsweerstand 1 megohm bedraagt.

De schakelfrequentie is instelbaar tussen 10 en 40 000 Hz. De ingebouwde multivibrator-generator kan eveneens worden gebruikt als bron voor rechthoekige spanningen.

Dit apparaat biedt het bijzondere voordeel, dat de verhouding tussen de helderheden van de oscillogramlijnen op het scherm van de oscillograaf, behorend bij verschillende verschijnselen,

kan worden geregeld. Hierdoor wordt een contrast bereikt (zie fig. 2), dat het mogelijk maakt dooreenlopende lijnen goed van elkaar te onderscheiden. Deze helderheidsverhouding kan worden ingesteld van 1 : 6 tot 6 : 1.

BOEKAANKONDIGING

Electronenstraaloscillografen en hun toepassingen, door L. Ch. G. van den Berg, leraar aan de Radiotechnische School te Haarlem — Uitgave van J. H. Gottmer, Haarlem-Antwerpen, Fl. 6,50.

Wij ontvingen dit boekje ter inzage van de uitgever. Het is bedoeld als leidraad voor degenen die zich vertrouwd willen maken met de werking van de electronenstraaloscillograaf, en als zodanig zal het velen die in de radio-service werken, behulpzaam kunnen zijn. Ten behoeve van de radioreparatie werd een apart hoofdstuk opgenomen over het gebruik van de oscillograaf in de radio-service. Het werkje zal echter ook zijn nut hebben voor degenen die de kathodestraaloscillograaf voor andere doeleinden dan radio-service nodig hebben.

INHOUD

Een telinrichting in de bierbrouwerij van Haecht — Onderzoek van in een staalconstructie optredende mechanische spanningen met behulp van Philips rekstrookjes — Een universeel meetapparaat voor het controleren van spanningen, stromen, weerstanden en capaciteiten — Een nieuwe elektronische schakelaar, de Philips GM 4581.

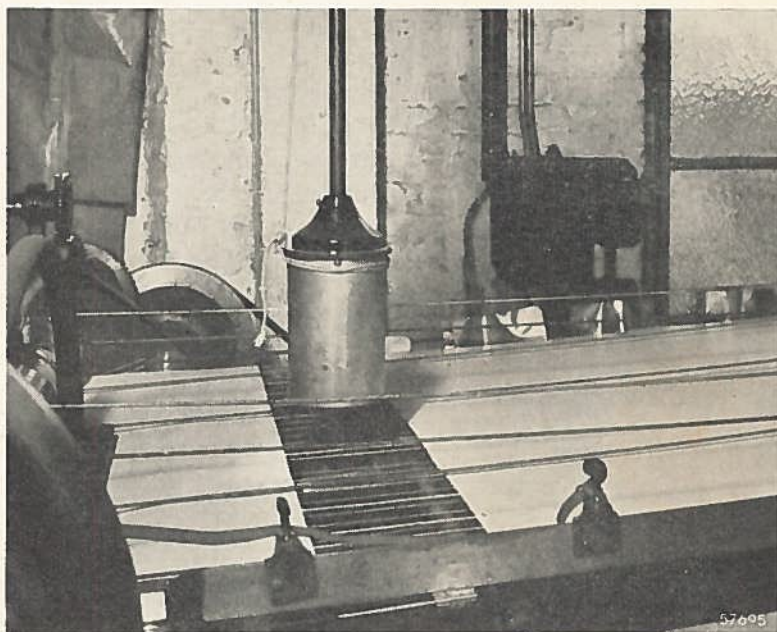
ELECTRONISCH METEN

DE TOEPASSING DER MODERNE
ELECTRONISCHE MEETAPPARATEN
IN LABORATORIA EN BEDRIJVEN



ARGANG 2

NUMMER 10



Overzicht van een inrichting voor het stopzetten van een papierlinieermachine, als twee of meer vellen papier gelijktijdig onder de linieerwals dreigen te komen. Deze inrichting werkt met behulp van een Philips Electronisch Relais GM 4801.

INDUSTRIËLE TOEPASSING VAN ELECTRONISCHE SCHAKEL- APPARATUUR

De veelzijdige toepassingsmogelijkheden van electronische relais en hun accessoires nopen ons nogmaals op het bestaan van deze apparaten te wijzen en in de volgende bladzijden een overzicht te geven van hun principes, hun functie, de samenstelling van de apparatenreeks en van een groot aantal toepassingen. Vooral deze laatste paragraaf zal velen de weg wijzen naar verbetering in bedrijven en naar vele oplossingen van voorheen niet te verwezenlijken opgaven.

In aansluiting hierop worden in aparte artikeltjes toepassingen beschreven van het electronisch relais in de textielindustrie en in de Belgische papierbewerkingsindustrie PAPETERIES VAN DER BEUREN.

Tevens vindt men de beschrijving van een nieuw soort apparaat, de elektrische totalisator, waarmee, in combinatie met een electronisch relais, aantallen impulsen worden geregistreerd en na een zeker aantal een schakelaar in werking treedt.

ELECTRONISCHE SCHAKELAPPARATEN EN HUN TOEPASSINGEN

Electronische schakelapparaten worden in toenemende mate gebruikt voor alle mogelijke doeleinden. Na het uitbrengen van een eerste model, de GM 4801, bleek het alras noodzakelijk te zijn hieraan verscheidene accessoires en andere typen toe te voegen, zodat thans volledige installaties met de door Philips vervaardigde apparaten en hulpkastjes kunnen worden uitgevoerd.

De belangstelling voor dit soort apparaten berust op het streven in bedrijven:

- a) de snelheid van de productie op te voeren,
- b) personeel te besparen,
- c) de betrouwbaarheid te vergroten,
- d) de grootst mogelijke veiligheid te bereiken.

Vele handelingen in een productieproces kunnen door mechanische, mechano-electrische of electronische installaties van het personeel worden overgenomen, en hierbij zullen de Philips apparaten zeer goede diensten bewijzen of bepaalde op andere wijze niet uitvoerbare projecten helpen verwezenlijken.

Principe van de electronische relais

Een electronisch schakelapparaat heeft het grote voordeel door een zeer klein stuurvermogen in werking te worden gebracht en daarmee een electriche stroom van veel groter vermogen in de uitgangsketen te kunnen doen vloeien of onderbreken. In tegenstelling met andere hulpmiddelen is dus de belasting (electriche of mechanische) op het sturende orgaan zeer gering. Met behulp van zeer gevoelige omvormers kunnen alle mogelijke verschijnselen, waarbij een zeer zwak vermogen plotselinge veranderingen ondergaat, in electriche spanningsimpulsen worden omgezet en aldus veranderingen van enorm veel grotere vermogens teweegbrengen. Als eenvoudig voorbeeld diene het onderbreken van een lichtstraal op een foto-electrische cel. Dit is een verandering van vermogen van de orde van grootte van milli- tot microwatts, terwijl bij gebruik van het electronische relais GM 4801 hiermee een vermogen van nul tot 250 W kan aangroeien of omgekeerd van 250 W tot nul kan dalen. Deze verandering van 250 W in vermogen kan echter weer nieuwe relais met groter vermogen bedienen, en aldus kunnen bijv. automatische schakelaars electromotoren van iedere grootte aanzetten of stopzetten.

Een van de kenmerkende eigenschappen van de electronische relais is de grote snelheid waarmee ze werken. De uiterst geringe vertraging van de werking wordt veroorzaakt door het snelwerkende, ingebouwde, stroomgevoelige relais.

Al deze eigenschappen zijn te danken aan de gebruikte buizen waarmee

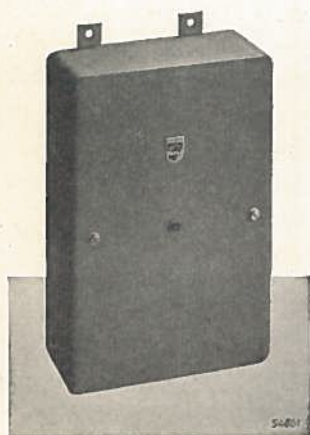
de primaire relaiswerking wordt verkregen. In wezen bestaan deze elektronische relaisapparaten uit een gasgevulde electronenbuis (wat betreft de apparaten GM 4801 en GM 4803), een hoogvacuumbuis (wat betreft het apparaat GM 4802) en een in de anodeketen geschakeld relais. Een kleine spanningsimpuls tussen het rooster en de kathode veroorzaakt een plotseling stijgen van de anode-kathodestroom door de buis, en daar deze stroom door het relais vloeit, volgt hierop een aantrekken van het anker ervan. Hierdoor worden enerzijds contacten verbroken en anderzijds contacten gesloten, zodat aan de secundaire zijde een electrisch apparaat met het reeds genoemde vermogen van 250 W (250 V, 1 A) kan worden in- of uitgeschakeld.

Enige functies waarvoor elektronische relais kunnen worden gebruikt

De elektronische schakelapparaten kunnen worden gebruikt voor:

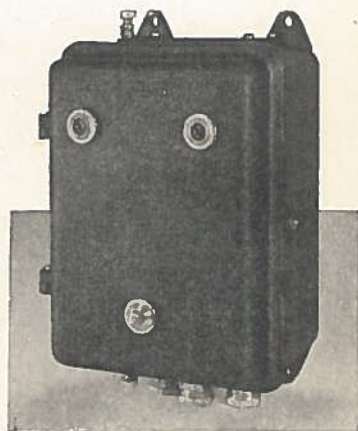
1. schakelen,
2. regelen,
3. signaleren,
4. beveiligen,
5. tellen,
6. sorteren,
7. wegen.

Voor ieder van de bovengenoemde doeleinden zal de een of andere omvormer (meestal „opnemer” genoemd) nodig zijn, een hulpmiddel dat reageert op een bepaald verschijnsel en waarvan het gevolg een electrische spanningsverandering is die het elektronische schakelapparaat in werking doet treden. De eenvoudigste vorm van een opnemer is een maak-contact inrichting of een verbreek-contact inrichting. Voorbeelden hiervan zijn het bi-metaalcontact, als o.a. wordt gebruikt voor brandalarmeringsinstallaties, contact-thermometers, contact-hygrometers, contact-volt- en -ampèremeters die gevoelig zijn voor veranderingen van temperatuur, vochtigheid, electrische spanning en stroom. Ook kunnen in dit verband



*Fig. 1.
Het elektronisch
relais GM 4801.*

*Fig. 2.
Het elektronisch
relais GM 4802.*



worden genoemd opnemers van mechanische trillingen en de reeds in dit blad beschreven rekstrookjes, waarmee bovenmatig sterke trillingen of mechanische spanningen de bron van deze kunnen doen uitschakelen. De foto-electrische cel is een opnemer waarmee een variatie van licht-intensiteit in een variatie van elektrische spanning wordt omgezet.

De elektronische relais



Fig. 3. Het elektronisch relais GM 4803.

Door Philips zijn drie modellen van elektronische relais in de handel gebracht, met name de GM 4801 (fig. 1), de GM 4802 (fig. 2) en de GM 4803 (fig. 3). De GM 4801 en GM 4803 onderscheiden zich van elkaar door de kast waarin ze zijn ingebouwd. De eerste heeft een waterdichte gietijzeren kast, speciaal bestemd voor installaties in de buitenlucht; de laatste daarentegen is in een kast van staalplaat ondergebracht. Daardoor komt dit apparaat alleen in aanmerking voor opstelling in niet te vochtige ruimten (fabrieksruimten, trappenhuizen, opslagplaatsen, kantoren). De GM 4801 heeft aan de voorzijde twee signaallampjes, die de stand aangeven van het relaisanker;

de GM 4803 heeft deze niet. De GM 4802 is veel eenvoudiger dan de beide bovengenoemde apparaten en leent zich niet voor de combinatie met fotocellen.

Deze drie apparaten hebben klemmen voor het aansluiten van een elektrisch telapparaat.

Accessoires voor het gebruik van foto-electrische cellen

Met fotocellen kunnen, in combinatie met de apparaten GM 4801 en GM 4803, zeer vele problemen worden opgelost. Bij installaties met fotocellen is de afstand tussen de fotocel en de lichtbron zeer belangrijk. Voor afstanden kleiner dan 6 m, kunnen de volgende hulpapparaten worden gebruikt:

GM 8004 — een grijsgelakt kastje met ingebouwde fotocel type 3533 (fig. 4);

GM 8005 — een lichtwerper met ingebouwde gloeilamp van 6 V, 25 W in een grijsgelakt kastje (fig. 5);

GM 8006 — een transformator in een grijsgelakt kastje (fig. 5) voor het voeden van de gloeilamp van de GM 8005, met primaire aftakkingen voor span-

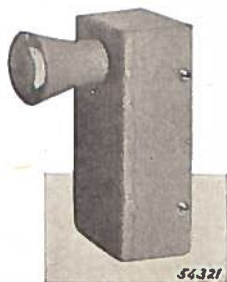


Fig. 4. De fotocelhouder GM 8004 met de lens GM 8015.

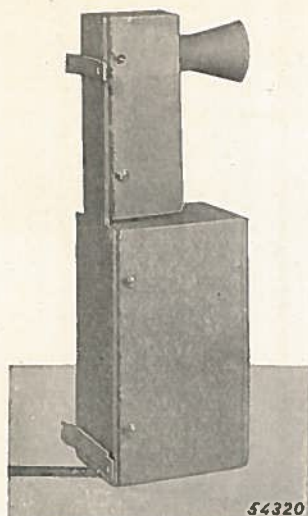


Fig. 5. De aan elkaar bevestigde lichtwerper GM 8005 met lens GM 8015 en transformator GM 8006.

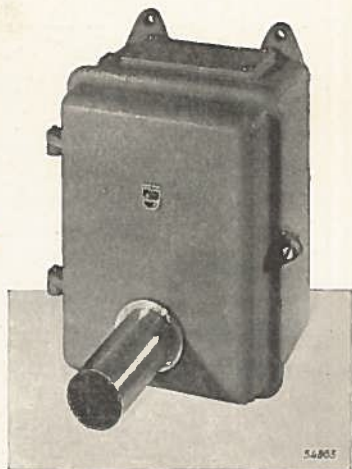


Fig. 6. De versterker met ingebouwde fotocel GM 8011.

ningen van 110—245 V en secundaire aftakkingen voor spanningen van 4, 5 en 6 V, 5 A;

GM 8015 — lens met houder (fig. 4). Deze is steeds aanwezig op de GM 8005 en kan zo nodig ook op de GM 8004 worden bevestigd (vnl. ingeval van storend licht waarop de fotocel zou kunnen reageren).



Fig. 7. De projector voor infrarood licht GM 8012.

Voor het beveiligen tegen inbraak (bijv. in bankgebouwen, musea, enz.) en in vele andere gevallen moet men met onzichtbaar, d.w.z. infrarood licht werken. De fotocel is dan echter niet voldoende gevoelig, en om hieraan tegemoet te komen brengt Philips een versterker met ingebouwde fotocel op de markt. Hierbij hoort een speciale lichtwerper met een filter dat alleen infrarood licht doorlaat (een z.g. infrarood filter). De grootste afstand tussen de lichtwerper en de fotocel met versterker is 50 m. Deze twee apparaten hebben de volgende typenummers:

GM 8011 — versterker met ingebouwde fotocel in een waterdichte gietijzeren kast als van de GM 4801 (fig. 6);

GM 8012 — lichtwerper met ingebouwde transformator, infrarood filter, gloeilamp (6 V, 25 W) en reflector, eveneens in een waterdichte gietijzeren kast als van de GM 4801 (fig. 7).

Indien niet met infrarood licht wordt gewerkt, kan het infrarood filter van de GM 8012 door een plaat normaal glas worden vervangen. De overbrugbare afstand tussen de GM 8011 en GM 8012 bedraagt dan 150 m.

Fig. 8. De voor vele installaties gebruikte Philips gasgevulde foto-electrische cel met caesiumkathode (gevoeligheid $150 \mu A/Lm$).

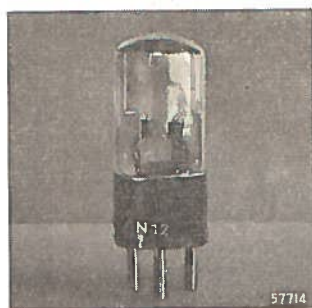
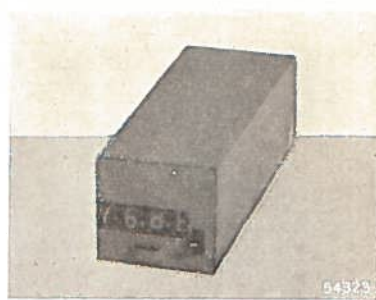


Fig. 9. Het telmechanisme GM 8014.



Accessoires voor het tellen van voorwerpen

Voor het tellen van voorwerpen heeft Philips de volgende apparaten:

GM 8014 — electromagnetisch telmechanisme met een maximale tel-frequentie van 10 per sec (fig. 9) en met een bereik van 0—9999; deze vergt een bekrachtigingsstroom van 10 mA bij een spanning van 100 V;

GM 8022 — een totalisator die wordt gebruikt in combinatie met de GM 4801, GM 4802 of GM 4803 en waarmee na het bereiken van een instelbaar aantal getelde voorwerpen een relais in werking treedt ¹⁾.

Toepassingen

Hieronder wordt een kort overzicht gegeven van een reeks van beproefde toepassingen en reeds in gebruik zijnde elektronische schakelinstallaties. Het is duidelijk dat hiermee slechts enkele van de vele functies zijn beschreven, welke deze schakelapparaten en hun accessoires in bedrijven kunnen vervullen.

A. SCHAKELLEN

1. *Automatisch in- en uitschakelen van verlichting*, bijv. van openbare klokken, fabrieksterreinen, werkplaatsen, kantoren e.d., bij de overgang van dag op nacht en omgekeerd.
2. *Inschakelen van reclameverlichting in winkels, warenhuizen enz.* Bijv. als een klant de winkel binnenkomt, onderbreekt hij de lichtstraal die op een fotocel valt, waarop het relaisapparaat de verlichting van een vitrine inschakelt en/of een automatische grammofoon op gang brengt, om zodoende de aandacht te trekken.
3. *Het op maat afknippen van ondoorzichtig materiaal.* Zodra het materiaal (staven, stroken, platen) ver genoeg onder de schaar is doorgeschoven, wordt de lichtstraal die op een fotocel valt onderbroken. Hierdoor wordt de schaar in werking gesteld, waarna het afgeknipte stuk in zijdelingse richting wordt afgevoerd. De afstand van de schaar tot de lichtbundel op de fotocel bepaalt de lengte van het af te knippen deel.

¹⁾ Een beschrijving van dit apparaat wordt verderop in dit nummer gegeven.

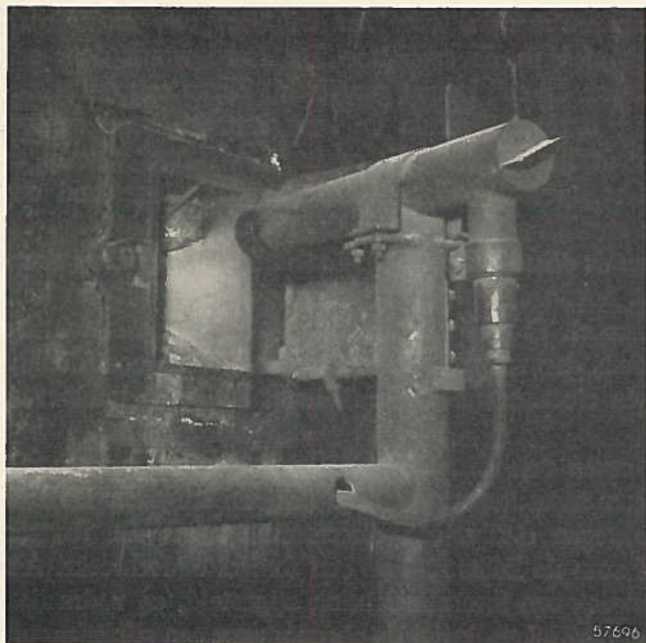


Fig. 10. Een foto-electrische cel, geïnstalleerd op de stookvloer van een elektrische centrale (de 200 000 kW centrale „Noord” te Amsterdam), waarmee gecontroleerd wordt of de vlam brandt. Het betreft hier een poederkoolstookinrichting; de fotocel-installatie dient ter beveiliging tegen explosie.

4. *Het op lengte afsnijden van papier met een elektrisch bediende slagschaar.*

Op het op een rol gewikkelde papier zijn tevoren zwarte merktekens gedrukt. Bij het afrollen van de papierbaan gaat deze vlak voor de fotocel voorbij. Bij het passeren van een merkteken voor de fotocel neemt de hierop vallende hoeveelheid licht plotseling af en geeft deze cel een spanningsimpuls aan het relaisapparaat, waarop de slagschaar wordt ingeschakeld.

5. *Het uitschakelen van een wikkel- of spinmachine bij draadbreek.* Tegen

de draad, welke normaal gespannen is, rust een lichtlopend rolletje. Bij draadbreek kan het rolletje met de beugel waarop het bevestigd is, doorvallen, hetgeen het sluiten van een contact veroorzaakt. Daardoor treedt het elektronisch relais in werking en de aandrijfmachine wordt tot stilstand gebracht.

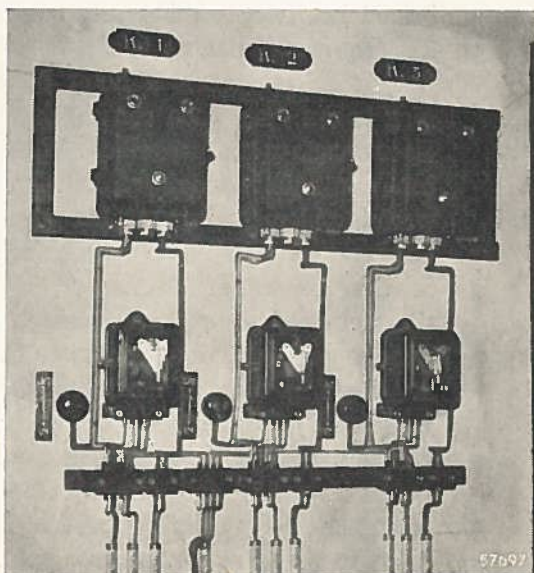


Fig. 11. De in de centrale „Noord” te Amsterdam geïnstalleerde elektronische relais met daaronder impulsrelais, die een intermitterende stroom aan alarmeringslampen toevoeren als de vlammen in de ketels zijn gedoofd terwijl de poederkoolaanvoer niet is gestopt.

6. *Het uitschakelen van een machine voor het wikkelen van emaildraad in geval van een open plek in de emailaag.* De draad wordt door een kwikbad geleid en daarna op een haspel gewikkeld. Zodra een onderbreking in de emailaag optreedt, maakt de kern van de draad contact met het kwik en treedt het electronisch relais in werking, waarop de aandrijfmotor wordt stopgezet. Zodoende krijgt men gelegenheid een zwakke plaats in de emailaag bij te werken.

7. *Het stopzetten van de olietoevoer aan oliestookinrichtingen bij het doven van de vlam.* Bij het normaal werken van de oliebrander valt het licht van de vlam op een fotocel. Treedt er een storing op in de stookinrichting, waardoor de vlam dooft, dan reageert het electronisch relais onmiddellijk en bekrachtigt het een electromagnetische afsluiter welke de olietoevoer stop zet.

8. *Het nauwkeurig meten van de tijd bij motorfiets- of autorennen.* De elektrische chronometer moet kunnen worden aan- en stilgezet. De aanzetimpuls wordt verkregen d.m.v. een electronisch relais dat reageert als een motorfiets of auto de lichtstraal op een fotocel onderbreekt. Aan de eindstreep is eveneens een fotocelinrichting opgesteld, en zodra daar de lichtstraal wordt onderbroken, krijgt de chronometer een stilzetimpuls. Op de chronometer kan dan de tussen de beide impulsen verstreken tijd worden afgelezen.

B. REGELEN

1. *Niveauregeling van vloeistoffen.* Zodra de vloeistof in een tank beneden een bepaald niveau daalt, treedt automatisch met behulp van een electronisch relais een vloeistofpomp in werking. Is de tank weer vol, dan wordt de electromotor van de pomp met behulp van een tweede relais automatisch uitgeschakeld. De installatie kan zo worden ingericht dat, indien het tweede relais niet zou werken, de tank niet overloopt.

2. *Begrenzing van de minimum- of maximumtemperatuur.* Voor ruimten waarin de temperatuur nooit beneden of boven een bepaalde waarde mag komen, kan men een regelsysteem met contactthermometer en een electronisch relais gebruiken. Bij het dalen van de temperatuur beneden een minimumwaarde, schakelt het electronisch relais één of meer verwarmingselementen in. In het geval van overschrijding van een maximale temperatuur schakelt een ander relais een ventilator in.

3. *Het constant houden van de temperatuur.* Met behulp van een contactthermometer en een electronisch relais kan de temperatuur constant worden gehouden door middel van ventilatoren en verwarmingselementen.

4. *Regeling van de luchtvochtigheid* (bijv. voor luchtconditioneringsinstallaties). Bij te grote vochtigheid van de lucht treedt door middel van een contacthygrometer, een electronisch relais in werking. Met een relaiscontact worden dan een ventilator en een zich daarvoor bevindende elektrische verwarmingsspiraal ingeschakeld; hierdoor wordt warme, droge lucht in de te regelen ruimte geblazen.

C. SIGNALEREN

1. *Het signaleren van netoverspanningen.* De netspanning wordt omlaag getransformeerd op een spanning die binnen het gevoeligheidsgebied van het elektronisch relais ligt. Het relais wordt zo ingesteld dat bij de nominale netspanning geen en bij een bijv. 20% hogere netspanning wel signalering optreedt.

2. *Het signaleren bij het defect geraken van de ventilator in drooginrichtingen.* Bij droogprocessen waarbij een ventilator en een gloeispiraal worden gebruikt om warme, droge lucht te verkrijgen, loopt de spiraal gevaar te verbranden als de ventilator niet werkt. Is dit laatste het geval, dan moet de spiraal onmiddellijk worden uitgeschakeld, en men kan dan gelijktijdig een signaallamp doen branden.

3. *Contrôle van ventilatoren bij de seriefabricage.* Onderzocht kan worden of een ventilator al dan niet voldoende lucht verplaatst. Voldoet de ventilator aan de gestelde eisen, dan gaat bijv. een gekleurde lamp branden;

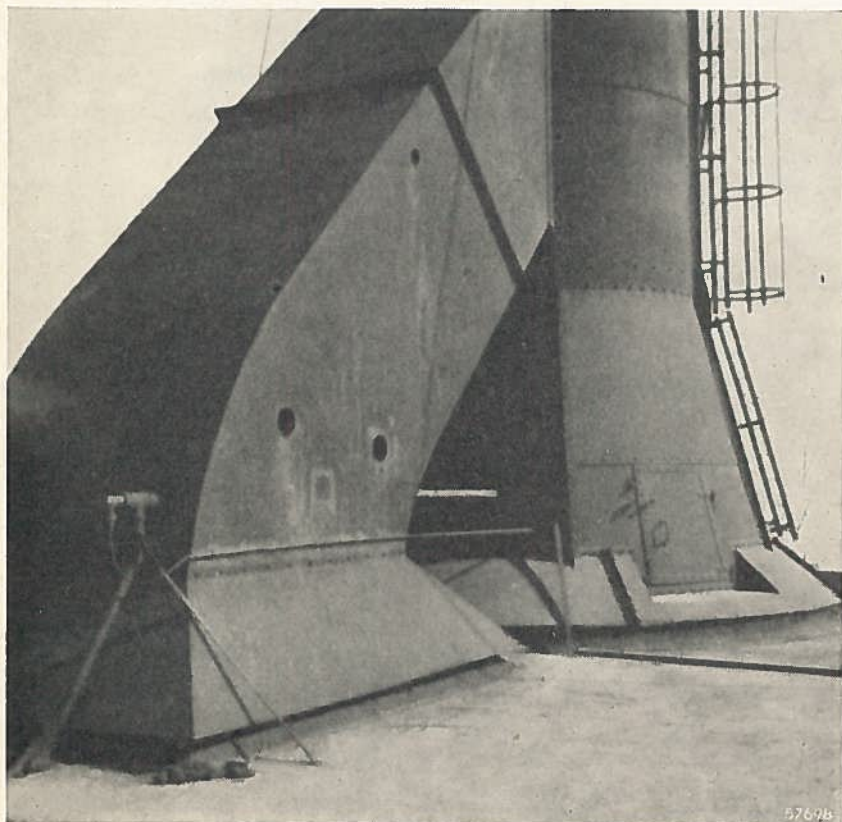


Fig. 12. De installatie van een lichtprojector en fotocel in een rookkanaal van een schoorsteen van de elektrische centrale „Noord” te Amsterdam, ten einde te waken voor rookgasontwikkeling. Het betreft hier een schoorsteen van met olie gestookte ketels.

is de luchtverplaatsing onvoldoende, dan blijft de lamp gedoofd en moet de ventilator worden onderzocht.

4. *Contrôle van de laklaag op conservenblikken.* De laklaag aan de binnenzijde van de blikken vormt een isolator. Is deze laag beschadigd of onvoldoende dik, dan kan hieruit bederf van levensmiddelen voortvloeien. De op een transportband aan de contrôle-inrichting voorbijgaande blikken worden achtereenvolgens met water gevuld, en met behulp van een electrode-pen welke in het water van ieder blik wordt gedompeld, wordt geconstateerd of de laklaag goed isoleert. Is dit niet het geval, dan treedt een electronisch relais in werking en gaat een lamp branden, welke aangeeft dat het desbetreffende blik niet in orde is.

5. *Het signaleren van de maximale hoeveelheid kolen, zand of stenen in bunkers.* Zodra bij het volstorten van een bunker de maximale hoogte wordt overschreden, treedt een onderbreking van een op een fotocel vallende lichtstraal op. Met behulp van een electronisch relais gaat dan een bel of een claxon werken.

6. *Het signaleren van rookgassen.* Treedt bij stookinrichtingen een sterke rookgasvorming op, dan betekent dit dat de verbranding onvolledig is. Met behulp van een fotocelinstallatie in de schoorsteen kan de vorming van rookgassen worden gesignaleerd.

7. *De contrôle van de viscositeit van vloeibare substanties.* Tijdens het fabricageproces kan worden nagegaan, of de vloeibaarheid van bijv. papierpulp e.d. aan de eisen voldoet. Is deze te groot of te klein, dan geeft het electronisch relais een waarschuwingssignaal.

D. BEVEILIGEN

1. *Beveiliging tegen inbraak.* Op de fotocel van de GM 8011 valt infrarood licht, afkomstig van de GM 8012. Deze combinatie wordt bijv. in een bankgebouw aan de ingang van de kluis gemonteerd. Zodra iemand door de onzichtbare lichtstraal loopt, treedt een electronisch relais en een alarminrichting in werking.

2. *Beveiliging tegen brand.* In de te beveiligen ruimte wordt een bi-metaal contact gemonteerd, dat sluit zodra de omgevingstemperatuur boven een bepaalde waarde stijgt. Een electronisch relais reageert hierop en schakelt bijv. een claxon in.

3. *Het beveiligen van machines tegen overmatig trillen.* Een trillingsopnemer wordt op de te beveiligen machine gemonteerd. De uitgangsspanning van de trillingsopnemer wordt versterkt in een versterker en door deze laatste aan een electronische schakelaar gelegd. Bij het overschrijden van een bepaalde maximale amplitude van de trillingssnelheid, dus van een bepaalde waarde van de wisselspanning aan het relais, treedt dit in werking en geeft een waarschuwingssignaal.

4. *Het beveiligen tegen mechanische overbelasting.* Een rekstrookje wordt op het te beveiligen machinedeel aangebracht. Dit strookje is opgenomen

in een elektrische brugschakeling welke normaal in evenwicht is. Bij belasting wordt het evenwicht verstoord; de in de brugdiagonaal aanwezige onbalans-wisselspanning is evenredig met de mechanische spanning. Deze wisselspanning wordt via een versterker aan een elektronisch relais gelegd, en bij het overschrijden van een van te voren ingestelde maximale waarde wordt een alarmsignaal gegeven.

5. *Het waarschuwen voor gebreken in transportsystemen.* Voor het transporteren van zand of cement wordt soms gebruik gemaakt van een pijpleiding waardoorheen het zand of het cement onder druk wordt geblazen. In de bochten van de leiding kan een slijtage een gat doen ontstaan. Met een fotocel-installatie kan het optreden van dergelijke lekken onmiddellijk worden gesignaleerd.

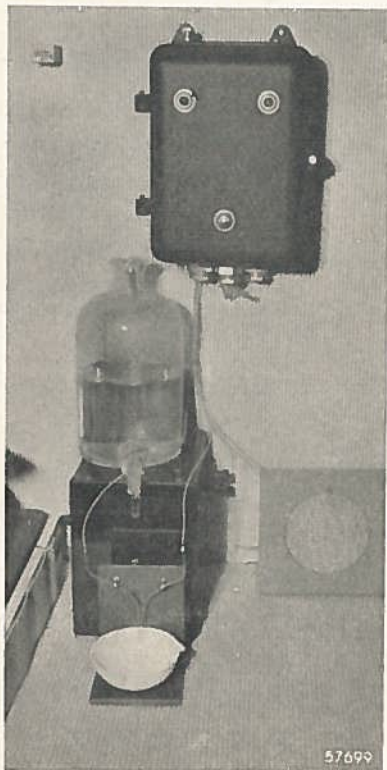
6. *Het uitschakelen van een drukrollenaandrijving in de textielindustrie.* Indien bij het bedrukken van textielstoffen naden of knopen in de stof voorkomen, mogen deze zich niet met grote snelheid tussen de drukrollen door bewegen, omdat hierdoor op den duur de rollen worden beschadigd. Een hulpcontact schakelt, met behulp van een elektronisch relais, bij het naderen van verdikkingen in de stof de aandrijfmotor af, zodat zij met lage snelheid tussen de drukrollen doorgaan.

E. TELLEN

1. *Het tellen van voorwerpen op een lopende band.* Dit kan geschieden door de te tellen en zich met de band voortbewegende voorwerpen een op een fotocel vallende lichtstraal te doen onderbreken. Een telmechanisme is aangesloten op het elektronisch relais, dat reageert op het onderbreken van de lichtstraal.

2. *Het tellen van druppels.* Druppels die moeten worden geteld kan men tussen twee blanke draden (opgesteld in V-vorm, doch waarvan de einden elkaar net niet raken) laten vallen. Zodoende wordt door iedere druppel een stroomdoorgang tussen de beide draden veroorzaakt en een elektronisch relais in werking gebracht. Met een teller kan het aantal druppels worden geteld. Fig. 13 geeft een foto van een opstelling welke op dit principe is gebaseerd.

Fig. 13. Een opstelling voor het tellen van druppels met behulp van het elektronisch relais GM 4801. Men ziet op de voorgrond de twee in V-vorm opgestelde, echter ellkaar niet rakende draden, waartussen iedere druppel de doorgang van een zeer zwakke stroom veroorzaakt, waarop dan, ten gevolge van zijn grote gevoeligheid, het relais aanspreekt.



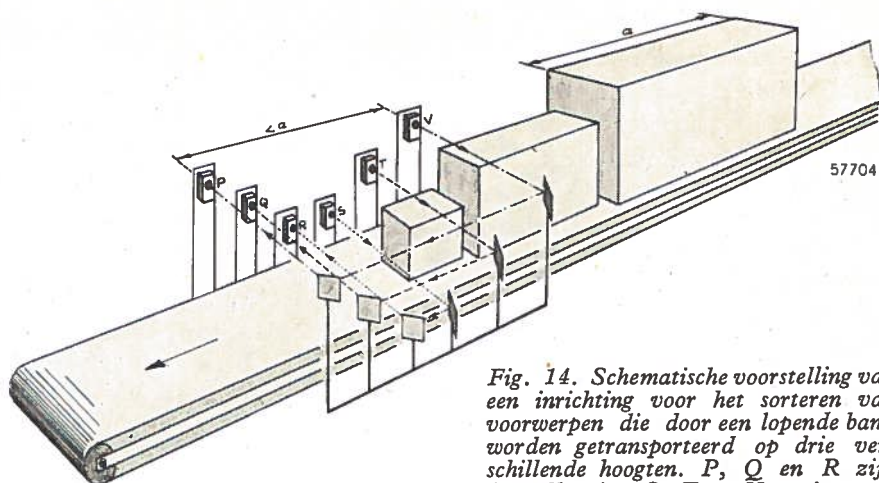


Fig. 14. Schematische voorstelling van een inrichting voor het sorteren van voorwerpen die door een lopende band worden getransporteerd op drie verschillende hoogten. P, Q en R zijn fotocelkastjes, S, T en V projectoren.

3. *Het tellen van auto's op verkeerswegen.* Twee electronische relais, elk met een bijbehorende fotocel en lichtwerper, worden langs de kant van de weg opgesteld, en wel op een zodanige onderlinge afstand, dat een voorbijgaande auto beide lichtstralen gelijktijdig onderbreekt. Een teller registreert het aantal voorbijgaande auto's. Fietsen en motorrijwielen zullen in het algemeen niet de beide lichtstralen gelijktijdig onderscheppen. Deze worden dus niet meegeteld.

F. SORTEREN

1. *Het sorteren op grootte.* Indien bijv. voorwerpen in drie verschillende hoogten moeten worden gesorteerd, kan dit worden gedaan met behulp van drie electronische relais, drie fotocellen, drie lichtwerpers, alsmede zes spiegeltjes, ten einde te vermijden dat de installatie ook reageert wanneer een hoog voorwerp de lichtstraal onderbreekt die voor lagere voorwerpen bestemd is. Fig. 14 geeft een schematische voorstelling van een dergelijke inrichting.

G. AFWEGEN

1. *Afwegen van doosvullingen.* De te vullen doos staat op een weegschaal, en zodra deze doos voldoende gevuld is, maakt de wijzer van de weegschaal contact met een instelbaar contactstiftje dat op de afleesschaal bij de gewenste gewichtswaarde is aangebracht. De aanvoer van de doosvulling wordt dan door middel van een electronisch relais automatisch stop gezet.

EEN AUTOMATISCHE CONTROLE BIJ PAPIERLINIEERMACHINE S

Mededeling van Philips Belgische N.V. te Brussel

De eisen die de afnemers stellen noodzaken de fabrikant de grootste zorg te besteden aan het bewerken van papier. Zo kunnen bijvoorbeeld in gelinieerde schriften bladzijden voorkomen waarop de liniëring ontbreekt; dit heeft tot gevolg dat men deze schriften uit de leveringen moet afzonderen, hetgeen een verlies van materiaal, werkloon en tijd betekent. De oorzaak van het ontbreken van de liniëring is dat twee of meer vellen van het te liniëren papier aan elkaar kleven en gezamenlijk door de lineerinrichting gaan; daardoor wordt slechts een van deze vellen gelinieerd. Om de vellen waarop de liniëring ontbreekt af te zonderen, moest men na het liniëren op de lineermachine elk vel afzonderlijk aan een zorgvuldige inspectie onderwerpen, voordat men er toe kon overgaan ze te bundelen voor het vervaardigen van de schriften.

De „PAPETERIES VAN DER BEUREN” te Brussel, die tot de meest vooraanstaande papierbewerkers van België worden gerekend, zijn er in geslaagd deze trage werkwijze, voordien aan iemand van het personeel toevertrouwd, te vermijden door gebruik te maken van een vernuftige en eenvoudige inrichting waarin het PHILIPS ELECTRONISCH RELAIS GM 4801 is opgenomen. Deze inrichting oefent een feilloos

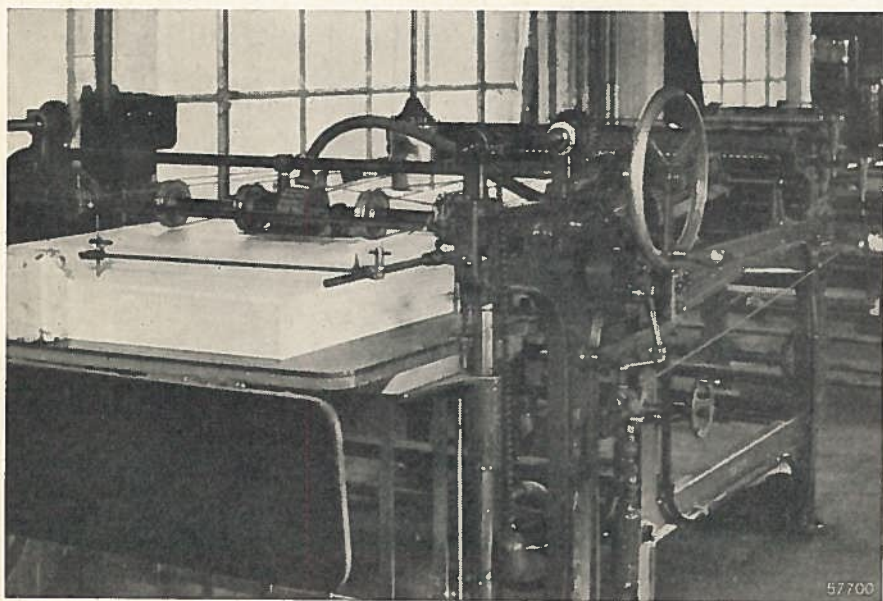


Fig. 1. De lineermachine bij de „PAPETERIES VAN DER BEUREN” te Brussel, waarop de fotocelinrichting is aangebracht waarmee automatisch het gelijktijdig passeren van twee of meer vellen onder de lineerwals wordt vermeden.

werkende automatische contrôle uit. Het principe ervan berust op het verschil in hoeveelheid licht dat wordt doorgelaten door een en door verscheidene aan elkaar klevende vellen. Door middel van zuignappen worden de vellen een voor een van een stapel genomen, welke aan de ingang van de linieermachine is gelegd (zie fig. 1), en voor het inkten passereren zij tussen de lamp A (fig. 2) en de foto-electrische cel B. Laatstgenoemde is aangesloten op het electronisch relais GM 4801; dit relais is zodanig ingesteld dat, wanneer zich één vel tussen de lamp en de fotocel bevindt, voldoende licht op de cel valt om het relais niet te doen schakelen. Komen er echter twee of meer vellen gelijktijdig tussen de lamp en de cel te liggen, dan wordt er zoveel licht onderschept dat het relais in werking treedt, hetgeen dan door middel van een automatische schakelaar de onderbreking van de stroomtoevoer aan de electromotor veroorzaakt; hierdoor wordt de linieermachine ogenblikkelijk tot stilstand gebracht. De arbeider die het stilstaan van de machine constateert, heeft dan slechts de op elkaar klevende vellen te verwijderen en vervolgens de machine weer op gang te brengen door te drukken op de knop C, waarmee de automatische schakelaar wordt bediend. Voor het instellen van de drempel van de gevoeligheid van de inrichting, die uiteraard afhangt van de hoeveelheid licht die wordt doorgelaten, en die op haar beurt afhankelijk is van de gebruikte papiersoort, was het het eenvoudigst, niet de begingevoeligheid van het electronisch relais in te stellen — deze dus op een eens ingestelde waarde te houden — maar de hoogte van de lamphouder A, die aan een schuifstang is bevestigd. Op deze wijze kan de lamp meer of minder dicht bij de fotocel worden gebracht.

Deze inrichting werkt bij de „PAPETERIES VAN DER BEUREN” reeds meer dan een jaar zonder tot enige storing aanleiding te hebben gegeven. Fig. 1 geeft een beeld van de installatie op de linieermachine, terwijl de foto op de omslag deze inrichting van meer nabij laat zien.

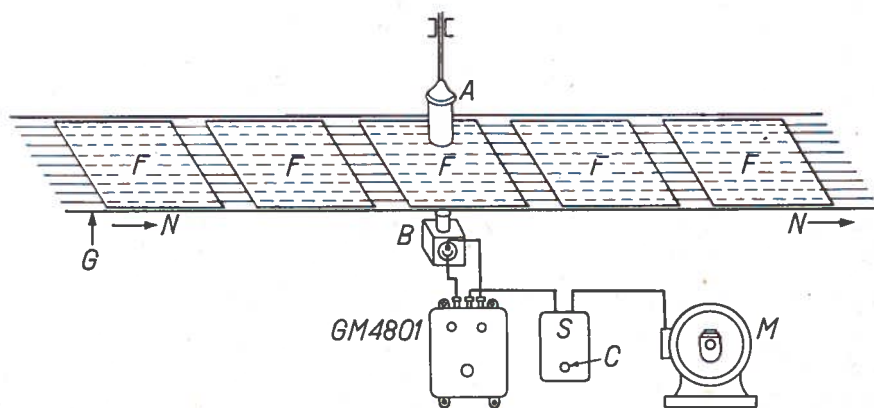


Fig. 2. Schematische voorstelling van de inrichting met electronisch relais GM 4801 aangebracht op de linieermachine.

A = op-en-neer schuifbare lamphouder met gloeilamp. B = fotocelhouder met fotocel. C = drukknop op automatische schakelaar S. G = staaldraden waarop de vellen papier F worden getransporteerd. M = aandrijfmotor van de transportband van stalen draden. N = bewegingsrichting van de transportband naar de linieerplaats.

HET ELECTRONISCH RELAIS GM 4801 IN DE TEXTIELINDUSTRIE

Een toepassing voor het stopzetten van een snellopende scheermachine bij draadbreek

In het Belgische textieltijdschrift „Rayonne” verscheen een artikel ¹⁾ waarin een nieuwe sectionaal-scheermachine wordt beschreven, welke is uitgerust met het Philips electronisch relais GM 4801. Dit apparaat kan echter dezelfde diensten bewijzen op andere typen van scheermachines. Wij geven dit artikel hier verkort weer.

De „Ateliers Mécaniques de Précision” te Anderlecht (België) hebben in nauwe samenwerking met „Fabelta” de bouw van moderne, zeer snel lopende sectionaal-scheermachines in bewerking genomen. De machine is beschermd door het Belgisch octrooinummer 475656, en zij is eveneens in het buitenland gepatenteerd. Onder normale omstandigheden kan men er mee scheren met een snelheid van 1000 meter per minuut.

De machine stopt onmiddellijk zodra een draad breekt, waardoor het zoeken van de gebroken draad op de boom niet nodig is. Een proefmodel werkt reeds tot grote tevredenheid in een fabriek.

De constructie is zodanig, dat men in staat is aan alle vragen van de textielwereld voor het gestelde doel te voldoen. Zo is het bijv. mogelijk twee weversbomen ieder met ongeveer 300 draden ineens te maken. Het is echter even goed mogelijk één boom met 600 draden te maken. Met behulp van een toerenteller wordt de machine onmiddellijk tot stilstand gebracht zodra de gewenste kettinglengte is bereikt. De meetklok is zodanig gemonteerd, dat het onmogelijk is de scheermachine weer op gang te brengen voordat men de meter weer in zijn oorspronkelijke stand heeft gebracht; dit geschiedt met een ter plaatse aangebracht hefboompje. De van het scheerrek afkomstige draden passeren eerst een riet. Vervolgens gaan ze over twee verchroomde stalen walsen, die aan alle draden dezelfde spanning verlenen. De machine is voorzien van een speciale reminrichting. Zonder veel kracht van de scheerster te vergen wordt de remming verkregen door drukken op een pedaal. Het remmechanisme heeft een dubbel effect: gelijktijdig ontkoppelen en remmen. Aan het einde van de verplaatsing van de door het pedaal in beweging gebrachte koppelstang treedt een oliebadschakelaar in werking, waardoor de stroomtoevoer van de electromotor wordt onderbroken. Het remmen geschiedt electromagnetisch. Op de bijzondere werking van deze reminrichtingen zullen we hier niet ingaan.

Tussen de motor en de aandrijfschijf van de scheermachine bevindt zich een snelheidsregelaar, waarvan de constructie is beschreven in het tijdschrift „Rayonne” van 15 April 1948, blz. 148 e.v.

¹⁾ J. G. van der Hofstadt, Ingénieur Civil: Une belle réalisation, l'ourdissoir à grande vitesse, Rayonne 6 (15 Juni 1948).

In verband met het feit, dat de snelheid waarmee de draden worden opgewikkeld zeer groot is, is een goed werkende draadstopinrichting nodig. *Hiervoor kwam in aanmerking het zeer gevoelige electronisch relais Philips GM 4801.* Dank zij dit apparaat, kon de voor het in werking brengen van de remming nodige stroom beperkt blijven tot slechts enige microampères. Bij deze uiterst geringe stroom is oxyderen door het overspringen van vonken op de contactpunten van de draadstopinrichting geheel uitgesloten, en de grote gevoeligheid van het relaisapparaat verzekert een feilloze werking, zelfs bij door stof of olie e.d. bevulde contacten. Deze grote gevoeligheid komt ook tot uitdrukking door het feit, dat de constructeur een tafel tussen de beide rieten heeft voorzien van twee parallel naast elkaar liggende metalen banden. Als nu de scheerster de machine wil stopzetten, kan ze dit doen door haar vingers over beide metalen banden te leggen. De doorgang van de uiterst zwakke stroom door de vingers brengt dan het relais in werking. De elektrische spanning bedraagt slechts enkele volt, zodat de zeer gevoelige opperhuid van de vingers hiervan geen hinder ondervindt.

Fig. 1 toont de uitvoering van deze scheermachine, waarop het electronisch relais GM 4801 is aangebracht. Zoals men ziet, heeft deze machine een zeer modern uiterlijk; zij is bovendien bijzonder fraai afgewerkt.

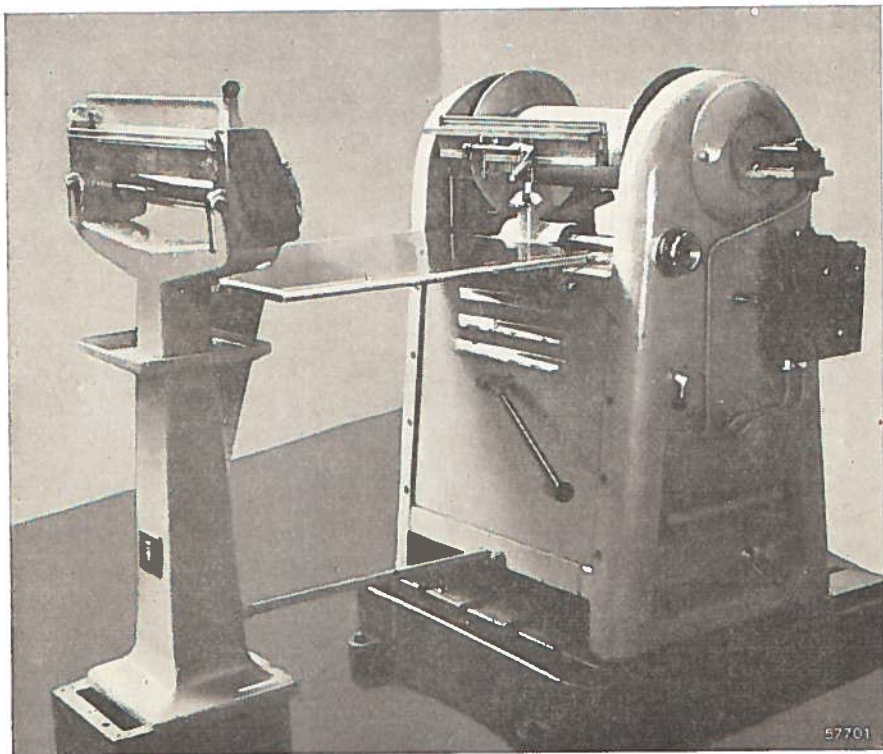


Fig. 1. Een moderne, zeer snel lopende sectionaal-scheermachine waarop het Philips electronisch relais GM 4801 is gemonteerd.

EEN INSTELBARE ELECTRISCHE TOTALISATOR VOOR ELECTRONISCHE TELINSTALLATIES

door R. D. BUITENDIJK, Eindhoven

Steeds meer bedrijven waar men producten in serie vervaardigt, worden voorzien van elektronische telinstallaties. Zoals bekend mag worden verondersteld, bestaan dergelijke installaties in hun eenvoudigste vorm uit een foto-electrische cel waarop een van een lichtwerper afkomstige lichtbundel is gericht. De fotocel en de lichtwerper worden zodanig opgesteld, dat de te tellen voorwerpen, welke door een transportsysteem worden voortbewogen, de lichtstraal gedurende een ogenblik onderbreken. De opeenvolgende lichtimpulsen worden dan door een elektronisch relais omgevormd in spanningsimpulsen welke een electromagnetisch telmechanisme bekrachtigen (zie ook Elektronisch Meten 2, Nr. 9). In sommige bedrijven doen zich echter minder eenvoudige telopgaven voor, waarvoor evenwel meestal een oplossing kan worden gevonden.

Zo ontvingen wij enige tijd geleden door middel van de Columbiaanse Philips Maatschappij een aanvraag van de directie van een grote bierbrouwerij in Columbië, welke behoefte had aan een elektronische telinrichting, te installeren op een transportband waarmee kisten met flessen bier naar vrachtauto's worden vervoerd. Nadat een bepaald, doch instelbaar, aantal kisten een vrachtauto heeft bereikt, zou de toevoer automatisch gestopt moeten worden; dit aantal zou tussen 1 en 100 instelbaar moeten zijn. Voor dergelijke doeleinden is door Philips een electrisch totalisatorapparaat ontworpen, dat onder het typenummer GM 8022 in de handel wordt gebracht. Dit hulpparaat ziet

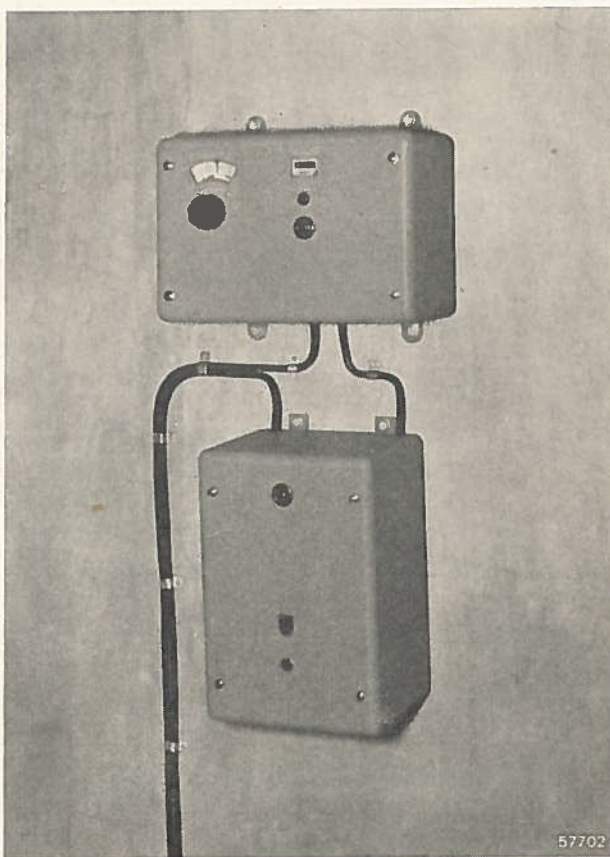


Fig. 1. De combinatie van de electrische totalisator GM 8022 (boven) en het Philips electronisch relais GM 4803 (beneden) voor het schakelen na het bereiken van een van te voren bepaald aantal impulsen.

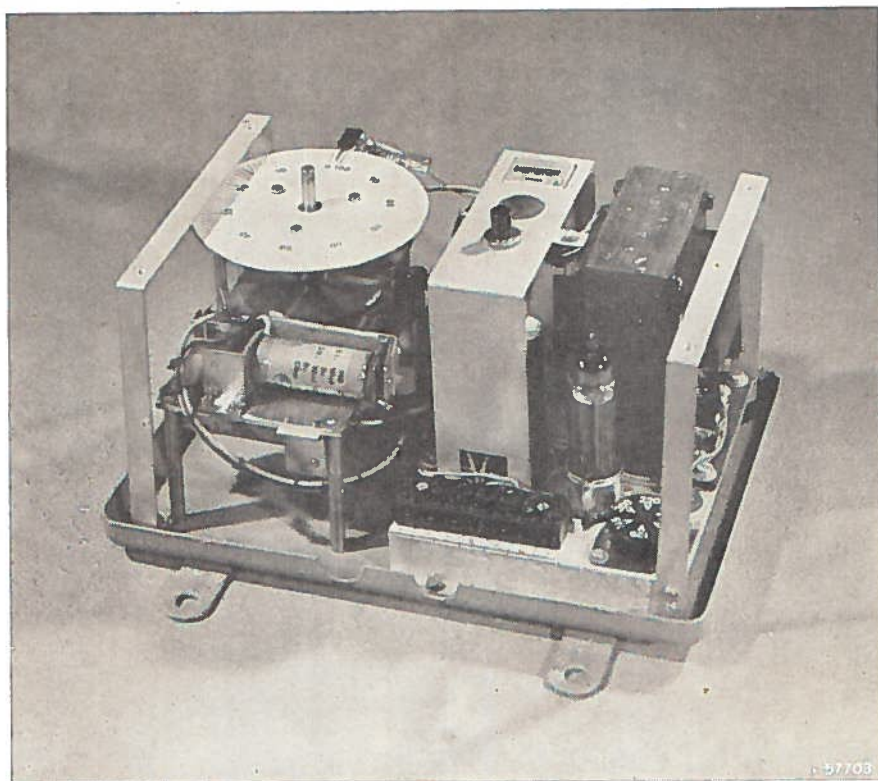


Fig. 2. Het totalisatorapparaat GM 8022 van binnen gezien.

men afgebeeld in fig. 1. Onder dit apparaat bevindt zich het electronisch relais GM 4803, in combinatie waarmee het werkt. De enige nodige instelknop is die waarmee men het gewenste aantal instelt.

In fig. 2 ziet men het geopende telapparaat. De grote schijf heeft een schaalverdeling van 0 tot 100. Op de as van deze schijf bevindt zich een palwiel. Telkens wanneer een voorwerp op de transportband de op een fotocel gerichte lichtstraal onderbreekt, reageert het electronisch relais GM 4803. Een sluitcontact van het hierin aanwezige electromagnetisch relais is aangesloten op de totalisator. Het sluiten van dit contact veroorzaakt de bekrachtiging van het relais in de GM 8022, waardoor het palwiel zich beweegt. Bij iedere impuls draait het één tand verder. Op het wiel bevindt zich een pen, welke in de stand 0 van de schijf contact maakt met een veer. In deze stand wordt een tweede relais bekrachtigd, waarmee de schakelaar van de motor, die de transportband aandrijft, wordt uitgeschakeld. Aangezien laatstgenoemd relais voorzien is van een wisselcontact, kan men naar keuze eventueel ook een apparaat inschakelen. Door nu aan de instelknop te draaien, kan men de afstand instellen welke de contactpen op het palwiel moet afleggen voordat contact wordt gemaakt met de vast opgestelde contactveer.

Stelt men dus in op 40, bijv. dan betekent dit dat het stapmechanisme 40 bekrachtigingsimpulsen moet ontvangen voordat de transportband tot stilstand komt.

Er zijn maatregelen getroffen om bij het instellen van het aantal van de volgende reeks, te voorkomen dat de transportband weer in beweging komt vooraleer de instelknop precies is ingesteld op het gewenste aantal. Immers, zodra voor een volgende serie aan de knop wordt gedraaid, maakt de contactpen op het palwiel geen contact meer met de vast opgestelde veer, waardoor het relais dat de bekrachtiging van de transportbandmotor had verbroken, niet langer aangetrokken zou blijven. Deze moeilijkheid is opgelost door op het betreffende relais een extra contact aan te brengen, dat dienst doet als houdcontact. Heeft men ingesteld op het vereiste aantal, dan moet dit houdcontact dus worden verbroken, hetgeen geschiedt door middel van een drukknop welke met dit contact in serie is geschakeld.

Deze drukknop ziet men duidelijk in fig. 1, op de rechterhelft van de totalisator GM 8022.

Boven deze drukknop bevindt zich nog een totaalteller met een bereik van 0—9999. Hierop wordt de som van de afzonderlijke series impulsen geregistreerd.

De spanning voor de beide relais en de totaalteller wordt geleverd door een ingebouwde voedingseenheid, waarvan de netspanningstransformator met primaire aftakkingen voor diverse spanningen, alsmede de gelijkrichtbuis, zichtbaar zijn in fig. 2.

In dezelfde afbeelding ziet men ook de aansluitstrook.

Resumerend kan dus worden vastgesteld dat dit hulpapparaat kan worden gebruikt daar waar na een bepaald aantal verschijnselen een apparaat dient te worden in- of uitgeschakeld. Men is hierbij niet gebonden aan het gebruik van foto-electrische cellen, want het gaat per slot van rekening om het sluiten van het bekrachtigingscircuit voor het palwielrelais. Hier-voor kunnen vele vormen van sluitcontacten in aanmerking komen.

OVER HET GEBRUIK VAN EEN LANGE KABEL TUSSEN DE FOTO-CEL EN HET ELECTRONISCH RELAIS

door G. P. ROSZBACH, Eindhoven.

Bij gebruik van de GM 4801 of GM 4803 in combinatie met een fotocel en een zeer lange afgeschermd kabel (> 30 m) tussen deze twee, voor alarmerings-, signaal- of telinstallaties, zal men dikwijls constateren dat de instelling van het electronisch relais met grote moeilijkheden gepaard gaat. Men kan het relais dan niet meer zodanig instellen dat, zodra de onderschepping van het op de fotocel vallende licht is verdwenen, ook de bekrachtiging van het relais ophoudt.

Ten einde de anodestroom na een bekrachtiging te onderbreken, wordt inplaats van een gelijkspanning een wisselspanning aan de anode van de relaisbuis gelegd.

Ten gevolge van een te grote kabelcapaciteit wordt het doven van de relaisbuis bemoeilijkt (zie fig. 1). De periodieke ontladingen door de buis veroorzaken periodieke stromen door de roosterweerstand R_1 en dientengevolge een potentiaalverschil tussen rooster en kathode.

Deze potentiaal is tegengesteld aan de negatieve roostervoorspanning V_g en laadt de kabelcapaciteit C op met dezelfde polariteit als de fotocel, in geval van een onderbreking van het opvallende licht (waardoor de stroom door de fotocel ophoudt te vloeien). Indien de tijdconstante van R_1 en R_2 in parallel en C in serie te groot is t.o.v. de duur van de negatieve halve perioden van de anodewisselspanning waarin de buis moet doven, kan de roosterspanning niet snel genoeg dalen, en blijft de buis geleidend. De invloed van C kan worden verminderd door R_2 van 47 000 ohm tot 2,5 megohm te vergroten, maar dit geeft een aanzienlijk verlies van gevoeligheid.

Een betere oplossing wordt daarom verkregen door een seleencel in serie met de kabel te schakelen (fig. 2). In de richting van de fotocel is de seleencel geleidend en veroorzaakt dus geen verlies van gevoeligheid. De capaciteit moet echter via de betrekkelijk kleine weerstand R_2 in de blokkeringsrichting worden opgeladen door de spanning V_g , waarop is gesuperponeerd de pulserende roosterspanning.

In deze richting heeft de seleencel een inwendige weerstand van enige megohm. Hierdoor wordt de invloed van de kabelcapaciteit op het vervlakken van de aan R_1 liggende pulserende spanning nagenoeg opgeheven.

Metingen hebben aangetoond dat een kabelcapaciteit van 10 000 pF de werking van de GM 4801 (of GM 4803) nadelig beïnvloedt, terwijl met een seleencel een capaciteit van 0,2 μF nog toelaatbaar bleek te zijn.

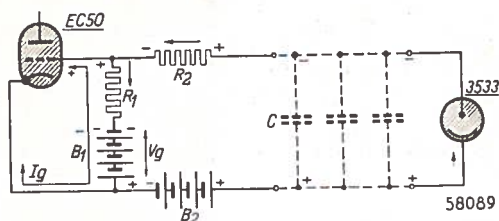


Fig. 1. Schema van de roosterketen van de relaisbuis met kabel en fotocel.

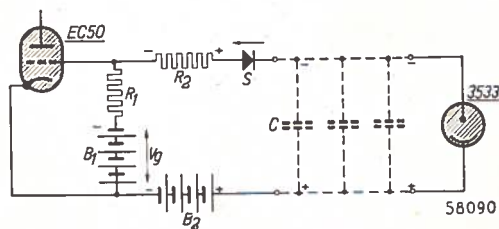


Fig. 2

Fig. 2. Schema van de roosterketen van de relaisbuis met kabelcapaciteit en fotocel, waarbij een seleencel in serie met de weerstand R_2 is geschakeld.

INHOUD

Electronische schakelapparaten en hun toepassingen — Een automatische contrôle bij papierliniërmachines — Het electronisch relais GM 4801 in de textielindustrie; een toepassing voor het stopzetten van een snellopende scheermachine bij draadbreek — Een instelbare elektrische totalisator voor electronische telinstallaties — Over het gebruik van een lange kabel tussen de fotocel en het electronisch relais.

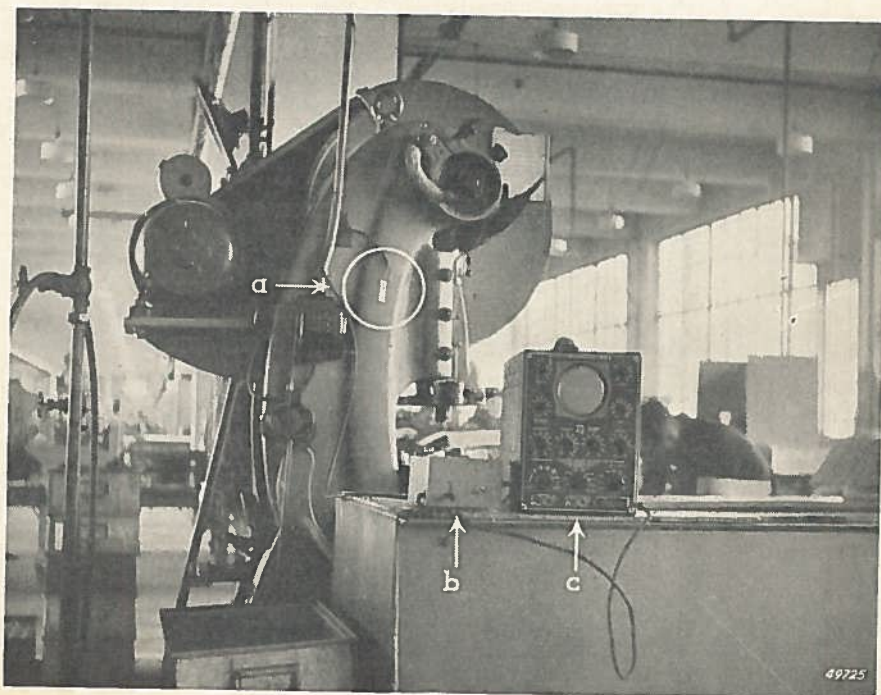
ELECTRONISCH METEN

DE TOEPASSING DER MODERNE
ELECTRONISCHE MEETAPPARATEN
IN LABORATORIA EN BEDRIJVEN



AARGANG 2

NUMMER 11



Opstelling voor het meten, met behulp van rekstrookjes, van de mate-aalspanning die optreedt in de kolom van een persmachine, a = rekstrookje, b = meetbrug voor dynamische metingen GM 8001, c = röntgenstraaloscilloscoop GM 3156.

DE TOEPASSING
VAN ELECTRO-
NISCHE REK-
MEETAPPARA-
TUUR VOOR HET
CONTROLLEREN
VAN
CONSTRUCTIES

In Nr. 7 van deze jaargang werden de samenstelling en de gebruiksmogelijkheden van de Philips rekstrookjes beschreven en in Nr. 9 een reeks metingen die aan portalen van de elektrische bovenleiding van de Nederlandse Spoorwegen werden verricht. In dit nummer wordt gewag gemaakt van metingen die door de Werkgroep Spannings- en Trillingsonderzoek van het T.N.O. te Delft werden verricht aan trekstangen van de constructie van een loods. Voorts wordt een beschrijving gegeven van de Philips meetbrug GM 4571 voor statische rekmetingen in combinatie met de Philips rekstrookjes.

REKSTROOKJES, GEBRUIKT BIJ HERSTELWERKZAAMHEDEN IN DE BOUWNIJVERHEID

door H. R. G. BOITEN

Commissie inzake onderzoek van constructies der nijverheidsorg. T.N.O.
Werkgroep spannings- en trillingsonderzoek te Delft

Inleiding

In een loods was door brand enige schade ontstaan. Het cylindervormige dak van gewapend beton van deze loods was op de zijmuren gelegd. Met behulp van een aantal op regelmatige afstanden geplaatste trekstangen werd de horizontale reactiekracht op de muur opgenomen. De dwarsdoorsnede van het bouwwerk is in fig. 1 schematisch weergegeven. De afstand tussen de trekstangen bedroeg ca. 2,50 m. Het dwarsprofiel van de trekstangen bestond uit twee hoekijzers (fig. 2). De trekstangen waren in het midden onderbroken en werden met een spanner *W* (fig. 1) verbonden. Bij de herstelwerkzaamheden bleek, dat het ijzer van enkele trekstangen plaatselijk was verbrand en moest worden vervangen. Hiertoe werd met behulp van een houten hulpconstructie, het dak ondersteund en werden nieuwe stukken in de trekstangen ingelast. Op de foto van fig. 3 zijn deze hulpconstructie en een aantal trekstangen zichtbaar. Bij het verwijderen van de hulpconstructie moest door de gerepareerde trekstangen een van te voren te berekenen trekkracht worden opgenomen. De waarde hiervan was in te stellen met behulp van de spanner *W* (fig. 1). Een verkeerde instelling kon ontzetten van de muren of beschadiging van het dak ten gevolge hebben.

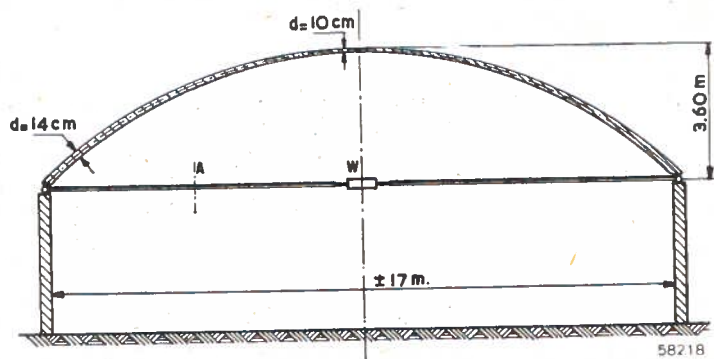
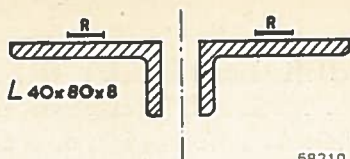


Fig. 1. Dwarsdoorsnede van de loods (schematisch) met op regelmatige afstanden aangebrachte trekstangen, die de horizontale reactiekrachten van het dak op de muren opnemen. Met behulp van spanners *W* wordt de spanning in de trekstangen ingesteld.

Fig. 2. Dwarsprofiel van een trekstang die uit twee hoekijzers bestaat (doorsnede A in fig. 1).
R = opgeplakte rekstrookjes.



58219

De gestelde opgave bestond in het vinden van een methode, waarmee tijdens het spannen van de trekstangen, de trekkracht onmiddellijk kon worden afgelezen.

Bij de metingen moest met de volgende omstandigheden rekening worden gehouden:

1. De meetplaats op de trekstangen was alleen met behulp van een trap of ladder te bereiken. Bij de eindmontage en het aandraaien der spanners kon op sterke trilling worden gerekend.
2. De zijwanden van de loods waren grotendeels open (zie fig. 3), zodat de buitenlucht vrije toegang had.
3. Bij de reparatie waren verscheiden trekstangen betrokken. Door het aandraaien van een der spanners verandert ook de trekkracht in de andere trekstangen. Het was daarom gewenst, op een centraal punt de momentele waarde van de trekkracht in alle trekstangen te kunnen controleren.
4. Aangezien de loods zich in een van het T.N.O.-laboratorium ver verwijderde stad bevond, moest, ter voorkoming van te hoge kosten, de tijd van het voorbereiden en uitvoeren van de meting zo kort mogelijk zijn. Voor het meten van de trekkracht bestonden in principe twee mogelijkheden: het tussenschakelen van een dynamometer en het bepalen van de trekkracht uit de rek van de trekstangen. Bij dit probleem kwam alleen de tweede oplossing in aanmerking.

Uit de voorgeschreven trekkracht volgde een gelijkmatig verdeeld gedachte spanning van 630 kg/cm^2 in de trekstangen, overeenkomend met een rek van ca. $300 \cdot 10^{-6}$.

Voor de keuze van de te gebruiken rekmeters waren de volgende mogelijkheden aanwezig:

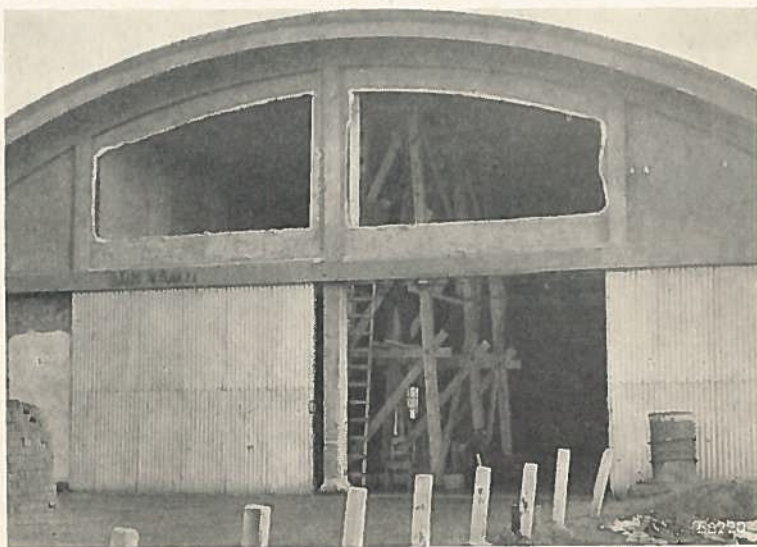


Fig. 3. De loods waaraan herstelwerkzaamheden werden verricht, met de tijdelijke houten steunconstructie voor het dak.

- a. Mechanische rekmeters, type Huggenberger extensometer enz.
- b. Mechanische rekmeters, waarbij de rek wordt omgezet in een variatie van de zelfinductie van een spoel, de capaciteit tussen twee platen, de frequentie van een trillende snaar, enz.
- c. Rekmeters die bestaan uit een dun weerstandsdraadje, waarvan de specifieke weerstandsverandering een maat is voor de rek: de z.g. weerstandsrekstrookjes.

De rekmeters volgens type a. kunnen niet voldoen aan de uit punt 1 en punt 3 voortvloeiende eisen. De meetinstrumenten uit groep b. kunnen in meerdere of mindere mate aan de gestelde eisen voldoen. Ze hebben echter het bezwaar, dat voor de aanwijzing van de rek een vrij gecompliceerde electronische afleesapparatuur nodig is. De rekstrookjes zijn ideaal voor zover het de punten 1 en 3 betreft. In een vochtige atmosfeer (punt 2) bestaat echter, zonder bijzondere voorzorgen, gevaar voor instabiliteit. Bovendien worden, zoals bekend mag worden verondersteld, de rekstrookjes met behulp van een synthetische lijm op de constructie geplakt. Deze lijm moet enige dagen drogen. Gezien punt 4, is ook dit dus een nadeel.

Er is evenwel in de T.N.O.-laboratoria een methode ontwikkeld, waardoor deze bezwaren grotendeels worden opgeheven. Daar deze methode bij verschillende gelegenheden haar bruikbaarheid reeds had bewezen, werd besloten de meting toch met behulp van rekstrookjes te verrichten. Zij werden ter plaatse van de doorsnede A (fig. 1) op de trekstangen geplakt. In het verticale vlak waren de trekstangen voldoende recht, doordat een aantal verticale draagijzers tussen de trekstangen en het dak was aangebracht. In het horizontale vlak moest worden gerekend met de mogelijkheid dat de trekstangen een bocht vertoonden. Om de invloed van hieruit voortvloeiende buigende momenten te elimineren, werd in elke doorsnede op de horizontale flens van elk hoekijzer een rekstrookje geplakt. In fig. 2 is de plaats van de rekstrookjes met de letter R aangeduid.

In de volgende uiteenzetting wordt de toegepaste werkwijze, aan de hand van de uitgevoerde meting, schematisch besproken.

Het reinigen van het metaaloppervlak en het plakken van de rekstrookjes

- a. Met behulp van een stalen borstel en een vijl, werd de hamerslag en roest volkomen van de trekstaaf verwijderd en verkreeg men een blank oppervlak.
- b. Het nog aanwezige vuil (stof en olie) werd door herhaald spoelen met aceton zeer zorgvuldig verwijderd.
- c. Op het volkomen gereinigde oppervlak werd een dunne laag van de door de fabrikant van het rekstrookje voorgeschreven lijm aangebracht en 10 min met behulp van warme lucht (föhn haardroger) gedroogd. Deze verwarming voorkomt te sterke afkoeling van de lijm ten gevolge van het

verdampen van het oplosmiddel, en vermindert hierdoor de kans op neerslag van condensatiewater. Als warmtebron kan eventueel ook een Philips droogstraler worden gebruikt.

d. Op deze „prepareerlaag” werd een tweede lijmlaag aangebracht, waarin het rekstrookje werd gebed. Over het rekstrookje werd een stukje zuiver filtreerpapier gelegd (voor het absorberen van de overmaat aan lijm en ter bescherming van het filament), en hierop een plaatje sponsrubber ter grootte van het rekstrookje. Dit rubber diende om de druk van een hierop geplaatst gewicht, waarmee het rekstrookje tijdens het drogen wordt aangedrukt, gelijkmatig te verdelen. Na een droogtijd van ca. 1 uur werden gewicht, sponsrubber en filtreerpapier verwijderd. Hiermede was het rekstrookje geplakt. Ter controle werd het rekstrookje onmiddellijk met een weerstandsmeter onderzocht op draadbreek en kortsluiting tegen het metaal van de constructie.

De bevestiging van de toevoerdraden, het nadrogen en de bescherming tegen vocht

a. Kort na de beschreven handelingen werd over de rekstrookjes een rubberkapje geplakt. De vorm van deze kapjes is ter verduidelijking weergegeven in de fig. 4 en 5. De twee toevoerdraden naar het rekstrookje gaan door de wand van het kapje en zijn hierin bevestigd door het vulcaniseren van de rubber. Op het metaal en op de wand van het kapje werd een laag Ty-Ply S.C. aangebracht. (Ty-Ply S.C. is een lijm waarmee rubber aan metaal kan worden geplakt.)

b. Na een droogtijd van enkele minuten werd het kapje plaatselijk aangedrukt en achterover geklapt (fig. 4). De elektroden van het rekstrookje werden vervolgens aan de toevoerdraden gesoldeerd.

c. Op het rekstrookje werd nu een linnen zakje met droog silica-gel geplaatst. Het verdient aanbeveling om bij rekstrookjes met een onbeschermde filament hierover eerst een stukje flanel of iets dergelijks te leggen, ter voorkoming van beschadiging. Het kapje werd nu teruggeklapt en over de gehele rand enkele minuten aangedrukt. Hiermede was de montage van het rekstrookje geheel voltooid (fig. 5).

d. Ter bespoediging van het droogproces van het rekstrookje werden de toevoerdraden verbonden met de klemmen van een 12 V auto-accu. Door het filament vloeit dan een stroom die een veelvoud is van de normale bedrijfsstroom. Het rekstrookje wordt hierdoor enigszins verhit.

Al deze werkzaamheden werden verricht in één dag. Gedurende de vijf dagen dat de „droogstroom” door de rekstrookjes vloeide, werd alles geheel aan zijn lot overgelaten en was geen enkel toezicht vereist. Ter motivering van het gevolgde procédé geven wij een korte toelichting. Vocht is de vijand van alle rekstrookjes en moet volkomen worden geweerd. Het rubberkapje met de doorvoer zijn daarom volkomen waterdicht. Het rekstrookje bevat echter nog vocht na het aanbrengen van het kapje. Onder

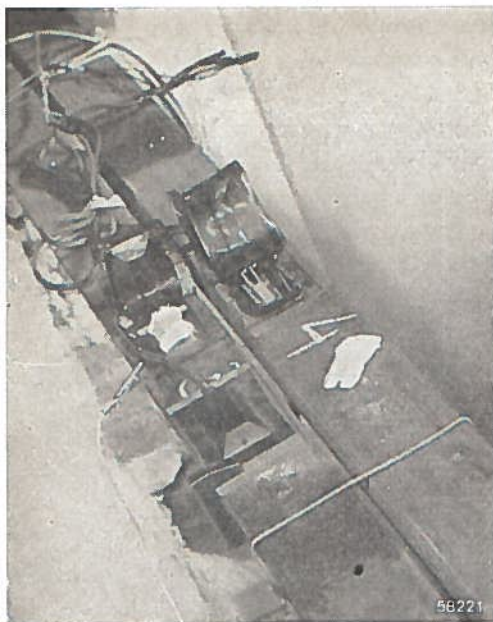


Fig. 4. Na het plakken van de rekstrookjes op een trekstang en het drogen van de lijm gedurende enige minuten, worden, ter bescherming van de strookjes, de rubberkapjes met behulp van Ty-Ply S.C. lijm op de hoekijzerkanten aangedrukt en achterover geklapt.



Fig. 5. Na het solderen van de toevoerdraden aan de elektroden van de rekstrookjes en het plaatsen van linnen zakjes met droog silica-gel (droogmiddel) op de rekstrookjes, worden de rubberkapjes teruggeklapt en over de gehele rand enige minuten lang tegen het ijzer aangedrukt gehouden.

het kapje bevindt zich derhalve het bovengenoemde droogmiddel (silica-gel), dat alle vocht aan het rekstrookje onttrekt. Het droogproces wordt nog aanzienlijk versneld, doordat het strookje met behulp van de doorgaande stroom wordt verwarmd. Behalve het vocht, moet ook het restant oplosmiddel van de lijm en de Ty-Ply S.C. volledig worden verwijderd. Dit geschiedt eveneens met silica-gel, die boven andere droogmiddelen (calcium-chloride, ongebluste kalk, enz.) het voordeel heeft, behalve water, even gretig bovengenoemde oplosmiddelen te absorberen. Zodoende wordt, zonder gebruik van uitwendige verwarmingsbronnen, een graad van droogte bereikt die, zelfs bij verwarming tot 80°C , moeilijk is te evenaren. Een ander voordeel van de gevolgde methode boven een vochtafsluiting door middel van was, vaseline, e.d., berust op het feit, dat eventueel nog binnendringende vochtsporen onmiddellijk door de silica-gel worden geabsorbeerd. Uit vroegere proeven is ondubbelzinnig gebleken, dat de op deze wijze behandelde rekstrookjes stabiel blijven over perioden van maanden en langer, zelfs indien ze zijn blootgesteld aan regen, weer en wind. Als criterium voor het volkomen droog en dus betrouwbaar zijn van de rekstrookjes, wordt in de literatuur opgegeven dat de isolatieweerstand tussen het filament en het materiaal van de constructie, groter moet zijn dan 1000 megohm. Bij de aanvang van de onderhavige meting bleek, dat de isolatieweerstand groter was dan 50 000 megohm ($5 \cdot 10^{10}$ ohm).

Vijf dagen na het aanbrengen van de rekstrookjes werd de kracht in de trekstangen ingesteld. Bij de rekmetingen werd gebruik gemaakt van een afleesapparaat, bestaande uit een met wisselstroom gevoede Wheatstone brug. De uitgangsspanning van de brug wordt versterkt en toegevoerd aan een milliampèremeter. In principe worden twee van de takken van de brug gevormd door vaste weerstanden, waartussen zich een glijdraadpotentiometer bevindt. De twee andere takken bestaan uit rekstrookjes. Een van deze rekstrookjes dient voor het meten van de rekverandering van de constructie (het actieve rekstrookje), het andere voor het compenseren van de invloed van de temperatuuffecten (het compensatierekstrookje). Dit compensatierekstrookje werd volgens de beschreven methode geplakt op een strip ijzer van dezelfde samenstelling als de trekstangen, en met een klem hieraan bevestigd ter plaatse van de meetdoorsnede (zie fig. 4 en 5). Op deze wijze werd de invloed van de temperatuur, zowel wat betreft de weerstandsverandering van het filament van het rekstrookje als de uitzetting van het constructiemateriaal, vrijwel geheel geëlimineerd. Het afleesapparaat werkte volgens de zogenaamde „nul-methode”, d.w.z. dat de brugverstoring ten gevolge van de weerstandsverandering van het rekstrookje werd gecompenseerd door een verdraaiing van de glijdraadpotentiometer. Deze verdraaiing is onmiddellijk een maat voor de optredende rek, die als zodanig van een meebewegende schaalverdeling kan worden afgelezen. Het apparaat wordt gevoed met behulp van ingebouwde batterijen. Aan het apparaat bevinden zich aansluitklemmen voor één actief en één compensatiestrookje. Aangezien hier verscheiden rekstrookjes na elkaar moesten worden afgelezen, werd tussen de rekstrookjes en het aanwijsinstrument GM 4571 een verdeelkast (GM 5545) geplaatst, waarmee, met behulp van enkele schakelaars, de rekstrookjes achtereenvolgens konden worden aangesloten. (Het verwisselen van de draden onder de aansluitklemmen van het afleesapparaat moet onder alle omstandigheden ten sterkste worden ontraden.) De beide apparaten waren op een tafeltje geplaatst, en de waarnemingen hadden voortgang zonder dat hinder werd ondervonden van de werklieden op de steigers en bij de spanners. De metingen verliepen zeer vlot en namen, met inbegrip van het spannen der trekstangen, ongeveer 2 uur in beslag. Er bleken inderdaad buigende momenten op te treden en de spanners werden daarom aangedraaid tot de gemiddelde waarde van de rek per doorsnede $300 \cdot 10^{-6}$ bedroeg (de gemeten waarden waren o.a. 280 en $320 \cdot 10^{-6}$).

Indien de totale duur van de meting (plakken van de rekstrookjes en rubberkapjes, aanleggen van de bedrading, uitvoering van de meting en afbraak van het geheel) wordt gedeeld door het aantal rekstrookjes, dan blijkt per meetpunt ca. 2 uur nodig te zijn. Het gehele werk werd door één man verricht. Resumerend kan worden gezegd, dat dit bouwtechnisch probleem met behulp van rekstrookjes op een snelle, eenvoudige en betrouwbare manier tot oplossing is gebracht.

DE PHILIPS REKMEETBRUG MET BATTERIJVOEDING GM 4571

door A. L. BIERMASZ, Eindhoven

Inleiding

In *Electronisch Meten* 2, Nr. 7, werd er reeds op gewezen dat voor rekmetingen, behalve de rekstrookjes zelf, ook een apparaat nodig is waarmee de weerstandsveranderingen van een actief rekstrookje ten gevolge van de mechanische belasting van het te onderzoeken voorwerp worden gemeten. Deze weerstandsveranderingen kunnen zowel statisch als dynamisch zijn. In het aangehaalde artikel werd reeds de meetbrug GM 4571 voor statische metingen aangeduid en werd het fundamentele principe ervan besproken. Wij geven thans een iets uitvoeriger beschrijving van dit apparaat, waaruit de gebruiksmogelijkheden duidelijk zullen blijken.

Beschrijving van het apparaat

De meetbrug GM 4571 voor statische rekmetingen bestaat uit de volgende delen:

- a) een Wheatstone brug;
 - b) een gevoelige versterker;
 - c) een fazegevoelige detector met een wijzerinstrument;
 - d) een 400 Hz oscillator die de brugschakeling en de detector voedt.
- Het apparaat wordt geheel gevoed door droge batterijen die in de kast zijn ondergebracht. Hierdoor is het bijzonder geschikt voor werkzaamheden buiten, waar geen netaansluiting mogelijk is. De batterijspanningen kunnen door middel van het wijzerinstrument worden gecontroleerd. Bij intermitterend gebruik is de levensduur van deze batterijen ongeveer 100 uur. De batterijen kunnen snel en gemakkelijk worden verwisseld

(zie fig. 2).

Afwijkingen van de spanningen van de batterijen hebben geen grote invloed op de werking van het apparaat. Nodig zijn een anodebatterij van 108 volt en een gloeistroombatterij van 1,5 volt. Echter is, zelfs bij een anodespanning van 60 volt, de werking van de brug nog bevredigend.

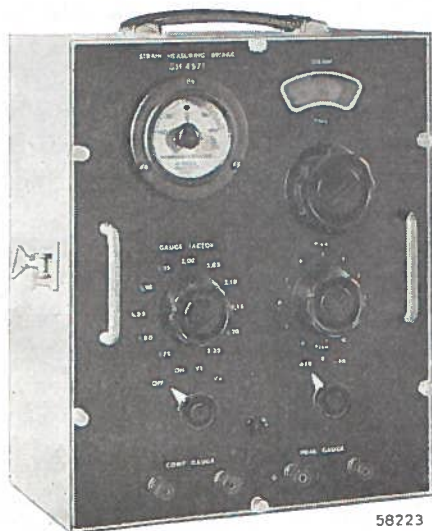


Fig. 1. Vooraanzicht van de Philips meetbrug GM 4571 voor statische rekmetingen. Het deksel waarmee het voorpaneel bij transport wordt beschermd is verwijderd.

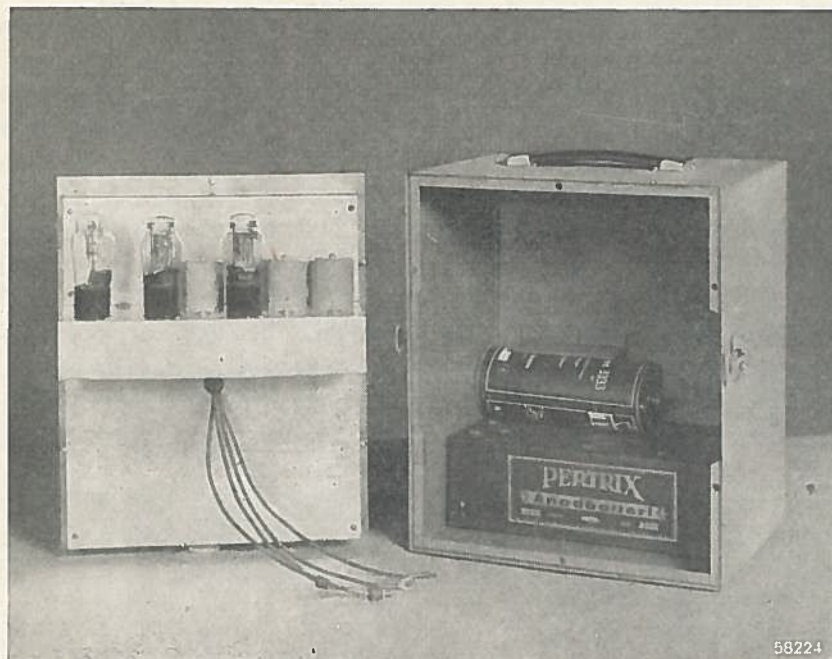


Fig. 2. Geopende achterzijde van de Philips meetbrug GM 4571. Men ziet dat de batterijen gemakkelijk kunnen worden verwisseld.

Het evenwicht van de Wheatstone brug wordt ingesteld met behulp van 3 regelorganen, te weten:

- 1) een omschakelaar met 3 standen voor het gebied van relatieve lengteveranderingen van -10‰ tot $+10\text{‰}$;
- 2) een omschakelaar met 11 standen voor het gebied van lengteveranderingen van 0 tot 10‰ ;
- 3) een glijdraadpotentiometer voor lengteveranderingen van 0 tot 2‰ . Dientengevolge is het totale meetgebied van $-1,6\%$ tot $1,6\%$ lengteverandering. De brug kan met behulp van een instelorgaan in een gebied van 1,75 tot 2,25 in trappen van 0,05 worden aangepast aan de ijkfactor van de gebruikte rekstrookjes. Bij voorkeur mogen de rekstrookjes geen lagere weerstand hebben dan 100 ohm, en er zijn steeds een actief en een compensatiestrookje nodig. De weerstanden van deze twee strookjes mogen onderling tot ongeveer $2\frac{1}{2}\%$ verschillen.

Werkingswijze

Zoals reeds uit diverse artikelen in „Electronisch Meten” blijkt, wordt tijdens het meten aan ieder actief meetstrookje een compensatiestrookje toegevoegd, dat aan dezelfde temperatuurschommelingen als die van het actieve rekstrookje onderhevig is, maar dat niet door de belasting van de constructie wordt beïnvloed.

De belasting veroorzaakt dus een verandering van de weerstandsverhouding tussen beide strookjes. De foto van fig. 1 toont onderaan de 4 aansluitpunten voor de beide rekstrookjes. De knoppen aan de rechterzijde dienen voor het in evenwicht brengen van de brug; met de onderste knop wordt een grove regeling verkregen en worden weerstandsverschillen van $+ en - 2\%$ tussen de beide rekstrookjes opgeheven. Met de middelste knop, waarmee men de omschakelaar met 11 standen bedient, en met de bovenste knop, een continuegelaar, kan de rest van het weerstandsverschil worden gecompenseerd tot een maximum van $+ en - 1,6\%$. Er kunnen dus rekstrookjes worden gebruikt die $3,2\%$ in weerstandswaarde verschillen. In dit geval kan men hetzij een positieve of een negatieve lengteverandering meten. Bovendien geldt dit voor een ijkfactor gelijk aan 2. Als de brug in evenwicht is, zal de wijzer van het instrument zich in het midden van de schaal bevinden. Onder dit instrument bevindt zich de knop waarmee de brug aan de ijkfactor van de rekstrookjes kan worden aangepast. Komt de stand van deze schakelaar overeen met de ijkfactor van de rekstrookjes, dan geeft de afgelezen brugstand niet de weerstandsverhouding, maar direct de rek, d.w.z. de weerstandsverhouding, gedeeld door de ijkfactor, aan.

Voor de aanvang van de metingen stelle men dus de brug op de juiste ijkfactor in en noteer de stand van de omschakelaar en de continu-regeling waarbij de brug in evenwicht is. Na de belasting herhaal men een en ander; het verschil in noteringen geeft dan onmiddellijk de rek ten gevolge van de belasting.

Deze uiteenzettingen dienden als inleiding voor het verklaren van de werkingwijze van het apparaat; wij zullen thans de samenstelling van het apparaat bespreken.

Fig. 3 is het blokschema. Wij onderscheiden hierin de brugschakeling (B), de oscillator (C), de versterker (A) en de detector (D). Fig. 4 geeft het schema van de brugschakeling. De rekstrookjes worden op de klemmen 1—2 en 3—4 aangesloten. Tussen de punten 1 en 4 bevindt zich de wisselspanning waarmee de brug wordt gevoed. De punten 2 en 3 zijn onderling en met het chassis van het apparaat verbonden en worden zodoende geaard. Gaan wij eenvoudigheidshalve uit van gelijke weerstandswaarden van beide rekstrookjes, dan is het duidelijk dat de uitgangsspanning van de brug (tussen de punten a en b) nul is als k_2, k_3 en k_4 in het midden staan, onafhankelijk van de waarde van k_1 . Ondergaat een van de rekstrookjes een kleine verandering van weerstand, dan is er dus een verstoring van het brugevenwicht en er ontstaat een spanning tussen de punten a en b die evenredig is met de

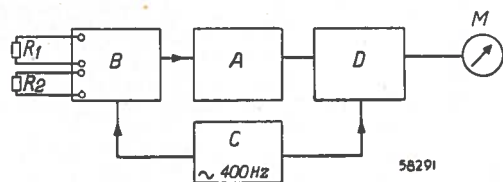
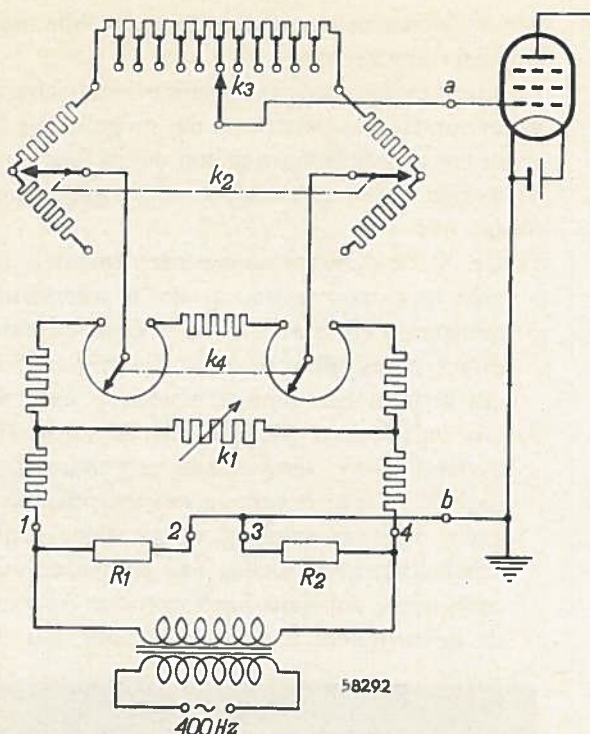


Fig. 3. Blokschema van de meetbrug GM 4571. R_1 en R_2 zijn de aangesloten rekstrookjes, A = versterker, B = brugschakeling, C = oscillator, D = fazegevoelige detector, M = wijzerinstrument.

Fig. 4. Vereenvoudigd prinsieschema van de brugschakeling. k_2 en k_3 dienen voor de grofinstelling van het brugevenwicht, k_4 voor de fijninstelling; en k_1 voor de aanpassing van de brug aan de ijkfactor van de rekstrookjes (R_1 en R_2). De wisselspanning die ontstaat ten gevolge van de verstoring van het brugevenwicht, wordt via de punten a en b aan de roosterketen van de ingangsbuis van de versterker gelegd.



verandering van de weerstand. Om het evenwicht te herstellen moet men k_4 verschuiven. Daar met behulp van k_1 de brug wordt aangepast aan de ijkfactor van de rekstrookjes, zal met toenemende weerstand van k_1 , de uitgangsspanning tussen a en b groter worden en zal men dientengevolge, om het brugevenwicht te herstellen, de potentiometer k_4 verder moeten draaien.

Willen wij bij een bepaalde rek k_4 steeds met dezelfde hoek draaien, en dus op de schaal bij dezelfde rek steeds hetzelfde getal aflezen, dan kiezen wij, in het geval van rekstrookjes met een kleine ijkfactor, een hoge weerstandswaarde van k_1 , en omgekeerd in het geval van rekstrookjes met een grote ijkfactor, een lage weerstandswaarde van k_1 . De variabele weerstand k_1 is derhalve zo gemaakt, dat bij een bepaalde ijkfactor de juiste weerstandswaarde in de brug aanwezig is. Hebben de rekstrookjes aanvankelijk niet een gelijke weerstand, dan kan de brug grof in evenwicht worden gebracht met de regelorganen k_2 en k_3 .

De oscillator voedt het bruggedeelte en levert tevens een hulpspanning aan de fazegevoelige detector. De werkfrequentie van deze oscillator is zeer laag gekozen, namelijk 400 Hz, ten einde de invloed van capaciteiten die parallel liggen aan de weerstanden van de rekstrookjes, bijv. ten gevolge van lange toevoerleidingen, gering te houden. Als oscillatorbuis is de Philips DL 21 gebruikt.

De versterker is uitgerust met twee buizen Philips DL 21. De versterking is zo groot dat een half schaaldeel op de continu-regeling k_4 , d.i. een relatieve lengteverandering van $5 \cdot 10^{-6}$, een duidelijk waarneembare uitslag

van het wijzerinstrument veroorzaakt. Alle buizen DL 21 kunnen onderling worden verwisseld.

De fazegevoelige detector. Dank zij een schakeling die bekend is onder de naam van ringmodulator, is het mogelijk slechts het deel van de uitgangsspanning van de brug te meten dat in faze is met de hulpspanning die door de oscillator aan de detector wordt aangelegd. Dit heeft twee grote voordelen, nl.:

- 1) De op de detector aangesloten meter is fazegevoelig, d.w.z. de wijzer slaat bijv. naar rechts uit als de weerstand van het actieve rekstrookje toeneemt, en naar links als deze weerstand afneemt. Men kan dus direct vaststellen of een trekspanning dan wel een drukspanning optreedt in het voorwerp waarop het rekstrookje is bevestigd.
- 2) De capaciteiten parallel aan de rekstrookjes hebben nagenoeg geen invloed. Deze veroorzaken een extra uitgangsspanning van de brug die 90° in faze is verschoven ten opzichte van de hulpspanning. Deze extra uitgangsspanning veroorzaakt, dank zij de gebruikte detector-schakeling, geen uitslag van de wijzer van het instrument. Een grote capacitieve onbalans heeft evenmin invloed op de uitslag van de meter; de gevoeligheid vermindert echter iets daardoor.

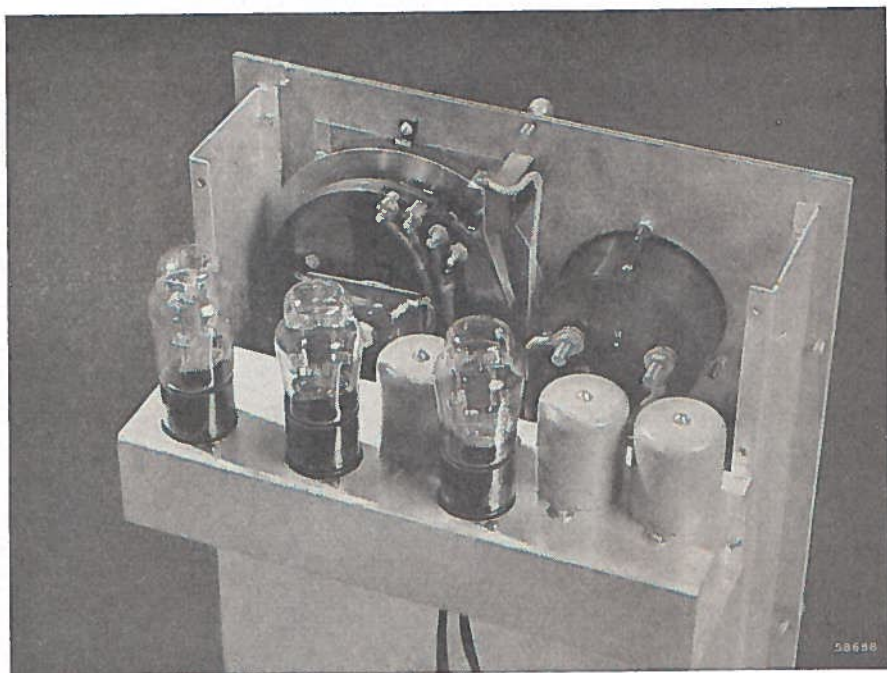


Fig. 5. Het chassis van de meetbrug. Van de achterzijde gezien bevindt zich aan de linkerkant van het voorpaneel de dubbele sleepdraadpotentiometer die voor de fijninstelling van het brugevenwicht dient.

Als indicator is gebruik gemaakt van een draaispoelinstrument dat voor volle uitslag een stroom van $200 \mu\text{A}$ nodig heeft.

Voor het snel meten van lengteveranderingen op verscheiden punten

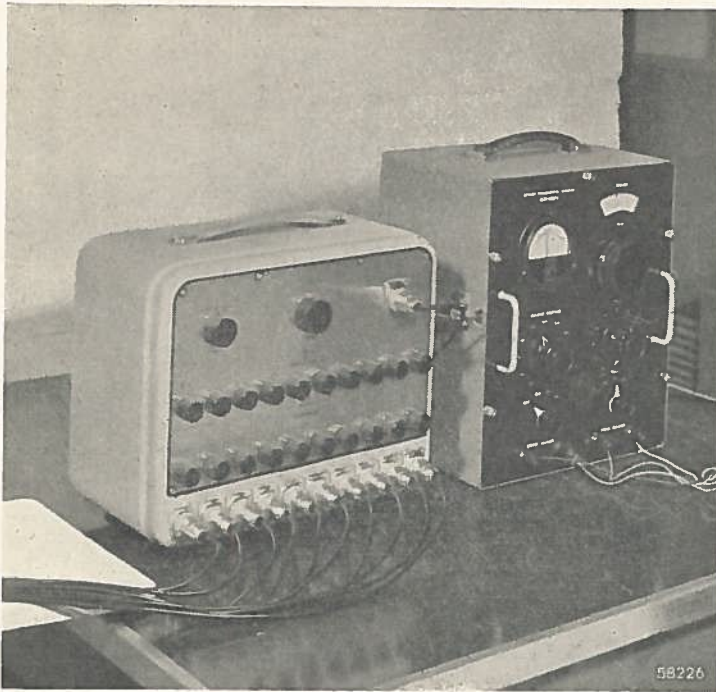


Fig. 6. De combinatie van de Philips meetbrug GM 4571 voor statische rekmetingen met het omschakelapparaat GM 5545 voor tien meetpunten.

moet de combinatie van de meetbrug GM 4571 en het omschakelapparaat GM 5545 worden gebruikt. Men kan hiermee achtereenvolgende aflezingen voor tien meetpunten verrichten. Bovendien kan de meetbrug zelf van te voren op nul worden ingesteld, onafhankelijk van de weerstandswaarden van de rekstrookjes. Voor ieder punt is dientengevolge maar één aflezing in plaats van twee nodig.

Indien lengteveranderingen op meer dan tien punten moeten worden gemeten, kan op een van de tien meetpunten een tweede omschakelapparaat worden aangesloten. In dat geval kan men metingen verrichten aan negentien punten.

De foto van fig. 6 toont de combinatie van de GM 4571 en de GM 5545. De kabels gaan naar de tien meetpunten. Met de omschakelaar van de GM 5545 kan tussen ieder van de tien meetpunten en de GM 4571 een verbinding tot stand worden gebracht.

DE INVLOED VAN VOCHT OP METINGEN MET REKSTROOKJES

door G. P. ROSZBACH, Eindhoven

Gaat men het gedrag van een niet opgeplakt rekstrookje bij veranderende relatieve vochtigheid van de omringende lucht na, dan zal men bemerken dat de weerstand ongeveer lineair toeneemt met de vochtigheidsgraad. De optredende veranderingen in het gebied van 0 tot 100% relatieve vochtigheid, die worden veroorzaakt door het zwellen van de papiervezels, zijn groot in verhouding tot de normaal optredende, door de rek veroorzaakte weerstandsveranderingen.

De vochtinvloeden zijn, zoals reeds eerder werd aangeduid, voor rekmetingen uitermate nadelig, en daarom moeten te allen tijde maatregelen worden genomen om deze invloeden te weren. Er is echter nog een ander punt waarop de aandacht zal worden gevestigd.

Het is voor de gebruiker van enig belang, dat de voor de metingen te gebruiken rekstrookjes geringe verschillen in weerstandwaarde hebben. De inrichting van de meetbruggen maakt dit noodzakelijk. Meetbruggen die berusten op het principe van de nulindicatie (bijv. GM 4571), zijn doorgaans niet voorzien van een aparte inrichting voor het compenseren van een reeds bij de aanvang optredend verschil in weerstand tussen het actieve en het compensatiestrookje. Zoals uit het voorgaande artikel volgt, wordt het brugevenwicht van de GM 4571 ingesteld door middel van de geijkte regelorganen. Deze zijn berekend voor een zeker gebied van weerstandsverschillen tussen twee rekstrookjes, die ontstaan ten gevolge van de rek of de compressie van het actieve strookje.

In het geval van de GM 4571 strekt dit gebied zich bij $k = 2$ uit van $-3,2\%$ tot $+3,2\%$ verschil in weerstand tussen de rekstrookjes (bij $k =$ bijv. 1,75 is dit gebied kleiner), hetgeen overeenkomt met een lengteverandering van $-1,6\%$ tot $+1,6\%$.

Bedraagt vóór het optreden van een lengteverandering het verschil in weerstand bijv. $+2\%$, dan zal men na het instellen van het brugevenwicht, de door een lengteverandering van het actieve strookje veroorzaakte verstoring van het brugevenwicht tot ten hoogste $3,2 - 2 = 1,2\%$ weerstandsverandering, of, bij $k = 2$, tot ten hoogste $0,6\%$ lengteverandering kunnen compenseren. Grotere lengteveranderingen kunnen niet met het apparaat worden gemeten. Nu zijn de in de praktijk voorkomende lengteveranderingen steeds veel kleiner dan $0,6\%$, zodat zelfs bij een oorspronkelijk weerstandsverschil van 2% goed kan worden gemeten. Men dient hierbij rekening te houden met het feit dat ook verschillen in kabelweerstand een rol spelen, alhoewel deze een veel kleinere orde van grootte hebben.

Bij meetbruggen die gebaseerd zijn op het principe van nul-indicatie, wordt dus de evenwichtsverstoring van de brugschakeling, die ontstaat ten gevolge van het verschil in weerstand tussen het actieve en het compensatiestrookje, vóór het begin van de metingen gecompenseerd met dezelfde

regelorganen als die welke dienen voor het herstellen van het brugeven-wicht nadat het actieve strookje een rek heeft ondergaan.

Bij direct aanwijzende instrumenten is het noodzakelijk een inrichting aan te brengen waarmee het totale weerstandsverschil kan worden gecompenseerd, ten einde de wijzer van het instrument vóór de meting op nul te kunnen brengen.

Met het omschakelapparaat GM 5545 kunnen weerstandsverschillen van + of - 0,5% worden gecompenseerd en met het direct aanwijzend draaggolfapparaat GM 5536 zelfs weerstandsverschillen tot 5%.

Bij de fabricage van Philips rekstrookjes wordt, met het oog op de beperking van de compensatie van weerstandsverschillen in de te gebruiken apparatuur, veel zorg besteed aan de gelijkheid van de weerstanden.

Men zal zich afvragen of weerstandsveranderingen ten gevolge van vochtinvloeden, de maatregelen ter verkrijging van geringe afwijkingen in weerstandswaarde niet overbodig maken. Een volledig waterdichte verpakking verhindert deze vochtinvloeden niet, daar, zodra de strookjes in een vochtige omgeving uit de verpakking worden genomen, de weerstandswaarde van de rekstrookjes snel gaat veranderen. Een groot aantal waarnemingen heeft het volgende inzicht gegeven. Men ontdekte dat de weerstand van een opgeplakt en goed gedroogd rekstrookje overeenkomt met die van een los strookje dat zich bevindt in lucht met een relatief vochtigheidsgehalte van 70%. Gedurende het opplakken heeft het strookje een relatief vochtigheidsgehalte van bijna 100%. Naarmate het daarop volgende droogproces vordert, daalt dit percentage en neemt dus ook de weerstand van het strookje af. Is nu een waarde van ongeveer 70% bereikt, dan heeft de lijm een zodanige hechtcracht gekregen, dat grote contracties van de papiergezels niet meer mogelijk zijn. Weliswaar blijft gedurende het droogproces het vochtigheidsgehalte gestaag dalen tot uiteindelijk de rekstrookjes volkomen droog zijn; de weerstand blijft echter, vanaf het punt dat werd bereikt bij 70% relatieve vochtigheid, nagenoeg constant. Hij blijft weliswaar niet volkomen constant, maar de variaties die dan nog optreden zijn, ten opzichte van de variaties die voorkomen bij een niet opgeplakt strookje, als klein te beschouwen. In vergelijking met de variaties die later bij rekmetingen dienen te worden vastgesteld, zijn ze nog ontoelaatbaar groot. Om in het geheel geen bezwaar van vochtinvloeden meer te ondervinden, is het dus noodzakelijk voor een zeer doelmatige vochtafsluiting van het actieve en het compensatiestrookje te zorgen. Ten einde de zekerheid te hebben dat de *opgeplakte strookjes* een zo gering mogelijk weerstandsverschil zullen vertonen, worden ze na de fabricage, met het oog op weerstand, gesorteerd ¹⁾ in een ruimte waar de relatieve luchtvochtigheid op 70% wordt gehouden. Dit brengt mee dat de gebruiker in de praktijk op uiterst geringe onderlinge verschillen van weerstandswaarden van rekstrookjes kan rekenen.

¹⁾ De rekstrookjes GM 4473 (120 Ω) worden daarom gesorteerd in groepen met een onderling verschil in weerstand van 0,1 ohm.



INHOUD

Rekstroomkjes, gebruikt bij herstelwerkzaamheden in de bouw-
nijverheid — De Philips rekmeetbrug met batterijvoeding
GM 4571 — De invloed van vocht op metingen met rekstroomkjes.

I M 3080 N 7/49

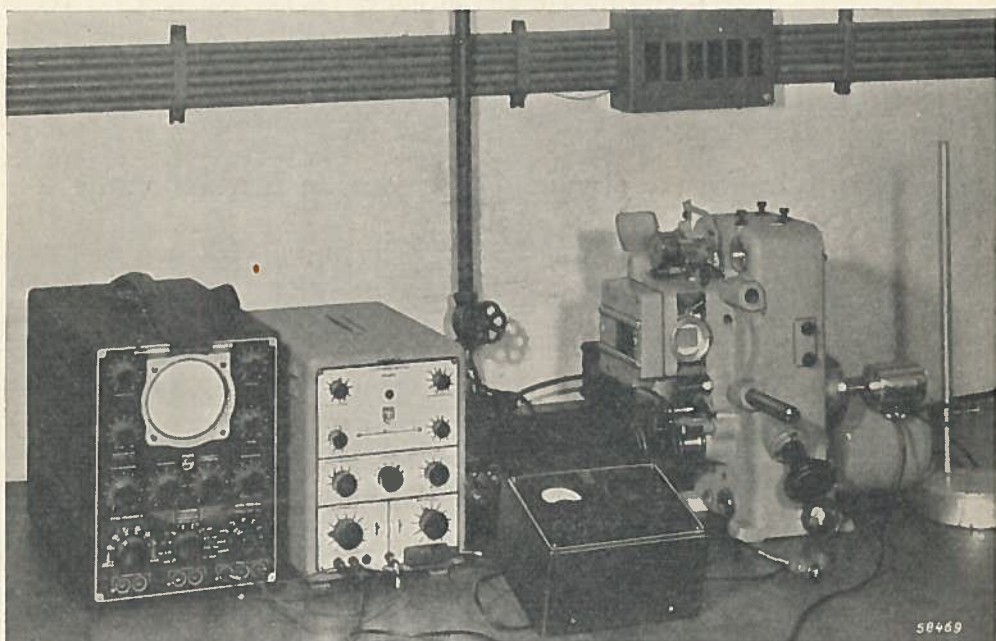
ELECTRONISCH METEN

HET GEBRUIK DER MODERNE
ELECTRONISCHE MEETAPPARATEN
IN LABORATORIA EN BEDRIJVEN



JAARGANG 2

NUMMER 12



Een opstelling voor het opsporen van de oorzaak van een storend bijgeluid in een cinemaprojector met behulp van de Philips trillingsmeetapparatuur, een kathodestraal-oscillograaf en een faze-indicator.

**HET GEBRUIK VAN
APPARATUUR
VOOR HET METEN
VAN MECHANISCHE
TRILLINGEN
IN INDUSTRIËLE
INSTALLATIES**

De Philips foto-electrische faze-indicator GM 5670 is gebleken een uiterst nuttig en veelzijdig bruikbaar instrument te zijn. In dit nummer wordt van deze faze-indicator een beschrijving gegeven, en worden er enige gegevens over verstrekt; uitvoerig wordt ingegaan op een reeks gebruiksmogelijkheden van de GM 5670, niet slechts voor mechanische metingen in combinatie met de Philips mechanische trillingsmeetapparatuur, doch ook voor elektrische metingen. Deze voorbeelden wijzen de weg naar verdere gebruiksmogelijkheden.

ENIGE GEBRUIKSMOGELIJKHEDEN VAN DE FOTO-ELECTRISCHE FAZE-INDICATOR GM 5670

door J. SEVERS, Eindhoven

Inleiding

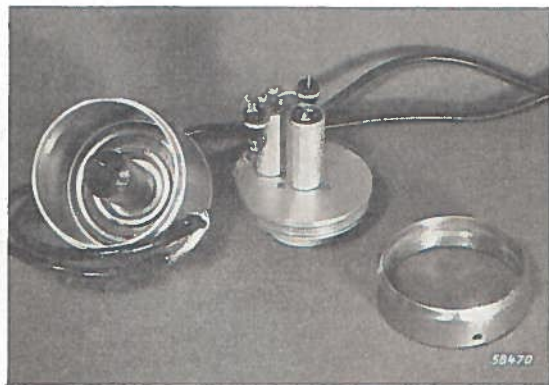
In „Electronisch Meten” 1, Nr. 12, werd het balanceren van roterende machinedelen met behulp van een Philips trillingsopnemer, een foto-electrische faze-indicator GM 5670 en een kathodestraaloscillograaf besproken. Op de blz. 11 en 12 van hetzelfde nummer vindt men een korte beschrijving van de constructie van de faze-indicator. Wij wezen er op, dat het instrument niet uitsluitend is bedoeld voor het vergemakkelijken van het balanceren, maar dat het ook voor andere doeleinden nuttig kan worden gebruikt. Er zal thans een en ander worden gezegd over een aantal van zulke andere gebruiksmogelijkheden.

Recapitulatie van de samenstelling van de faze-indicator

In het instrument bevindt zich een cylindertje van licht metaal, dat met de rotor waarmee de indicator is gekoppeld, meedraait. In het cylindertje is een smalle axiale spleet aangebracht. Door deze spleet valt eenmaal per omwenteling het licht van een buisvormig gloeilampje op een sperlaag-fotocel. Daardoor wordt een elektrische spanningsimpuls in de fotocel opgewekt. De positie van de spleet ligt ten opzichte van die van de aandrijvende rotor vast; de fotocel kan daarentegen met de hand een hoek van 360° in het huis worden verplaatst (fig. 1). Dientengevolge kan men de spanningsimpuls doen optreden in iedere gewenste hoekpositie ten opzichte van een bekende referentieradius op de aandrijvende as. Deze hoekpositie kan op een in graden verdeelde schaal worden afgelezen. (fig. 3).

Door gebruik te maken van de meetopstellingen die in dit artikel zullen worden besproken, kan men de spanningsimpuls met regelbare hoekpositie gebruiken voor hoofdzakelijk twee belangrijke doeleinden:

Fig. 1. Een gedemonteerde faze-indicator GM 5670. Links is het cilindrische huis met het licht-modulatie-rotortje van zwart geloxideerd aluminium. De metalen ringen op de bodem maken deel uit van de gloeistroom- en uitgangsstroomketens. In het midden van de foto ziet men de bedieningsschijf waarop zich de lamphouder en, buiten het midden, de fotocelhouder met contactpistons bevinden. Rechts is de ring die beide delen bijeenhoudt.



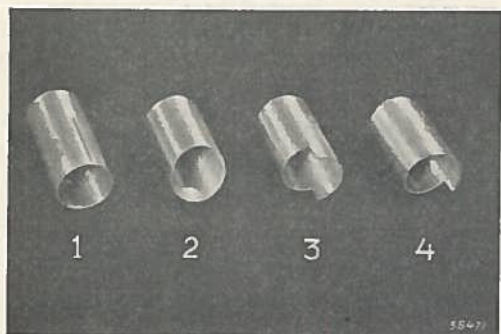


Fig. 2a. Enige experimentele modellen van lichtmodulatie-cylindertjes voor speciale doeleinden.

- 1 — Cylindertje voor een impulsvormige uitgangsspanning, waarbij tevens om de 30° een kleinere impuls optreedt.
- 2 — Cylindertje voor een sinusvormige uitgangsspanning.
- 3 — Cylindertje voor een rechtehoekvormige uitgangsspanning.
- 4 — Cylindertje voor een zaagtandvormige uitgangsspanning.

- a) voor het aanwijzen van de momentele hoekpositie van een roterend machinedeel ten tijde van het optreden van een of ander opmerkelijk verschijnsel;
- b) voor het meten van fazehoeken tussen elektrische of mechanische wisselgrootheden die met het toerental van de rotor in harmonische betrekking staan.

Lichtmodulatie-cylindertjes voor speciale doeleinden

De impulsvorm van de uitgangsspanning van de fotocel is ongetwijfeld de voor de eenvoud van de te gebruiken elektrische apparatuur meest gewenste. Deze spanning kan namelijk op een wisselspanning worden gesuperponeerd en vormt in het oscillogram van deze laatste steeds een gemakkelijk te herkennen merkteken.

Bij het meten van fazehoeken stelt men de markeringsimpuls achtereenvolgens op het midden van de top van de ene en van de andere sinus-kromme in. De fazehoek leest men dan op de in graden verdeelde schaal af als het verschil tussen de twee desbetreffende posities. De instelling van de impuls op het midden van een sinustop is echter in één keer nauwelijks beter dan op $2\frac{1}{2}$ hoekgraden nauwkeurig te verkrijgen. Men moet daarom voor het verbeteren van de betrouwbaarheid van de aflezing, deze instelling enige malen herhalen en het gemiddelde van de aflezingen bepalen. Indien de wisselspanningen zeer goed sinusvormig zijn, kan men de nauwkeurigheid van de aflezingen tot op één hoekgraad verbeteren, door in de faze-indicator gebruik te maken van een lichtmodulatiecylindertje, dat de fotocel een *sinusvormige* spanning doet leveren (fig. 2a—2).

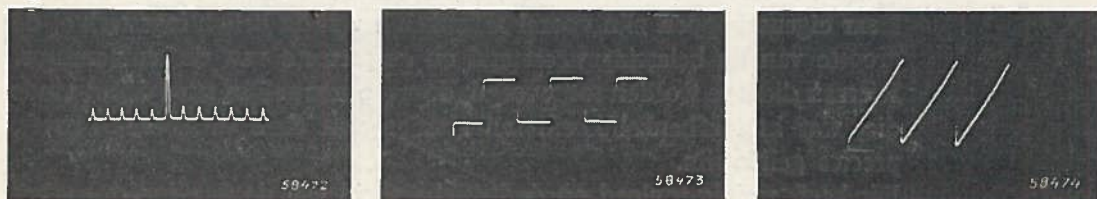


Fig. 2b. Oscillogrammen 1, 2 en 3 van de uitgangsspanning, die respectievelijk met de cylindertjes Nr. 1, 3 en 4 van fig. 2a kunnen worden verkregen.

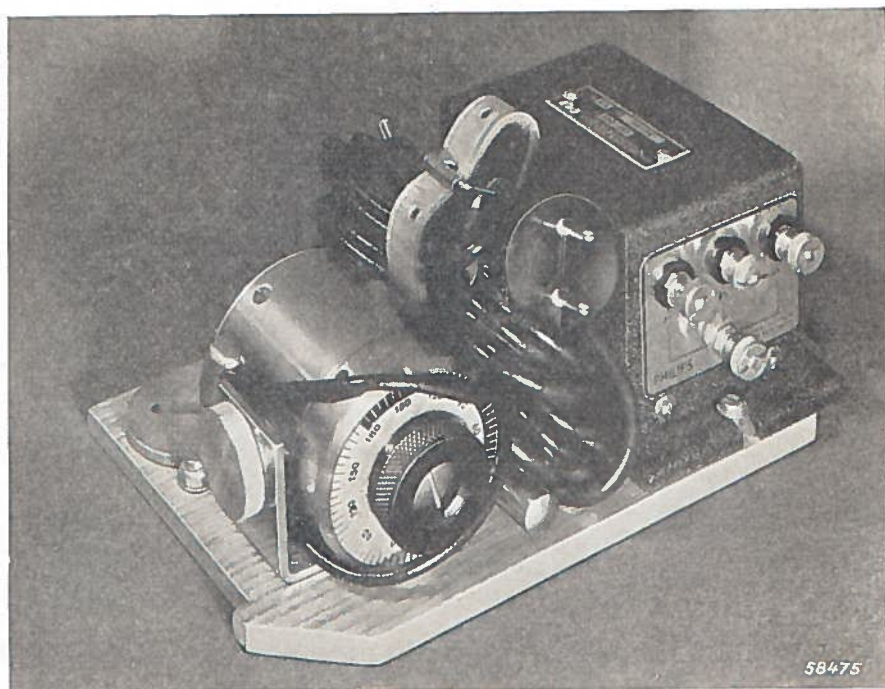


Fig. 3. De faze-indicator met de voedingstransformator en hulpstukken, bevestigd op een plankje dat in de universele kist GM 5530 voor de trillingsmeetapparatuur past.

Hiervoor is een iets uitgebreidere apparatuur nodig. Een andere uitvoering (fig. 2a—4) van het cylindertje verschaft een *zaagtandvormige* uitgangsspanning. Deze is als tijdasspanning van een oscillograaf te gebruiken voor het bestuderen van machinetrillingen bij sterk veranderende omwentelingssnelheden. Op gelijke wijze kunnen, door het inzetten van doeltreffend geprofileerde cylindertjes, *rechthoekvormige* spanningen of spanningen met andere, voor laboratoriumonderzoekingen belangrijke, bijzondere vormen worden verkregen. Dergelijke speciaal gevormde cylindertjes behoren niet tot de normale uitrusting van de faze-indicator GM 5670 (fig. 3); op aanvraag kunnen ze echter worden geleverd.

Grootte van de foto-electrisch opgewekte spanningen

De sperlaag-fotocel mag niet worden beschouwd als een generator met constante electromotorische kracht en constante inwendige weerstand. Haar eigenschappen zijn vooral afhankelijk van de belichtingssterkte, de grootte van de belastingsweerstand en enigermate van de temperatuur. Hieraan dient te worden toegevoegd, dat men nauwelijks twee cellen vindt die, wat hun afhankelijkheid ten aanzien van deze variabelen betreft, precies gelijk zijn.

Dit heeft weinig invloed op de bruikbaarheid van de faze-indicator, het verklaart echter waarom slechts bij benadering juiste waarden van de verkrijgbare spanningen kunnen worden opgegeven.

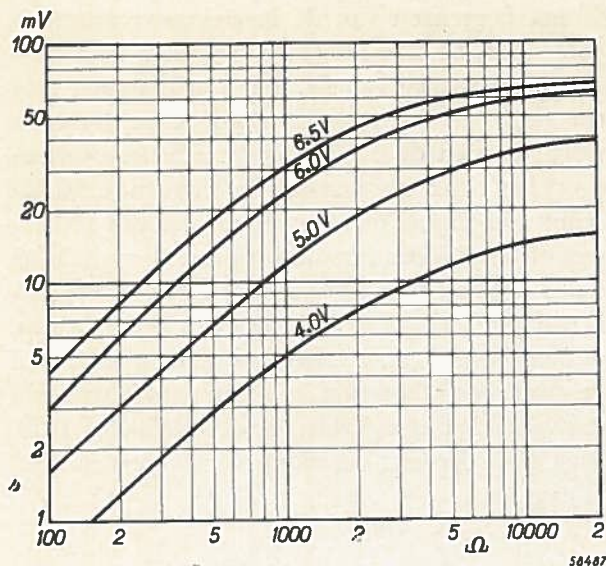


Fig. 4. De uitgangsspanning van de faze-indicator als functie van de uitwendige belastingsweerstand voor verschillende waarden van de gloeispanning.

De in fig. 4 getekende krommen geven het verband tussen de belastingsweerstand en de uitgangsspanning van een fotocel die ongeveer de gemiddelde gevoeligheid heeft, waarbij de gloeidraadspanning van het buislampje (type 6844) de parameter is. De ordinaat (uitgezet in millivolt topwaarde) geldt voor het normale modulatiecilindertje met spleet. Vermenigvuldiging met 0,7 geeft ongeveer de waarde in millivolt van top tot top (of „dubbele amplitude”), als de ontworpen cilindertjes voor een sinusvormige, een zaagtandvormige of een rechthoekvormige spanning worden gebruikt. De mechanische „modulatiediepte”, d.w.z. het verschil in lengte van de cylinderdelen dat hiermee overeenkomt, bedraagt 6 mm. Men kan, om een voorbeeld te geven, bij een sinusvormige spanning, een belastingsweerstand van 1000 ohm en een gloeispanning van 6 volt, een enkele topwaarde van omstreeks $0,5 \times 0,7 \times 23 = 8$ mV verwachten. De uitgangswisselspanning is gesuperponeerd op een gelijkspanning, zodat in gevallen waarin een versterkbuis hierdoor een verkeerde roostervoorspanning zou kunnen krijgen, een scheidingscondensator moet worden tussengeschakeld. Gebruikt men de faze-indicator in combinatie met het amplitude-meetapparaat GM 5522 van de trillingsmeetapparatuur, dan is de fotocel belast met een weerstand van 100 ohm. Het normale rotortje veroorzaakt dan een piekspanning van omstreeks 3 mV (bij een gloeispanning van 6 V). Deze spanning is voldoende groot voor het verkrijgen van een indicatiepiek op het scherm van de kathodestraaloscillograaf GM 3156.

Indien een oscillograaf met een geringere gevoeligheid wordt gebruikt, en in het bijzonder indien men in de faze-indicator een van de speciale cilindertjes heeft gemonteerd, zal het wenselijk kunnen zijn over een grotere uitgangsspanning van de fotocel te beschikken. In dat geval zal men een hogere waarde van de belastingsweerstand moeten kiezen. Een te grote waarde zal echter een nadelige invloed op de vorm van de spanningskromme hebben en ook geen verdere winst van de grootte van de

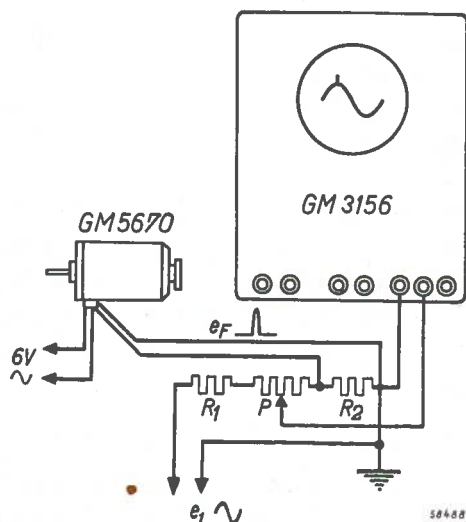
spanning opleveren. Voor het begrenzen van de belastingsweerstand is daarom, parallel aan de fotocel, in de faze-indicator een vaste weerstand van 5600 ohm aangebracht. De krommen van fig. 4 zijn opgenomen voor een faze-indicator waarin deze vaste shuntweerstand aangebracht is. Indien het gloeilampje wordt gevoed door het bijgeleverde transformator-tje, dat is aangesloten op het lichtnet, waarvan de frequentie 50 Hz bedraagt, is er op de lichtflux een rimpel met een frequentie van 100 Hz gesuperponeerd. Deze rimpel heeft, bij een impulsform van de verlichting van de fotocel, verkregen door middel van het cylindertje met een spleet, geen hinderlijke gevolgen. Bij gebruik van cylindertjes van andere vorm, moet het buislampje worden gevoed door een accumulator met een spanning van 6,3 volt. De gloeistroom bedraagt, met een nauwkeurigheid van 5% voor de spanningen van 4, 5, 6 en 6,5 volt, respectievelijk 0,5, 0,58, 0,64 en 0,7 ampère. Een lage gloeispanning verzekert vanzelfsprekend een lange levensduur van het lampje.

Het bepalen van een momentele hoekpositie

Bij het onderzoeken van gewenste of ongewenste eigenschappen van motoren, machines of apparaten die roterende delen bezitten, komt het nog al eens voor dat men de positie van een rotor wil kennen op het ogenblik van optreden van een opmerkelijk verschijnsel. Men denke bijvoorbeeld aan piekwaarden van een pulserende kracht, aan detonatie-trillingen, tikken, slaan of kleppen.

Stroboscopische waarnemingen leiden bij zulk een onderzoek veelal niet tot de gewenste resultaten. Met behulp van een geschikte trillingsopnemer kan men evenwel het mechanische verschijnsel in een elektrische spanning omvormen en deze laatste op het scherm van een oscillograaf vergelijken met de spanning van de met de rotor gekoppelde positie-indicator.

Fig. 5. De eenvoudigste schakeling van de faze-indicator met een oscillograaf. De spanningsimpuls e_F wordt gesuperponeerd op de wisselspanning e_1 ; de beeldhoogte wordt ingesteld met behulp van de potentiometer P . Geschikte weerstandswaarden zijn: $R_1 = P = 0,5$ megohm. De belastingsweerstand van de fotocel R_2 kan een waarde hebben van 100 tot 500 ohm, afhankelijk van de gewenste grootte van de piek.



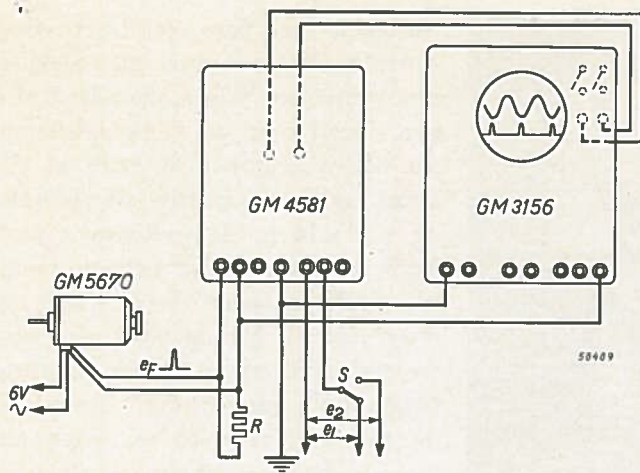


Fig. 6. De schakeling voor het gelijktijdig, doch gescheiden zichtbaar maken van een te onderzoeken spanning e_1 of e_2 en de impuls spanning e_F van de faze-indicator. Met deze schakeling werd het oscillogram van fig. 7 verkregen. Men kan er evenwel ook de fazehoek tussen twee sinusvormige spanningen e_1 en e_2 mee meten, door deze met behulp van de schakelaar S beurtelings op het scherm te brengen en de impuls op het midden van de sinustoppen in te stellen. De verbinding van de faze-indicator met de ingang van de versterker voor verticale afbuiging van de oscillograaf dient voor het synchroniseren van de tijdas met het verschijnsel.

De eenvoudigste methode van vergelijken van deze twee spanningen is in fig. 5 schematisch voorgesteld. Men heeft hier te maken met een schakeling, waarbij de van de indicator (waarin het normale rotortje met spleet) afkomstige spanningsimpuls Ve_F wordt *gesuperponeerd* op de met de trilling overeenkomende spanning Ve_1 . Op het scherm van de kathodestraalbuis ziet men dus een enkel oscillogram waarin de twee verschijnselen zijn vervat. Fig. 7 van het artikel van „Electronisch Meten” 1, Nr. 12, toont een complete opstelling volgens deze schakeling.

Nu kan een zodanige vorm van het oscillogram van de machinetrilling voorkomen, dat men hierin de impuls die de rotorpositie markeert, niet duidelijk onderscheidt. In dat geval verdient het de voorkeur, met behulp van een elektronische schakelaar, de beide oscillogrammen gelijktijdig, doch van elkaar gescheiden, op het scherm van de oscillograaf zichtbaar te maken. In fig. 6 is schematisch voorgesteld hoe de elektronische schakelaar GM 4581 voor dit doel wordt gebruikt, en in fig. 7 ziet men een oscillogram van een opgenomen machinetrilling, met daaronder de impuls die de positie markeert. De machinetrilling was in dit geval een tikverschijnsel dat optrad in het ontwikkelingsmodel van een nieuwtypecinema-projectieapparaat (fig. 8). De trilling van dit verschijnsel werd opgenomen door een electromagnetische opnamer GM 5527; deze werd geplaatst tegen het huis van de projector, op de plaats waar de intensiteit van de storing het grootst bleek te zijn. Het amplitude-meetapparaat GM 5522 was daarbij gebruikt in de schakelpositie voor versnelingsmeting, om de weergave van andere

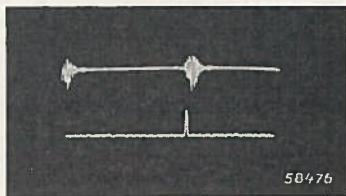


Fig. 7. Oscillogram van een mechanisch tikverschijnsel, met daaronder de markeringsimpuls voor het aanwijzen van de positie van de rotor bij het begin van de storing. De tijdas is gesynchroniseerd met de markeringsimpuls.

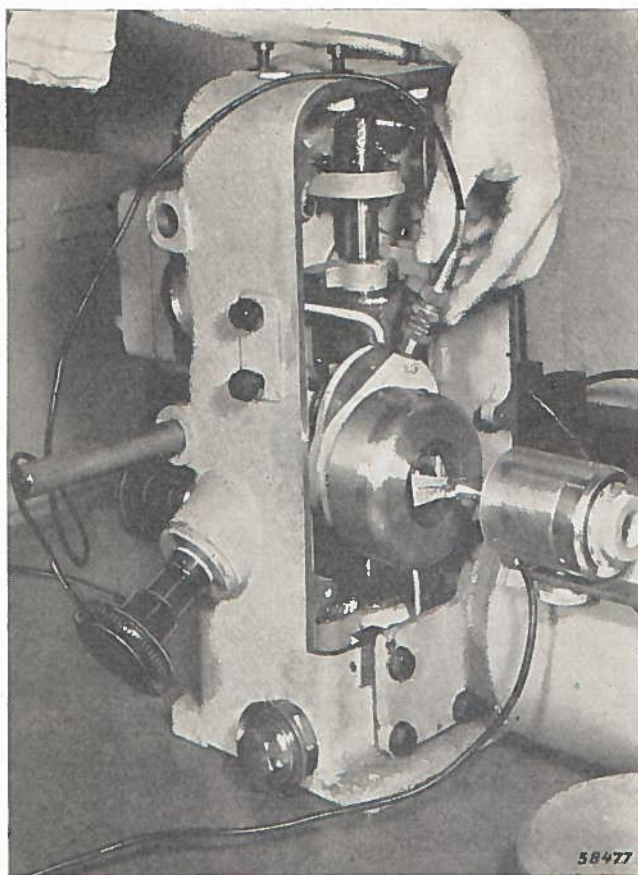


Fig. 8. Het onderzoeken van een cinemaprojector ten einde de oorzaak van een ongewenst geraas op te sporen. Het apparaat wordt afgetast met de trillingsopnemer GM 5527, waarop een stukje dun vilt is vastgeklemd voor het bewaren van een kleine afstand tot het object. Rechts ziet men de faze-indicator die met een vliegwiel van de projector is gekoppeld.

indicatie van een rotorpositie wordt door fig. 9 geïllustreerd. Deze figuur toont het oscillogram van een sinusvormig gemoduleerde draaggolf, waaronder wederom de markeringsimpuls. De draaggolfmodulatie is het electrisch effect van een door een onbalansmachine veroorzaakte wisselkracht, en de impuls van de indicator geeft het middel voor het vaststellen van de positie van de onbalansmassa's, op het ogenblik dat de kracht in een gekozen richting maximaal is.

Het meten van fazehoekverschillen van elektrische wisselspanningen en wisselstromen

In deze paragraaf wordt een toepassing besproken die buiten

trillingen met een veel lagere frequentie, die voor deze onderzoeking niet van belang waren, te onderdrukken. Heeft men de bedieningsknop van de indicator GM 5670 in de stand gebracht waarin de impuls op het scherm de gewenste plaats heeft ingenomen, dan behoeft men, ten einde te weten welke stand de rotor had op het ogenblik dat het storend verschijnsel en de markeringsimpuls gelijktijdig optraden, de motor slechts stil te zetten en met de hand langzaam te draaien tot het observatievenstertje in de verdeelde schaal van de indicator met maximale sterkte is verlicht. In het besproken geval konden de ontwerpers van het cinema-apparaat, door het kennen van de positie van de rotor bij het optreden van het tikverschijnsel en de plaats waar dit het sterkst doorkwam, ogenblikkelijk de oorzaak van het geraas aangeven. Daar het storend onderdeel zich in een gesloten bakje bevond, ware er nauwelijks een andere methode waarmee de storingsbron zo snel en eenvoudig had kunnen worden gelocaliseerd, te bedenken geweest. Een geheel ander voorbeeld van

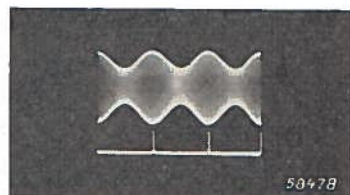


Fig. 9. Het oscillogram van een door een mechanische wisselkracht gemoduleerde draaggolf. De markeringsimpuls geeft de positie aan van de rotor van de trillingsmachine, op het ogenblik dat de kracht haar maximale grootte heeft bereikt.

het bestek der trillingsmetingen valt, maar die wellicht voor de techniek van elektrische metingen interessante mogelijkheden biedt. Het betreft hier een ongewone opstelling voor het meten van fazehoeken tussen spanningen of stromen met de frequentie van het net of met frequenties die hiermee in harmonische betrekking staan. Evenals iedere andere methode van meten van fazehoeken tussen elektrische grootheden, heeft

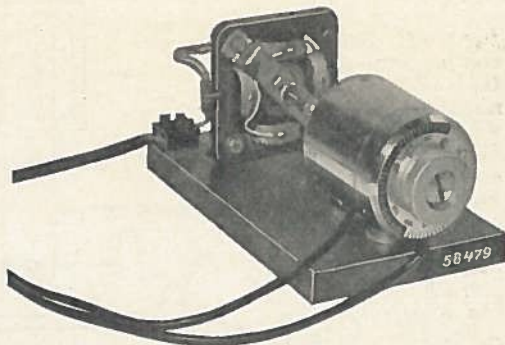
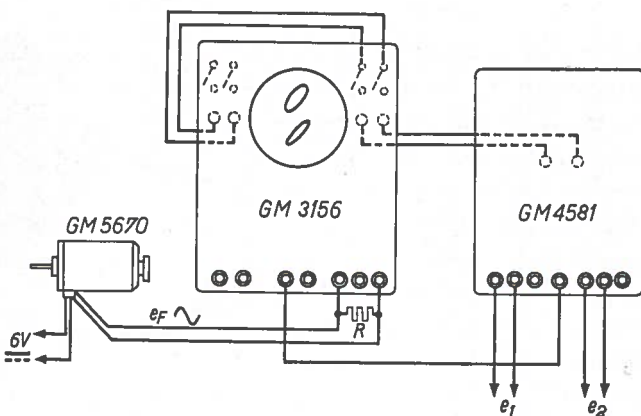


Fig. 10. De met een kleine synchroommotor gekoppelde fase-indicator voor het meten van fazehoeken in elektrische ketens, die door hetzelfde net worden gevoed als dat waarop het motortje is aangesloten.

die welke wij hier beschrijven haar voor- en nadelen. Behalve de zo juist reeds genoemde beperking van het frequentiegebied, is er in dit geval een grens gesteld aan de nauwkeurigheid waarmee de fazehoek kan worden ingesteld en afgelezen. De hoekaflezing kan in het gunstigste geval op $\frac{1}{2}$ tot 1 graad nauwkeurig geschieden. Talrijk zijn de gevallen waarin deze beperkingen volkomen aannemelijk zijn. De aantrekkelijkheid van de methode met de fase-indicator is het gemak waarmee men, met de in de meeste modern ingerichte laboratoria toch reeds aanwezige apparatuur, snel een *direct afleesbare* fazehoekmeter kan samenstellen, die voor vrijwel alle in de praktijk voorkomende stroomsterkten en spanningen geschikt is.

Het is een welbekend feit dat bij een bepaalde fazebetrekking tussen de componenten van de x- en de y-as, een Lissajous figuur een betrekkelijk eenvoudige vorm heeft. Zo gaat bijvoorbeeld, indien deze componenten dezelfde frequentie hebben, een ellips over in een rechte lijn, als de fazehoek 0° of 180° wordt. Van deze eigenschap wordt in de hier te beschrijven methode gebruik gemaakt. De fase-indicator GM 5670 is gekoppeld met een op het lichtnet aangesloten klein synchroommotortje. Deze fase-indicator is voorzien van een lichtmodulatiecilindertje dat een *sinusvormige wisselspanning* veroorzaakt. De combinatie motor-fase-indicator maakt het mogelijk de fazehoek tussen de uitgangswisselspanning van de fotocel en de netwisselspanning van 0 tot 360° te veranderen. Deze uitgangswisselspanning wordt aan een van de paren afbuigplaten van een kathodestraaloscillograaf gelegd. Aan het andere paar platen worden achtereenvolgens de eerste en de tweede van de in fazehoek verschillende spanningen gelegd. Door de instelknop van de indicator te draaien, kan men achtereenvolgens voor ieder van deze twee spanningen dezelfde Lissajous figuur produceren. Het verschil tussen de beide hoekaanwijzingen op de schaal van het instrument is de gezochte faseverschilhoek, indien de spanningen in de richting van de x-as en van de y-as dezelfde frequentie hebben. Een experimentele combinatie van een synchroommotortje en een fase-indicator is in fig. 10 afgebeeld. Er werd een zelf-

Fig. 11. Schakeling van de faze-indicator GM 5670, de electronische schakelaar GM 4581 en de oscillograaf GM 3156 voor het gelijktijdig zichtbaar maken van twee Lissajous figuren. Deze schakeling wordt ook aanbevolen voor het gebruik van het op blz. 3 besproken cylindertje voor een zaagtandvormige fotocelspanning.



aanlopend synchroonmotortje gebruikt met een draaimoment van ongeveer 30 gramcentimeter. Dit moment was voor het gestelde doel meer dan voldoende. Het motortje moet soepel en met een constant wrijvingskoppel lopen. Het in fig. 10 afgebeelde motortje loopt bij een netfrequentie van 50 Hz met een snelheid van 1500 omwentelingen per minuut¹⁾. De uitgangsspanning van de faze-indicator heeft dus een frequentie van 25 Hz. De handigste manier om de spanningen waarvan het verschil in fazehoek moet worden bepaald, beurtelings op het oscillograafscherm te brengen, is een electronische schakelaar te gebruiken; men ziet ze dan namelijk gelijktijdig. De volledige opstelling voor het meten van fazeverschilhoeken volgens de beschreven methode, is schematisch getekend in fig. 11. De spanning van de faze-indicator wordt versterkt in de versterker voor verticale afbuiging van de oscillograaf GM 3156, en daarna aan de platen voor horizontale afbuiging gelegd. De fotocel moet geshunt zijn met een weerstand van zodanige waarde, dat de spanning voldoende groot en bovendien sinusvormig is.

De uitgangsbussen van de electronische schakelaar GM 4581 zijn verbonden met het platenpaar voor verticale afbuiging; de te onderzoeken spanningen liggen aan de ingangsbussen. Waar de hoge ingangsimpedantie en de grote gevoeligheid van de electronische schakelaar GM 4581 niet

¹⁾ Het is niet beslist nodig te verlangen dat het toerental overeenkomt met de netfrequentie; een veelvoud of een deel ervan, bijv. $\frac{1}{2}$ of $\frac{1}{3}$, is eveneens bruikbaar. De op de schaal van de faze-indicator afgelezen verschilhoek Φ is dan echter niet zonder meer de gezochte fazehoek φ . Men bedenke dat de hoek Φ wordt doorlopen in een tijd $t_1 = \frac{\Phi}{360} \cdot \frac{1}{f_x}$ sec, en de hoek φ in een tijd $t_2 = \frac{\varphi}{360} \cdot \frac{1}{f_y}$ sec.; hierin is f_x de frequentie van de spanning van de faze-indicator die in de richting van de x-as werkt en f_y de frequentie van de spanningen waarvan de faze-verschilhoek moet worden gemeten en die in de richting van de y-as werken. Uit de voorwaarde dat, voor het verkrijgen van gelijke Lissajous figuren, $t_1 = t_2$ moet zijn, volgt dus:

$$\varphi = \Phi \frac{f_y}{f_x}.$$

Heeft de faze-indicatorspanning de frequentie $f_x = 25$ Hz, en hebben de te vergelijken spanningen de frequentie $f_y = 50$ Hz, dan moet de afgelezen hoek met een factor twee worden vermenigvuldigd. De relatieve nauwkeurigheid van aflezing gaat hierbij uiteraard evenredig achteruit; zij verbetert daarentegen indien de frequentie van de faze-indicatorspanning een veelvoud is van de frequentie van de te vergelijken spanningen.

nodig zijn (zie „Electronisch Meten” 2, Nr. 9), kan men vanzelfsprekend ook de GM 4580 gebruiken. Bij gebruik van de aangegeven schakeling, bevinden zich de Lissajous figuren op het scherm *boven* elkaar. Men kan zonder bezwaar de aansluitingen op de beide paren platen verwisselen; de Lissajous figuren bevinden zich dan *naast* elkaar.

Met de beschreven installatie voor het meten van fazehoeken kan zeer gemakkelijk worden gewerkt, en men vindt hiervoor een groot aantal gebruiksmogelijkheden.

Bij het onderzoeken van wisselstroommotoren, transformatoren, impedanties en meer of minder gecompliceerde netwerken (om slechts enige voorbeelden te noemen), komt het herhaaldelijk voor dat men faseverschillen zou willen kennen. Daar men bij gebruik van de elektronische schakelaar GM 4581 reeds bij een ingangsspanning van enige millivolt een beeld van behoorlijke grootte verkrijgt, kan het spanningsverval in weerstanden van zeer lage waarde voldoende zijn om ook het meten van faseverschillen tussen zwakke stromen mogelijk te maken.

Een van de gevallen waarin wij de installatie gebruikten, was het bepalen van de capaciteit van de seriecondensator van het in fig. 10 getoonde synchroonmotortje, waarmee een fazehoekverschil van 90° tussen de beide paren veldspoelen wordt verkregen.



a)



b)

Fig. 12. Voorbeeld van een fazehoekmeting met behulp van de in fig. 10 afgebeelde faseverschuiver. De twee met elkaar te vergelijken spanningen met een frequentie van 50 Hz werden, via een elektronische schakelaar GM 4581, aan de platen voor verticale afbuiging van de oscillograaf gelegd. De versterkte spanning van de fase-indicator met een frequentie van 25 Hz ligt aan de platen voor horizontale afbuiging. De spanningen met een frequentie van 50 Hz hebben een verschil in fazehoek van 28° .

De oscillogrammen van de fig. 12a en 12b tonen de Lissajous figuren van twee (zwak vervormde) 50 Hz spanningen, met de 25 Hz spanning van de indicator als tijdas. Om fig. 12a te doen overgaan in fig. 12b, moest de bedieningsknop van de fase-indicator 14 graden *tegen de draairichting van het motortje in* worden gedraaid.

Het feit dat tegen de draairichting in moest worden gedraaid, wijst er op, dat de toestand die met de eenvoudige boogvormige figuur onderaan fig. 12b overeenkomt, op een *vroeger* tijdstip bestaat dan die bovenaan fig. 12a. De met de onderste oscillogrammen corresponderende spanning was dus 28° *voorijlend* ten opzichte van die welke correspondeert met de bovenste. Indien de tweede spanning *naijlend* ware geweest, zou men de knop *met de draairichting mee* hebben moeten verzetten.

Een modificatie van de beschreven fazehoekmeter maakt het mogelijk de fazekarakteristiek, d.w.z. de grootte van de fazehoekfout als functie van de frequentie, op te nemen van bijv. laagfrequentversterkers, voor frequenties die liggen tussen enige Hz en 50 tot 100 Hz. Dit is het frequentiegebied waarin vele laagfrequentieversterkers en andere van de frequentie afhankelijke netwerken, belangrijke fazefouten vertonen. De modificatie bestaat hierin, dat men het synchroonmotortje vervangt door een aggregaat bestaande uit een kleine gelijkstroommotor en een wisselstroomgeneratortje, waarmee de fase-indicator is gekoppeld. De omwentelingssnelheid van het gelijkstroommotortje kan door regeling van de veld- en ankerstroom in een zeer groot gebied worden gevarieerd. De door de wisselstroomgenerator opgewekte spanning wordt bij voorkeur eerst aan een eenvoudig RC integratie-element met een tijdconstante van $RC \approx 0,5$ sec gelegd. Hierdoor wordt de sinusvorm van de spanning verbeterd en kan de grootte van de spanning onafhankelijk van de frequentie worden gemaakt.

De in fig. 17 afgebeelde, door een gelijkstroommotor gedreven trillingsmachine, wordt door ons voor het opnemen van fazekarakteristieken van versterkers op de bovenvermelde wijze gebruikt. Als wisselstroomgenerator dient een door een heen- en weer bewegende schuif gedreven trillingsopnemer GM 5526, waarachter een integratie-element van het amplitude-meetapparaat GM 5522 is geschakeld.

De ingangs- en de uitgangsspanning van de te onderzoeken versterker, of van een ander van de frequentie afhankelijk element, worden aan de ingangsbussen van de elektronische schakelaar gelegd. Het verschil in fazehoekfout van de beide kanalen van de elektronische schakelaar GM 4581, is bij hogere frequenties dan 1 Hz verwaarloosbaar klein indien beide schakelaars die voor het kiezen van een laagste doorlaatfrequentie van 1 Hz of van 10 Hz dienen, zich in de stand van 1 Hz bevinden.

Het meten van fazehoeken in mechanische trillingssystemen

Bij het balanceren van rotoren wordt uit de meting van de relatieve intensiteit en van de fazehoek tussen twee trillingsbewegingen, een conclusie getrokken omtrent de betrekkingen tussen de werkende onbalanskrachten. In andere gevallen, bijv. bij het grondonderzoek, kan een meting van deze grootheden de gegevens verschaffen voor het berekenen van voortplantingseigenschappen van trillingen; dan wel volgen uit de intensiteits- en fazebetrekkingen tussen een kracht en een snelheid, de karakteristieke constanten van een mechanische impedantie.

Enige specifieke voorbeelden van zulke metingen worden in de onderstaande paragrafen besproken.

1. *Het meten van de voortplantingssnelheid van trillingen*

In fig. 13 is een experimentele opstelling afgebeeld voor het meten van de voortplantingssnelheid van trillingen in de vloer van een gebouw.

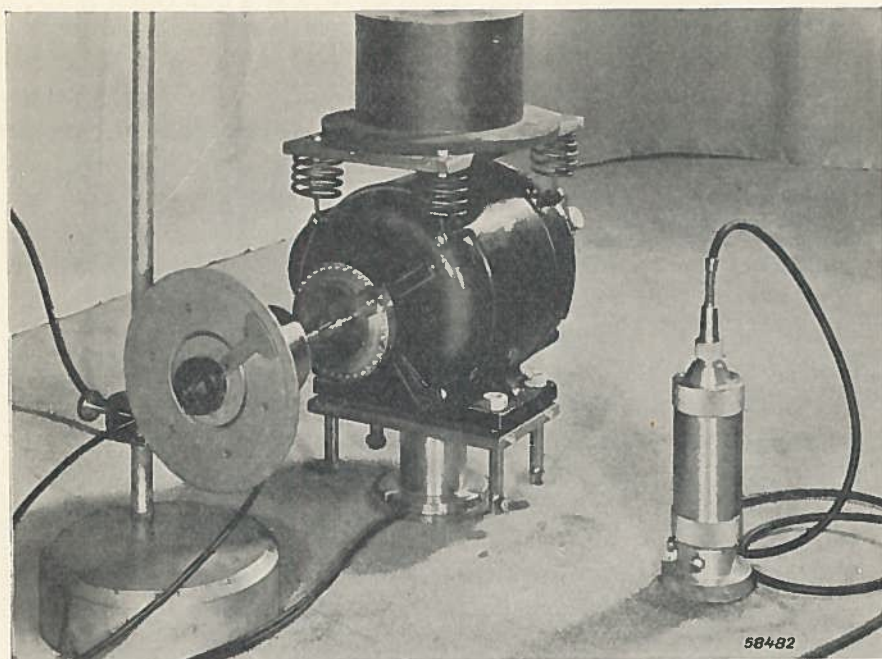


Fig. 13. Opstelling voor het meten van de voortplantingssnelheid van trillingen in een vloer. De faze-indicator is gekoppeld met de onbalans-trillingsmachine. Een vergrote gradenschaal (experimenteel model) verbetert de afleesnauwkeurigheid. Naast de machine bevindt zich de seismische trillingsopnemer GM 5520.

Meestal zullen dergelijke metingen van groter belang zijn voor onderzoekingen van de aardbodem. Deze opstelling bestaat uit een onbalans-motor waarmee de faze-indicator is gekoppeld, en een trillingsopnemer GM 5520. De onbalansmassa's van deze eenvoudige trillingsmachine draaien in dezelfde richting. Ten einde te vermijden dat krachten in een richting parallel aan de vloer hierop worden overgedragen, werd de motor aan vier bladveren opgehangen. De tussen de motor en de vloer aangebrachte cylinder is een krachtopnemer, die voor deze meting niet essentieel is en later ter sprake komt. Het gewicht van de motor was kleiner dan de grootste piekwaarde van de wisselkracht. Om deze reden werd de voordruk op de vloer vergroot door een extra massa, die via vier betrekkelijk slappe schroefveren op de motor drukt. De faze-indicator is voorzien van een schaal van een zodanig grote diameter, dat hierop hoeken kunnen worden afgelezen met een grotere nauwkeurigheid dan één hoekgraad. Het lichtmodulatie-cylindertje voor sinusvormige fotocelspanning is in het instrument gemonteerd. De rest van de apparatuur kan zijn samengesteld volgens de reeds eerder besproken en in fig. 11 getekende schakeling. Aan de ingang van één kanaal van de elektronische schakelaar bevindt zich de door de trillingsopnemer GM 5520 opgewekte snelheidseigenredige spanning; het andere kanaal wordt niet benut. Het apparaat doet slechts dienst als spanningsversterker. (Men kan echter ook een oscillograaf met twee

ingebouwde gevoelige versterkers voor horizontale en verticale afbuiging gebruiken in plaats van de combinatie GM 3156 en GM 4581.) Eventueel kan men, indien de sinusvorm van de door de trillingsopnemer opgewekte spanning niet voldoende goed is, een integrerend element tussenschakelen (schakelaar van de GM 5522 in de stand voor verplaatsingsmeting). Men kan hiermee de op het scherm van de kathodestraalbuis verschijnende Lissajous ellips beter tot een scherpe lijn reduceren. De methode voor het bepalen van de voortplantingssnelheid in de vloer bestaat hierin, dat men, in een rechte lijn vanuit de plaats van excitatie, de trillingsopnemer op met regelmatige sprongen toenemende afstand met de vloer in contact brengt en voor iedere plaats de fazehoek meet tussen de vloertrilling ter plaatse en de vloertrilling op het punt van uitgang. Men neme daarbij nota van de richting waarin de knop van de faze-indicator moet worden gedraaid — in het algemeen voor toenemende afstand in de draairichting van de rotor — en houde het teken van de hellingsrichting van de Lissajous lijn op het scherm gelijk. De fazehoek wordt als functie van de afstand op millimeterpapier uitgezet. Het toerental van de motor moet gedurende de metingen zorgvuldig constant worden gehouden. Indien nu, in het geval van het bodemonderzoek, het onderzochte stuk grond homogeen is, en er geen reflecties door ondergelegen aardlagen of naburige obstakels optreden, neemt de negatieve fazehoek lineair met de afstand toe. De voortplantingssnelheid in m/sec vindt men dan onmiddellijk uit het quotiënt $360/p$, waarin p het aantal graden fazeverschuiving per meter is. Plaatselijke afwijkingen van de voortplantingssnelheid ten gevolge van discontinuïteiten in de bovenlaag, alsmede reflecties in de ondergrond, zullen de lijn die de betrekking tussen fazeverschuiving en afstand vertegenwoordigt, een meer of minder „kreukelig” karakter geven. Zulke afwijkingen van de lineariteit kunnen op zich zelf voor de onderzoeking interessant zijn. Grafisch kan men de gemiddelde fazeverschuiving per meter bepalen.

2. *Fazehoekmetingen bij het onderzoeken van een mechanische impedantie*

Hoewel voor het bepalen van de dynamische constanten van proefobjecten het gebruik van electrodynamische excitatoren snel veld wint, worden voor dit doel toch ook krachtopwekkers van het type dat met roterende onbalansgewichten werkt nog veel gebruikt. Dit is in het bijzonder het geval daar waar grote krachten bij frequenties beneden 50 tot 100 Hz worden verlangd.

Het bestuderen van de fazebetrekkingen tussen de kracht en de door deze veroorzaakte trillingsbeweging, met behulp van de met de onbalansmachine gekoppelde faze-indicator, kan dienstig zijn voor het aanvullen of verifiëren van de conclusies die uit de intensiteitsverhoudingen kunnen worden getrokken. In andere gevallen is zulke bestudering nuttig voor het verkrijgen van gegevens die niet uit de intensiteits-

verhoudingen zijn af te leiden. Enige voorbeelden mogen dienen tot het toelichten van deze verklaring.

Voorbeeld a

De vergelijking voor de mechanische impedantie

$$(1) \quad z = r + j\omega m - js/\omega$$

van een eenvoudig veer-massasysteem (veerstijfheid s , massa m) met constante dempingscoëfficiënt (δ) kan worden geschreven in de vorm:

$$(2) \quad z = \frac{s}{\omega} [\delta + j(n^2 - 1)],$$

indien $\frac{r\omega}{s} = \delta$, $\frac{s}{m} = \omega_0^2$ en $\frac{\omega}{\omega_0} = n$.

De vorm tussen grote haakjes heeft geen dimensie en maakt het mogelijk het *algemene* verloop van de grootte en de fazehoek van z te tekenen als functie van ω met δ als parameter.

Uit de fundamentele betrekking $\hat{x} = \hat{F}/z$ ($\hat{x}$ = snelheidsamplitude, $\hat{F}$ = krachtsamplitude) volgt dan voor de modulus van de verplaatsingsamplitude:

$$(3) \quad \hat{x} = \frac{\hat{x}}{\omega} = \frac{\hat{F}}{s \sqrt{\delta^2 + (n^2 - 1)^2}}.$$

Deze vergelijking, waarin s desgewenst nog mag worden vervangen door $\omega_0^2 m$, levert in de nabijheid van $n = 1$ de welbekende resonantie-kromme van een dergelijk trillingssysteem.

De grootheden die de onderzoeker in de eerste plaats interesseren zijn de eigenfrequentie $f_0 = \omega_0/2\pi$ en de dempingscoëfficiënt δ . Zowel f_0 als δ zijn met behulp van vergelijking (3) gemakkelijk genoeg af te leiden uit de verhouding $\hat{x}/\hat{F}$ als functie van de frequentie, indien δ een kleine waarde heeft. Wordt δ echter vrij groot — zoals voorkomt bij trillingssystemen met grote afmetingen: een spoorbrug, een stuk grond, enz. — dan is het ten eerste al lastig dat, ten gevolge van de bij een onbalansmachine met ω^2 evenredige kracht, $\hat{x}_{\max}$ niet samenvalt met $n = 1$; doch bovendien krijgt de resonantiekromme een erg vlak verloop. Het is dan moeilijk daaruit ω_0 en δ behoorlijk te bepalen. In dergelijke gevallen is het veel doelmatiger het verloop van de grootte van de fazehoek tussen de verplaatsing en de kracht te bestuderen.

De grootte van deze fazehoek (φ_{x-F}) vindt men voor het besproken trillingssysteem door middel van:

$$(4) \quad \varphi_{x-F} = \text{bg tg } \frac{-\delta}{1-n^2},$$

onafhankelijk van de trillingsamplitude, aangenomen ten minste dat δ hiervan niet afhankelijk is.

Nu blijkt dat juist in resonantie, waar $n = 1$ en φ dus -90° is, het verloop van φ als functie van ω het *steilst* en dus het meest geschikt is

voor het bepalen van de eigenfrequentie. Bovendien kan men, als het verloop van φ als functie van de frequentie is opgenomen, uit vergelijking (4), de dempingscoëfficiënt afleiden. Na een kleine omrekening krijgt men:

$$(5) \quad \delta = \left[\frac{2 \Delta f}{f_0} + \left(\frac{\Delta f}{f_0} \right)^2 \right] \cotg \Delta \varphi,$$

waarin $\frac{\Delta f}{f_0}$ de relatieve verstemming is, Δf gerekend vanaf de eigenfrequentie f_0 , voor het tweeeebrengen van een zekere fazehoekverandering ten opzichte van de 90° toestand. Het *teken* van Δf en $\Delta \varphi$ is positief indien in de richting van hogere frequenties, negatief indien in de richting van lagere frequenties wordt verstemd.

Als men bijvoorbeeld bij $+20\%$ verstemming een fazehoek van $111,8^\circ$ meet, dan is $\Delta \varphi = +21,8^\circ$, en zal δ de waarde hebben:

$$\delta = 2 \times (0,2 + 0,04) \cotg 21,8^\circ = 0,48 \times 2,5 = 1,2.$$

In dit voorbeeld was de dempingscoëfficiënt bijzonder groot. In de meeste gevallen is δ kleiner en krijgt men dus ook reeds bij kleinere relatieve verstemmingen een behoorlijk afleesbare $\Delta \varphi$.

De kwadratische factor in (5) kan dan worden verwaarloosd.

Kracht- en verplaatsingsamplituden zijn bij toepassing van deze methode slechts van secundair belang.

In fig. 13 is tussen de onbalansmachine en het object, in casu de vloer, een krachtopnemer te zien. Een dergelijke opnemer kan bestaan uit een stalen cylinder die aan één zijde is afgesloten door een stijf membraan en waarin zich een element bevindt dat gevoelig is voor verplaatsingen, bijv. een rekstrookje²⁾. De met de kracht evenredige doorbuigingen van het membraan kunnen door middel van genoemd element een elektrische draaggolf moduleren, en indien het element in een geschikte brugschakeling is opgenomen, kan men de modulatie diepte naar wens regelen. Ten einde te vermijden dat een of andere fazefout optreedt, wordt de draaggolf niet gedetecteerd, maar legt men ze direct aan de ingang van de versterker voor een van de platenparen van een oscillograaf. Aan het andere paar platen wordt na versterking de sinusvormige spanning van de met de motor gekoppelde faze-indicator gelegd.

Zonder een nadere toelichting te behoeven, illustreert fig. 14 hoe het dan verschijnende trapeziumvormige oscillogram reageert op een fazeverschuiving van de indicatorspanning. Door met behulp van een met de hand bediende of elektronische schakelaar van de gemoduleerde draaggolf over te schakelen op de verplaatsingsevenredige uitgangsspanning van een op het object geplaatste trillingsopnemer (GM 5520 met GM 5522, waarvan de omschakelaar zich bevindt in de stand voor verplaatsingsmeting), kan de fazehoek tussen de kracht en de verplaatsing worden gevonden.

Hierbij mag niet worden vergeten een correctie aan te brengen voor

²⁾ Zie „Electronisch Meten” 2, Nr. 7, 9 en 11.



Fig. 14. Lissajous oscillogrammen van een gemoduleerde draaggolf en van de L.F. uitgangsspanning van een trillingsopnemer, beide via een elektronische schakelaar GM 4581 aan de platen voor verticale afbuiging van de oscillograaf gelegd. Tussen de modulatiespanning en de opnemer-spanning is een verschil in fazehoek van 40° . De tijdas wordt verkregen door middel van een sinusvormige spanning met dezelfde frequentie, die afkomstig is van de faze-indicator.

de fazehoekfout van de opnemer met het integratie-element (zie fig. 5, „Electronisch Meten” 1, Nr. 12).

Voorbeeld b

Trillingsmachines met roterende onbalansgewichten worden ook wel gebruikt bij het bepalen van de verlieshoek van materialen voor trillings-isolatie als kurk, vilt en diverse soorten rubber. In fig. 15 is een demonstratieopstelling afgebeeld. Hierbij is wederom een faze-indicator GM 5670 met de motor gekoppeld. Men kan hiermee de verlieshoek van het materiaalmonster meten indien deze hoek niet te klein is. De proefsubstantie ligt tussen twee vlakke platen. De onderste, van aluminium, is geschroefd op de membraanzijde van de krachtopnemer, die op zijn beurt aan de krachtopwekker is bevestigd. Door een gaatje in de bovenplaat en door het monster heen steekt de contactpen van een trillingsopnemer GM 5526. Deze pen maakt contact met de onderplaat, zodat de relatieve trillingsbeweging tussen de beide oppervlakken van het monster wordt omgezet in een snelheidsevenredige wisselspanning. De bovenplaat met de opnemer is belast met een extra massa, ten einde een gewenste voorspanning op het proefstuk te brengen. Natuurlijk is deze opstelling niet de enige die men voor het gestelde doel kan bedenken; zij geeft slechts een voorbeeld van een der mogelijkheden.

De configuratie van de mechanische elementen aan de objectzijde van de krachtopnemer is schematisch voorgesteld in fig. 16a. Gevraagd wordt de betrekking tussen de drijvende kracht F en de relatieve snelheid $\dot{x}$ tussen de einden van de mechanische impedantie $z_0 = r - js/\omega$, die wordt gevormd door het elastisch proefmateriaal. Als men nu een analoge elektrische schakeling tekent (fig. 16b) volgens de z.g. Firestone analogie³⁾, waarin de gevraagde betrekking overeenkomt met de betrekking tussen de ingangsstroom i en de spanning e_{z_0} tussen de einden van Z_0 , dan kan men hiervoor schrijven:

³⁾ Miles, J: Applications and Limitations of Mechanical-electrical Analogies, Journ. Acoust. Soc. of Am., Januari 1943, blz. 183—192.

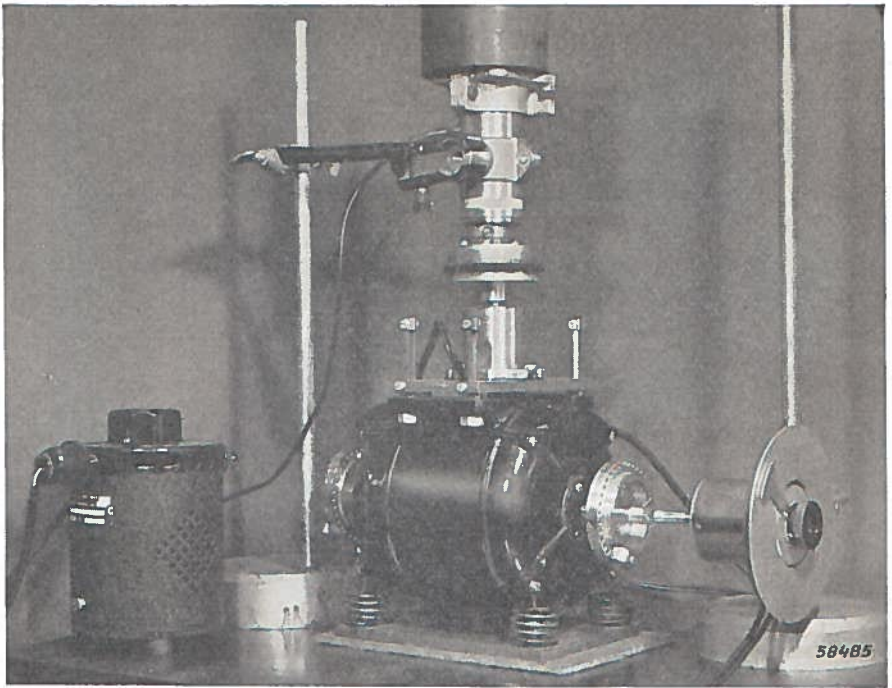


Fig. 15. Een proefopstelling voor het meten van de verlieshoek van platen van elastisch materiaal. Van boven naar beneden: de belastingsmassa, de trillingsopnemer GM 5526, twee vlakke platen waartussen het materiaalmonster, de krachtopnemer en de op veren rustende onbalans-trillingsmachine. Rechts op de foto ziet men de faze-indicator met de speciale grote gradenschaal. Geheel links bevindt zich een transformator met regelbare spanning voor de regeling van de omwentelingssnelheid van de motor.

$$(6) \quad e_{z_0} = i \frac{Z_0}{1 + Z_2/Z_1 + Z_0/Z_1},$$

wat in de mechanische keten overeenkomt met:

$$(7) \quad \dot{x}_{z_0} = F \frac{\frac{1}{r - js/\omega}}{1 + \frac{m_1}{m_2} + \frac{j\omega m_1}{r - js/\omega}}.$$

Stelt men nu $r\omega/s = \delta$, $(\omega/\omega_1)^2 = n_1^2$ en $\omega_1^2 = s/m_1$, dan kan vergelijking (7) worden omgewerkt in de meer overzichtelijke vorm:

$$(8) \quad \dot{x}_{z_0} = F \frac{j\omega}{s} \frac{1}{1 + \frac{m_1}{m_2} - n_1^2 + j\delta(1 + \frac{m_1}{m_2})}.$$

Door in de teller $j\omega$ weg te laten, verkrijgt men de betrekking tussen de relatieve *verplaatsing* en de kracht. De fazehoek tussen deze twee grootheden is:

$$(9) \quad \varphi_{x-F} = \text{bg} \operatorname{tg} \frac{-\delta \left(1 + \frac{m_1}{m_2}\right)}{1 + \frac{m_1}{m_2} - n_1^2}.$$

Tussen de snelheid en de kracht is de fazehoek vanzelfsprekend gelijk aan $90^\circ - \varphi_{x-F}$. Om de verplaatsing eenvoudigweg de hoek δ te laten achterblijven bij de kracht, moet men, zoals uit (9) blijkt, de massa m_1 van de onderplaat, en ook de frequentie, voldoende klein houden om $n_1^2 = \omega^2 m_1 / s \ll 1$ te doen blijven.

De meting van de fazehoek tussen de van de krachtopnemer afkomstige modulatiefrequentie en de snelheids-evenredige of, indien electrisch geïntegreerd, verplaatsingsevenredige wisselspanning van de trillingsopnemer, kan op dezelfde wijze geschieden als in het vorige voorbeeld werd besproken.

Men hoeft in dit geval echter geen rekening te houden met een door de opnemer veroorzaakte fazehoekfout, daar de GM 5526 geen seismisch systeem heeft. Indien de uitgangsspanning van de opnemer wordt geïntegreerd, waarvoor het best de schakelaarstand voor verplaatsingsmetingen „x(freq. > 1 p/s)” van het apparaat GM 5522 wordt gebruikt, moet de fazehoekfout van het integratie-element in rekening worden gebracht. Voor de genoemde schakelaarstand is deze hoekfout gelijk aan:

$$\text{bg} \operatorname{tg} \frac{0,526}{\text{freq.}},$$

wat bijvoorbeeld bij freq. = 10 p/s neerkomt op 3° met voorijlende faze. Zou men deze correctie verwaarlozen, dan zou δ evenzeveel te klein worden gemeten.

Een meetopstelling als de hier beschrevene heeft het voordeel, dat men voor een materiaal zeer snel kan onderzoeken of de verlieshoek afhangt van de frequentie. De bruikbaarheid van deze methode blijft evenwel beperkt tot de gevallen waarin deze hoek niet kleiner is dan enige hoekgraden. Voor het onderzoeken van stoffen met een kleinere verlieshoek, wijzige men de opstelling zodanig, dat een resonantie-trillingssysteem wordt verkregen waarvan de dempingscoëfficiënt een eenvoudige functie is van de verlieshoek van het materiaal. Dan moet echter bij elke afzonderlijke meetfrequentie een andere massa worden aangebracht, die voor de resonantiefrequentie bepalend is.

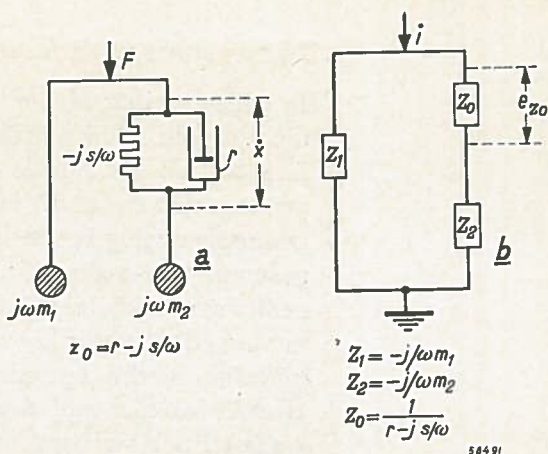


Fig. 16a. Schematische voorstelling van de mechanische elementen aan de objectzijde van de krachtopnemer van fig. 15. m_1 = massa van de onderplaat, m_2 = massa van de bovenplaat met de trillingsopnemer en de belastingsmassa, s en r zijn respectievelijk de stijfheid en de verliesweerstand van het materiaalmonster.

Fig. 16b. Het electrische equivalent van fig. 16a volgens de Firestone analogie. De stroom i komt overeen met de kracht F , en de spanning e_{z_0} met de snelheid tussen de oppervlakken van het object.

3. Het bepalen van de fazekarakteristiek van een seismische opnemer

In „Electronisch Meten” 1, Nr. 12, geeft fig. 5 een aantal krommen die van een Philips trillingsopnemer GM 5520 de grootte van de fazehoekfout als functie van de frequentie voorstellen, en die zijn gemeten met en zonder integratie-element. Deze opnemer van absolute trillingsbeweging is van het z.g. seismische type, d.w.z., hij bevat een gedempt veer-massa of „seismisch” systeem. Als een dergelijke opnemer wordt gebruikt bij frequenties die niet ver van zijn eigen frequentie verwijderd zijn, is het voor sommige metingen noodzakelijk de onvermijdelijk hierbij optredende fazehoekfout in rekening te brengen. Hoewel het niet zeer waarschijnlijk is dat een gebruiker zelf de fazekarakteristiek van zijn instrumenten zal opnemen, moge het toch interessant zijn te weten op welke wijze dit kan worden gedaan. Een trillingsmachine waarop de voor deze metingen nodige instrumenten zijn gemonteerd is afgebeeld in fig. 17. Links vooraan ziet men de met de motoras gekoppelde fase-indicator. Op het door de motor met behulp van een excentriek gedreven schuifblokje, is een opnemer GM 5520 bevestigd. De relatieve beweging tussen deze opnemer en het zware chassis wordt overgedragen op een trillingsopnemer GM 5526,

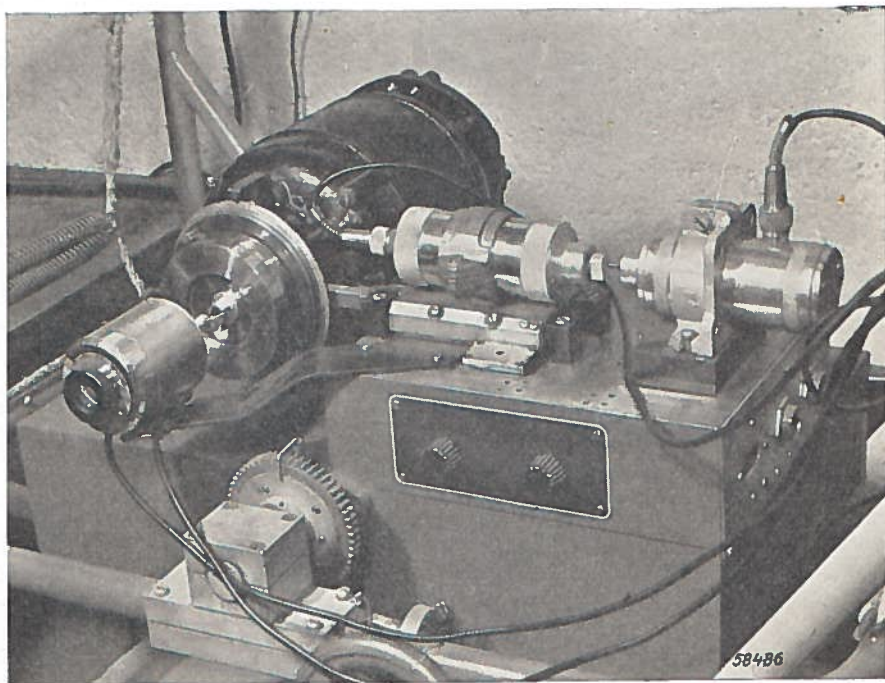


Fig. 17. Een trillingsmachine met een door middel van een excentriek aangedreven schuifblokje, waarop een opnemer voor absolute trillingsbeweging GM 5520 is bevestigd, en waarvan de fazekarakteristiek moet worden opgenomen. De motor is met de fase-indicator gekoppeld. De beweging van de schuif ten opzichte van het chassis wordt opgenomen met een trillingsopnemer voor relatieve beweging GM 5526.

De zo juist genoemde relatieve beweging is weliswaar ten gevolge van de contrabeweging van het chassis een weinig groter dan de absolute beweging van de GM 5520, maar, indien het chassis in zeer slappe veren is opgehangen, van gelijke faze. Daar de GM 5526 geen fazehoekfout oplevert, zal dus de fazehoek tussen de uitgangsspanningen van beide opnemers de gezochte fazehoekfout van de seismische opnemer zijn. Hoe deze hoek wordt gemeten, hoeft thans niet meer te worden herhaald.

De fazehoekfout van integratie-elementen, bijvoorbeeld van de elementen die in het apparaat GM 5522 zijn gebouwd, kan men hetzij berekenen, hetzij experimenteel opnemen, zoals dit reeds voor de fazekarakteristiek van een laagfrequentieversterker werd besproken op blz. 12.

PHILIPS VARIABLE STANDAARDCONDENSATOREN

Sedert kort kan Philips een variabele standaardcondensator in drie typen leveren. Deze condensatoren hebben opmerkelijk goede elektrische en mechanische eigenschappen. De capaciteitsgebieden van deze drie typen zijn:

GM 4351: 35—135 pF (nominaal 100 pF);

GM 4352: 60—360 pF (nominaal 300 pF);

GM 4353: 100—1100 pF (nominaal 1000 pF).

De mechanische aandrijving geschiedt bij deze condensatoren niet door de gebruikelijke wormwieloverbrenging, doch door een speciale tandwiel-overbrenging (1:50), waarmee een speling in de overbrenging ook na lang gebruik is uitgesloten. Alle assen zijn bovendien voorzien van kogellagers. De dode gang bedraagt in het ongunstigste geval 0,5 schaaldeel. Het capaciteitsverloop is door middel van een speciale correctiemethode (fig. 2) nauwkeurig lineair, en daardoor zijn voor deze condensatoren correctietabellen overbodig geworden. De frontplaat (fig. 2) heeft een schuine stand (hoek van 60°), ten einde het aflezen van de schaal-aanwijzing te vergemakkelijken. De afstand tussen de instelknop en de aansluitklemmen is zo groot, dat een beïnvloeding van de capaciteit door handeffect kan worden vermeden. Achter het venster van plexi-glas bevinden zich twee schijven (fig. 1) met schaalindelingen, de bovenste voor een grove, de onderste voor een fijne capaciteitsaflezing. Op het plexi-glas is een haarlijn aangebracht; onder de beide schijven bevindt zich een spiegel om fouten door parallax in de aflezing te kunnen vermijden. De aflezing van het

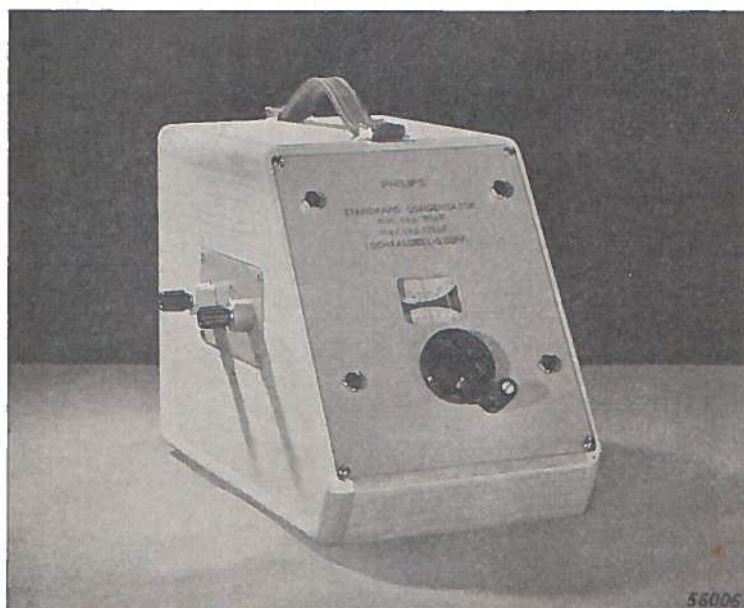


Fig. 1. Vooraanzicht van de Philips variabele standaardcondensatoren.

verschil tussen de capaciteiten in twee standen van de draaicondensator is tot op 10^{-3} nauwkeurig. De kleinste absolute afleesfout kan echter 0,02 pF, 0,05 pF of 0,2 pF bedragen, respectievelijk voor de typen GM 4351, GM 4352 en GM 4353. De aansluitklemmen hebben zodanige afmetingen, dat parasitaire capaciteiten worden vermeden en de seriezelfinductie van de capaciteit uiterst klein is ($0,065 \mu\text{H}$).

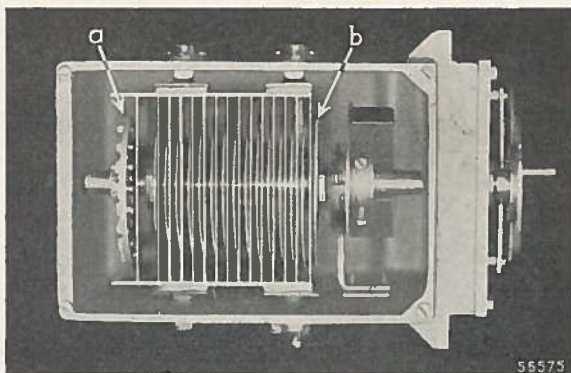


Fig. 2. Binnenaanzicht van de condensator met een nominale capaciteitswaarde van 300 pF. Links ziet men een meervoudige trimmer a, rechts een speciale rotorcorrectieplaat b; beide dienen voor het verkrijgen van een zuiver lineaire capaciteitsverandering.

De verlieshoek $\text{tg}\delta = \frac{1}{\omega RC}$ van de condensatoren is bij een frequentie van 2 MHz kleiner dan $2 \cdot 10^{-4}$ en bij 100 kHz kleiner dan 10^{-3} . De temperatuurcoëfficiënt ligt tussen $+10 \cdot 10^{-6}$ en $+40 \cdot 10^{-6}$ pF per pF ingestelde capaciteit en per $^{\circ}\text{C}$ temperatuursverandering. De juiste waarde is op een bijgeleverde tabel vermeld. De absolute waarde van de spanning tussen de platen mag niet groter zijn dan 750 V. Het gewicht varieert van 5,5 tot 7,15 kg. De condensatoren zijn gemonteerd in een kast van blank eikenhout met een handvat van leer.



INHOUD

Enige gebruiksmogelijkheden van de foto-electrische faze-indicator GM 5670 — Philips variabele standaardcondensatoren.

IM 3088 N. 7/49

ELECTRONISCH METEN

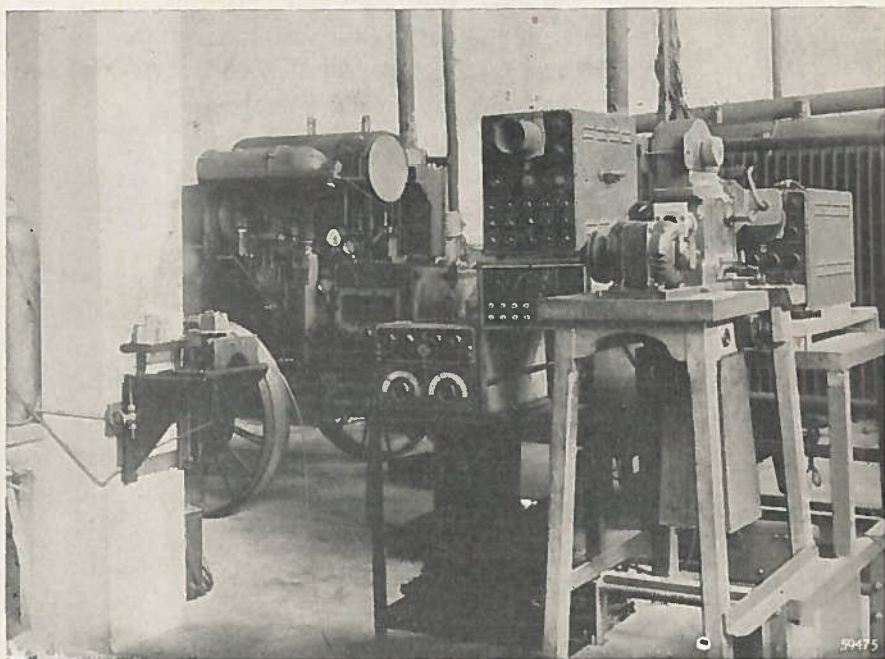
HET GEBRUIK VAN MODERNE
ELECTRONISCHE MEETAPPARATEN
IN LABORATORIA EN BEDRIJVEN



JAARGANG 3

NUMMER 1

De verplaatsbare druk-indicatorinstallatie die werd gebruikt voor onderzoeken aan Pescara machines. Van links naar rechts: de stikstoffles voor het ijken bij hoge druk — de inrichting met zuiger en gewichten voor het ijken bij lage druk — op de achtergrond een Pescara P 113 compressor met vrije zuiger — de Philips laagfrequentie-generator GM 2307 — de Philips drukindicator GM 3154 — daar- onder de tijdasschakel- eenheid waarmee di- verse methoden van synchronisch ontkete- nen van de tijdsasspan- ning van oscillografen kunnen worden toege- past — het fotogra- fisch registreerapparaat waarmee opnamen op lopende film en op stilstaande film kun- nen worden verkregen; men ziet de aan de sluit- er bevestigde con- tactinrichting — daar- achter de Philips os- cillograaf GM 3156.



„Electronisch Meten” brengt geregeld opstellen over het gebruik van kathodestraaloscillografen in de industrie. In dit nummer en het volgende publiceren wij een artikel over het oscillografieren van periodieke verschijnselen met behulp van een synchroon gestuurde tijdasspanning. Deze methode vergemakkelijkt in hoge mate het registreren van meervoudige oscillogrammen.

In het eerste deel van dit artikel geeft de auteur een verslag van zijn ondervindingen opgedaan bij het aansluiten van een tijdas- eenheid op een Philips Kathodestraal-oscillograaf of Drukindicator, terwijl hij in het tweede deel („Electronisch Meten” Nr. 2, Jaargang 3) uitvoerig ingaat op de praktische verwezenlijking van de reeds aangegeven methode voor het onderzoeken van diverse verschijn- selen met behulp van de synchronisch ontketende tijdasspanning.

**HET GEBRUIK
VAN KATHODE-
STRAALOSCIL-
LOGRAFEN
VOOR
INDUSTRIËLE
DOELEINDEN**

DE SYNCHROON GESTURDE TIJDASSPANNING VAN KATHODESTRAALOSCILLOGRAFEN

door ROBERT H. PAPET

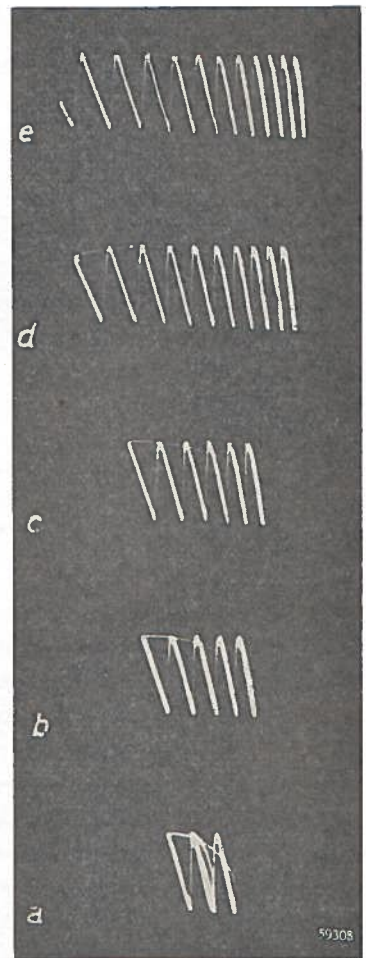
Laboratoires S.I.G.M.A., Vénissieux (Rhône)

Inleiding

De registrerende meetapparaten leveren direct een grafische voorstelling van de betrekking tussen de numerieke waarden van de te meten grootheden. Een enkel diagram toont het resultaat van een gedurende de tijd van waarneming doorlopend verrichte meting. Ook in de gevallen waarin het gewenste resultaat kan worden verkregen door het verrichten van een aantal opeenvolgende enkele metingen, betekent het registreren en het vastleggen van de door de metingen gevonden waarden door meetpunten van een diagram, een groot gemak.

Het registreren is noodzakelijk als men heeft te maken met snel variërende grootheden, en het is een bekend feit dat tot dusver slechts het beeldpunt van een kathodestraaloscillograaf in staat is het snelle verloop van een fysische grootheid getrouw te volgen. Door het fluorescerende beeldpunt van de kathodestraalbuis gelijktijdig in horizontale en in verticale richting te doen uitwijken — dit als gevolg van de werking van afbuigende krachten die de electronbundel beïnvloeden — beschrijft het beeldpunt een diagram in cartesische coördinaten. Er wordt aldus een variabele grootheid y als functie van een andere variabele grootheid x geregistreerd. De laatste is meestal een lineaire

Fig. 1. Een zaagtandvormige spanning is geregistreerd met behulp van een tijdas waarvan de frequentie wordt ingesteld door het veranderen van de amplitude. De breedte van het oscillogram hangt af van de frequentie, en zij is voor hoge frequenties klein. De tijdsschaal is constant, maar dit voordeel wordt hier teniet gedaan door de niet lineaire tijdas.



tijdfunctie, d.w.z. de grootheid x neemt met de tijd recht evenredig toe tot een maximale waarde is bereikt, waarop zij weer in uiterst korte tijd op de beginwaarde terugvalt en vervolgens opnieuw op dezelfde wijze groeit. De beweging van het beeldpunt in horizontale richting wordt verkregen door middel van een zaagtandvormige spanning (fig. 1), die wordt opgewekt met behulp van een zogenaamde relaxatieoscillator.

Het registreren van een functie $x = f(y)$ betekent, dat men tevens de functie $y = f(x)$ registreert, d.w.z. de grootheid die de afbuiging in horizontale richting teweeg brengt als functie van de grootheid die de afbuiging in verticale richting veroorzaakt. In de praktijk maakt men hiervan gebruik voor het constateren van de afwijking van de lineariteit van zaagtandvormige afbuigspanningen. Deze afwijking veroorzaakt in het diagram een verandering van de lengte van de periode van een periodieke of semi-periodieke y -grootheid, d.w.z. een vervorming van het oscillogram. Wij achten het nuttig deze begrippen even in herinnering te brengen, ten einde de voorwaarden waaraan een goede tijdsgenerator moet voldoen, beter te kunnen toelichten.

De tijdbasisgenerator heeft twee belangrijke functies te vervullen:

1. een tijdsgenerator te leveren die zich voor het onderzoeken van periodieke of semi-periodieke verschijnselen regelmatig herhaalt ;
2. een enkelslag tijdsgenerator (ook wel genoemd eenmalige tijdsgenerator, Eng.: single-stroke timeaxis) te leveren voor het onderzoeken van niet-periodieke verschijnselen.

Oscillogrammen van periodieke verschijnselen

Een onbeweeglijk oscillogram vergemakkelijkt het observeren van periodieke verschijnselen aanzienlijk. Alle industriële uitvoeringen van kathodestraaloscillografen bezitten daarom een inrichting voor het synchroniseren van de tijdsspanning met de spanning van het te observeren verschijnsel zelf (in het vervolg kortweg verschijnsel genoemd) of met een andere wisselspanning. Deze synchronisatie stabiliseert de tijdsgenerator zodanig, dat deze gelijk is aan een geheel veelvoud of een geheel deel van de grondfrequentie van het verschijnsel. Hierdoor verdwijnt de beweging van het oscillogram ten gevolge van zelfs een zeer kleine verandering van de tijdsgenerator. Het oscillogram blijft dan rustig op het scherm staan. Daarom worden alle moderne in serie gefabriceerde kathodestraaloscillografen voorzien van een inrichting voor het synchroniseren van de tijdsgenerator. De normale uitvoering van dergelijke synchronisatie-inrichtingen heeft evenwel nadelen. Wij zullen ze beschrijven en vervolgens een geperfectioneerde werkwijze aangeven, die wordt verkregen met een door ons zo genoemde „synchronisch ontketende tijdsspanning” en waarmee deze ongemakken bij een volledige rust van het oscillografisch beeld worden vermeden.

Kritiek op de synchronisatie-inrichting van de tijdas

Het is gewenst dat de waarnemer de tijdschaal willekeurig kan kiezen en deze zolang als nodig is kan handhaven.

Een constante en reproduceerbare tijdschaal vergemakkelijkt vergelijkingsmetingen, en met behulp van een hierop volgend fotografisch registreren, veroorlooft zij het bepalen van functies van verscheiden veranderlijken, voor zover deze veranderlijken periodieke functies zijn van de tijd.

Bij het synchroniseren is het in stand houden van een onveranderlijke tijdas helaas zeer moeilijk, en het is onmogelijk als de „natuurlijke” tijdasfrequentie te veel afwijkt van de grondfrequentie van het verschijnsel.

De waarnemer is daardoor genoodzaakt de frequentie van de tijdasspanningsgenerator veelvuldig bij te regelen. Dientengevolge veranderen de snelheid in de horizontale richting van het beeldpunt en de vorm van het oscillogram. Het is dan ook niet mogelijk een constante betrekking te verkrijgen waarbij x millimeter op de abscis gelijkwaardig is aan bijv. een milliseconde. Men zou natuurlijk de tijdasfrequentie kunnen doen veranderen zonder de horizontale snelheid van het beeldpunt te beïnvloeden; ten minste in Frankrijk is een oscillograaf verkrijgbaar die een mogelijkheid hiertoe biedt. De tijdasfrequentie wordt in dit geval ingesteld door verandering van de amplitude van de tijdasspanning. Hoe-

wel deze methode op het eerste gezicht aanlokkelijk lijkt, is zij in werkelijkheid zeer onbevredigend, daar de breedte van het oscillogram met de frequentie verandert en dus te klein kan worden (zie fig. 1). Weliswaar maakt de synchronisatie het directe waarnemen van het oscillogram gemakkelijker; het fotografisch vastleggen wordt er evenwel niet altijd beter door. Het achtereenvolgens over elkaar schrijven van

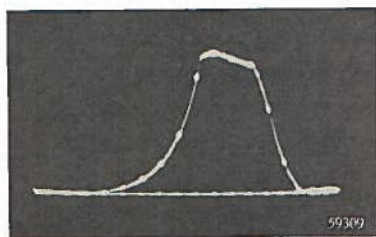


Fig. 2. Het diagram van een één-cylinder luchtcompressor (druk als functie van de tijd) is geregistreerd met een gesynchroniseerde tijdasspanning. Hoewel de synchronisatie correct werkt, toont het diagram gebrek aan fijnheid.

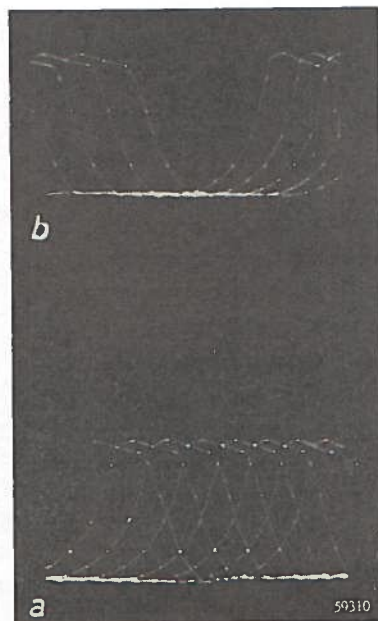


Fig. 3. Het diagram van fig. 2 is geregistreerd met behulp van een niet-gesynchroniseerde tijdasspanning. Dit is een zeer netelige opname, waarbij het essentiële deel op een van de twee weergegeven oscillogrammen ontbreekt.

verscheiden beelden heeft namelijk een nadelige invloed op de fijnheid van de oscillogramlijn (fig. 2). Men kan voor dit doel daarom beter afzien van de synchronisatie, en de tijdassfrequentie zodanig herzien, dat het oscillogram zich van links naar rechts beweegt. Het is echter zeer moeilijk onder deze voorwaarden een goed diagram te verkrijgen, en vele zullen mislukken. Indien men de tijdassfrequentie instelt op een *veelvoud* van de grondfrequentie van het verschijnsel, ten einde een *gespreid* diagram te verkrijgen en aldus de details van een interessant stuk ervan te analyseren, treedt nog een ander gebrek op; het oscillogram wordt dan vertroebeld door beschrijvingen van andere delen van het verschijnsel.

Deze nadelen, en voornamelijk de onmogelijkheid om de tijdschaal constant te houden, hebben er ons toe gebracht de methode van het normale synchroniseren van de tijdassfrequentie bijna geheel te verlaten en te vervangen door de methode van de synchronisch ontketende tijdasspanning.

De synchronisch ontketende tijdasspanning

Zoals wij er in het begin reeds aan hebben herinnerd, kan de tijdas periodiek of niet-periodiek optreden. In het laatste geval spreken wij van een „ontketende tijdasspanning” of een „enkelslag tijdasspanning”.

Het is verwonderlijk te constateren dat zeer weinig industriële oscillografen de mogelijkheid van een ontketende tijdasspanning bieden.

Misschien hebben de constructeurs deze methode, die naar hun mening slechts voor niet-periodieke verschijnselen van nut is, niet voldoende interessant geacht.

In werkelijkheid kan deze schakeling zeer goede diensten bewijzen, want door de zogenaamde „enkelslag tijdasspanning” periodiek te ontketen, kan men een ideale tijdas verkrijgen, die zowel voor het waarnemen als voor het fotografisch registreren van periodieke verschijnselen dient. De oscillogrammen van fig. 5 tonen hiermee verkregen resultaten. Deze diagrammen werden opgenomen voor het analyseren van de werking van een luchtcompressor van het type met „vrije zuigers”. De druk werd gemeten met behulp van een Philips drukindicator GM 3154; deze drukindicator is een elektronische micrometer, die berust op het meten van verplaatsingen door middel van hiermee evenredige capaciteitsveranderingen. De gebruikte drukopnemer had een speciale uitvoering, waarvan de constructie ons werd vergemakkelijkt door het feit, dat de drukindicator-oscillograaf binnen zeer wijde grenzen een instelling van het nulpunt toestaat.

Daardoor is het gebruik van opnemers met zeer verschillende eigen-capaciteiten mogelijk (capaciteiten variërend van ongeveer 5 tot 150 pF). De oscillogrammen van fig. 5 geven alle hetzelfde verschijnsel weer. Zij verschillen onderling slechts door de tijdschaal. De tijdasspanning wordt ontketend bij iedere slag (Engels: sweep), even voor het optreden van het interesserende deel van het verschijnsel. De horizontale snelheid van het beeldpunt wordt ingesteld naar gelang het nagestreefde doel, en de serie

Fig. 4. De tijdsfrequentie is een veelvoud (5) van de bewegingsfrequentie van de compressor. De lijn is fijn, maar het ontleden van het oscillogram is moeilijk. De punten in de lijnen geven de tijdschaal aan (horizontale afstand tussen twee markeringen = 2 milliseconden).

foto's bij stapsgewijs veranderde snelheid staat toe de variabele grootheid in verscheidene opzichten te onderzoeken.

De foto van fig. 5a werd verkregen met een tijdssnelheid van 10 mm per seconde (op het negatief)¹⁾. Men heeft aldus 10 opeenvolgende slagen geregistreerd, ten einde de maximale druk te meten en de constantheid te verifiëren. De slagsnelheid werd vervolgens opgevoerd voor het verkrijgen van de diagrammen 5b tot 5d. In het geval

van het diagram 5b, is de duur van de tijdsslag groter dan de duur van een slag van de compressorzuiger, en de tijdsspanning wordt dus slechts om de twee perioden ontketend. Het oscillogram strekt zich diensvolgens zonder discontinuïteit uit over meer dan één cyclus, hetgeen een nauwkeurig bestuderen van deze laatste mogelijk maakt.

De tijdsslagsnelheid is groter in het geval van de beide laatste diagrammen van deze serie, en de tijdsspanning wordt bij iedere slag van de compressor ontketend. Het oscillogram toont slechts het deel van de cyclus waarop de belangstelling van de waarnemer is gericht. Het diagram 5d is zeer uitgespreid, ten einde drukstijging nauwkeurig te kunnen analyseren.

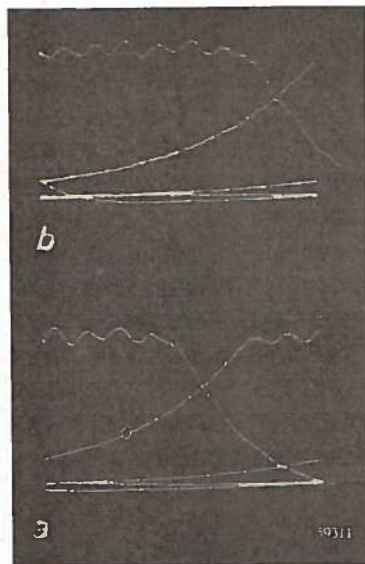
Ieder diagram, met uitzondering van het eerste, werd verkregen met verscheiden over elkaar gelegde oscillogrambeschrijvingen (ongeveer 6), die, dank zij de goede synchronisatie, tot één lijn samenvloeien.

De relatieve dikte van de lijnen ontspruit niet uit een verschuiving van de oscillogrambeschrijvingen; zij is een gevolg van de fosforescentie van het scherm van de kathodestraalbuis.

Dit verschijnsel ontstaat steeds als de opname van de foto's lang duurt en het scherm van de kathodestraalbuis een lange nalichttijd heeft (in het onderhavige geval de Philips buis DG 9-3 met een groen beeldpunt).

Dit voorbeeld toont aan dat de oscillogrammen, verkregen met een synchronisch ontketende tijdsspanning, de volgende eigenschappen hebben:

1. Onbeweeglijkheid van het beeld, waardoor het waarnemen en het fotografisch registreren gemakkelijker is.
2. Een tijdschaal die naar behoefte door de waarnemer kan worden ingesteld, gehandhaafd en weergegeven, onafhankelijk van verande-



¹⁾ De tijdssnelheid van sommige Philips oscillografen, inclusief de drukindicator GM 3154, kan tot zeer lage waarden dalen, nl. tot een snelheid die bij een periodieke tijdsspanning overeenkomt met een frequentie van 0,25 Hz.

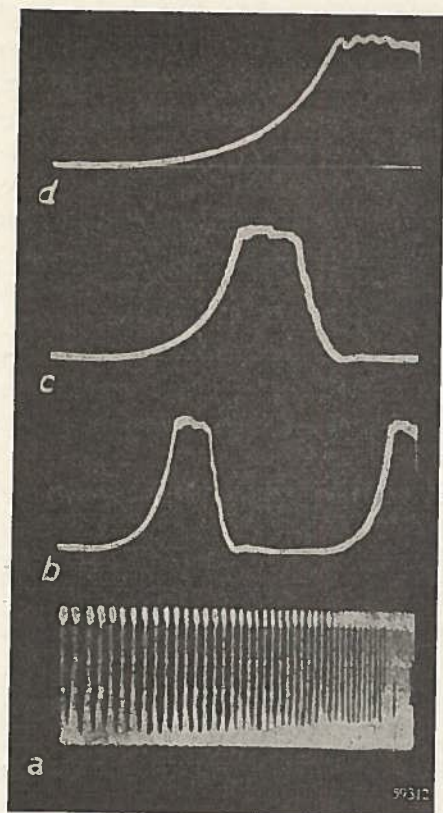


Fig. 5. Het diagram van de lucht-compressor van de fig. 2, 3 en 4 is geregistreerd door middel van de synchronisch ontketende tijdasspanning. De tijdschaal, evenals het te registreren deel van het verschijnsel, kunnen door de waarnemer willekeurig worden ingesteld.

ringen van de grondfrequentie van het te onderzoeken verschijnsel.

3. Een slagamplitude, die eveneens naar behoefte door de waarnemer kan worden gekozen.
4. Volledige oscillogrammen, hetgeen inhoudt dat geen enkele nieuwe tijdasslag een aanvang neemt voor het beëindigen van de vorige.

Deze eigenschap blijkt uit fig. 5b.

Desluitingen van het ontketingscontact die bij F plaats hebben, storen de horizontale beweging van het beeldpunt.

Het onderzoeken van diverse verschijnselen met behulp van de synchronisch ontketende tijdasspanning

Onder de talrijke gevallen waarin van de oscillografie gebruik wordt gemaakt, is het registreren van diverse periodieke verschijnselen op hetzelfde oscillogram een van de meest belangwekkende. Hiermee kunnen de volgende twee vraagstukken worden opgelost:

1. Het bepalen van het fazeverschil tussen verschijnselen.

Een typisch voorbeeld dat zich voordoet op de proefbank van inwendige verbrandingsmotoren, is de vertraging (uitgedrukt in milliseconden) tussen het begin van het inspuiten van de brandstof en het ontbranden; dit is de „ontstekingsvertraging”. Dit fazeverschil leest men direct af op een meervoudig diagram, door middel van de relatieve plaats van de enkele diagrammen.

2. Het bepalen van een functie met verscheiden veranderlijken:

$$f(z, z_2, z_3 \dots) = 0,$$

met behulp van de diagrammen

$$z_1 = z_1(t),$$

$$z_2 = z_2(t),$$

$$z_3 = z_3(t) \text{ enz.},$$

die door het meervoudig oscillogram worden geleverd.

Het gebruik van verscheiden kathodestraaloscillografen, waarbij hun beelden op een apart scherm boven elkaar worden gelegd met behulp van een *optische inrichting*, biedt de mogelijkheid van het gelijktijdig registreren van even zovele verschijnselen. Het is een oplossing die geen bijzondere moeilijkheden oplevert, maar die een omvangrijke en dure inrichting vergt. Het gebruik van een *kathodestraalbuis met verscheiden electronenbundels* (een z.g. veelstraalbuis) biedt een minder volumineuze, maar misschien ook niet minder kostbare oplossing. Het is evenwel heden ten dage niet overal even gemakkelijk zich een dergelijke buis te verschaffen. Het gebruik van een *electronische schakelaar* veroorlooft ook het boven elkaar leggen van diverse oscillogrammen op het scherm van een enkele kathodestraalbuis.

Ieder van deze drie procédés heeft zijn eigen en onbetwistbare mérites. Hun hoofdzakelijk nadeel is de hoge prijs van de inrichting; het is inderdaad noodzakelijk voor evenzovele „omvormer-“ en versterkerkanalen te zorgen als er verschijnselen zijn waar te nemen. Een goede „electronische micrometer“ is bijv. uiteraard een duur en omvangrijk apparaat. Wat betreft de *electronische schakelaar*, deze staat niet het omschakelen toe, zonder begeleidende vervorming van zogenaamde „gelijkspanningen“, bijv. als van fig. 5, te veroorzaken. Het diagram van fig. 5 bestaat effectief uit delen die een constante spanning vertegenwoordigen, voorafgegaan of gevolgd door snelle spanningsveranderingen. Het is duidelijk dat een gewone versterker, zelfs een met zeer grote bandbreedte, een vervorming invoert. Deze overwegingen leiden er toe zich af te vragen tot op welke hoogte gelijktijdige oscillogrammen kunnen worden vervangen door opeenvolgende oscillogrammen.

Deze mogelijkheid bestaat voor onderzoekingen van periodieke verschijnselen, en de nauwkeurigheid van het resultaat hangt af van de constantheid van alle gebruikte elementen. Enerzijds dienen de verschijnselen werkelijk „periodiek“ te zijn, d.w.z. gedurende de metingen een constante amplitude en frequentie te hebben, en anderzijds moet de tijdasgenerator een stabiel oscillogram, d.w.z. een oscillogram met een perfect synchronisme, leveren.

De ervaring heeft uitgewezen dat deze manier van registreren met de synchronisch ontketende tijdasspanning zeer gemakkelijk is te verwezenlijken. Het verkregen oscillogram, dat zich tot het nuttige deel van de hele cyclus beperkt, is dus gemakkelijk waar te nemen en te vertolken.

Men gaat als volgt te werk:

1. Het ogenblik van ontketening (dat overeenkomt met het sluiten van een contactinrichting) laat men enige milliseconden eerder vallen dan het begin van het interesserende verschijnsel.
2. Een schaalindeling op plexiglas (diagramschaal) wordt voor het fluorescentiescherm bevestigd. De tijdschaal wordt zodanig gekozen dat een milliseconde overeenkomt met een half, een heel of twee schaaldelen (waarvan de lengte, op de met de Philips oscillografen met buizen DG 9-3 geleverde diagramschalen, 5 mm bedraagt.)

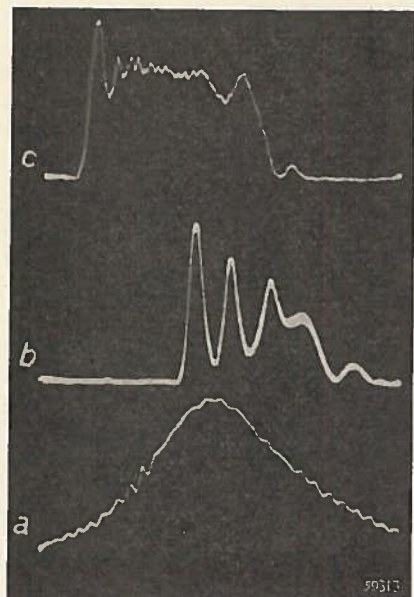


Fig. 6. Analyse van een dieselmotor waarbij de diagrammen, door bij de opneming van iedere grootheid de film vooruit te schuiven, in verticale richting van elkaar worden verwijderd.

a = druk in de motorcylinder
b = hoeveelheid ingespoten brandstof bij inspuiting in de voorkamer

c = hoeveelheid ingespoten brandstof bij directe inspuiting

Deze diagrammen tonen een volkomen synchronisme. Hun ligging in horizontale richting geeft de onderlinge fazebetrekking van de geregistreerde verschijnselen aan.

3. Het oscillogram wordt op een zodanige plaats ingesteld, dat een merkpunt (bij het onderzoeken van motoren zal dit meestal het dode punt zijn) met de verticale middellijn van het scherm overeenkomt.

4. In het kanaal voor verticale af-

buiging wordt een omschakelaar opgenomen, ten einde met de hand eenvoudig en snel van het ene verschijnsel op het andere te kunnen omschakelen.

De oscillogrammen die aldus opeenvolgend worden geregistreerd, vormen een bevredigende vervanging van de oscillogrammen die gelijktijdig worden geschreven.

De Philips drukindicator, waarvan wij ons voor het verkrijgen van de diagrammen van fig. 6 hebben bediend, heeft 3 onafhankelijke ingangen

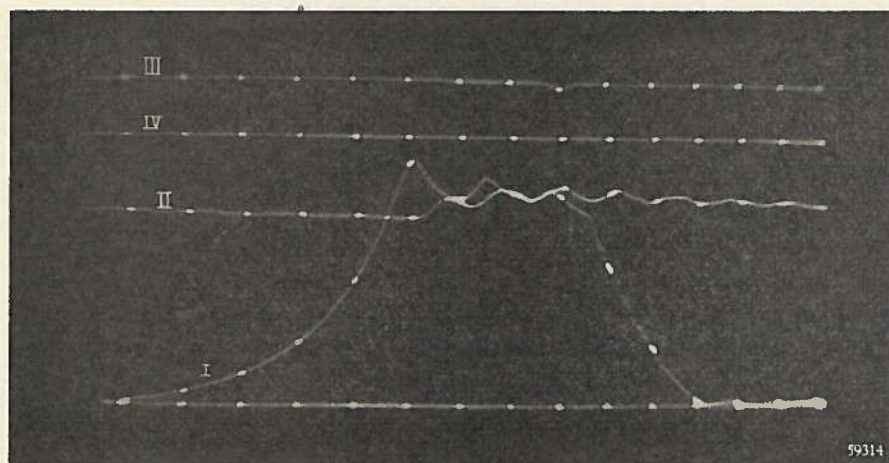


Fig. 7. Analyse van de compressor als van fig. 4 De diagrammen liggen over elkaar heen.

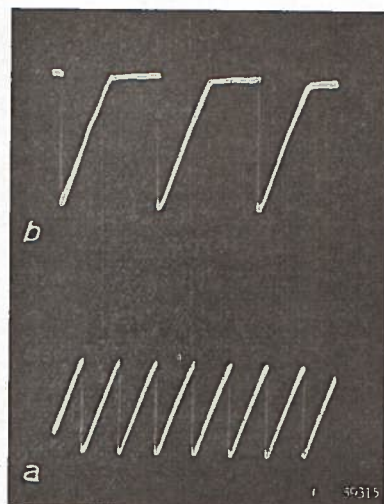
I = Drukdiagram van de compressorcylinder.

II = Druk in het reservoir, waaraan de lucht wordt toegevoerd.

III = Markering van het dode punt door een piekje op een druk-ijklijn, waarvan de druk overeenkomt met 3,5 kg.

IV = Druk-ijklijn die de druk van de omgeving aangeeft. De afstanden tussen de punten in de diagramlijnen geven 16° van een omwenteling aan.

Fig. 8. De zaagtandvormige spanningen bij een normale tijdas (a) en bij een synchronisch ontketende tijdaspanning (b) liggen aan de platen voor horizontale afbuiging van een kathodestraalbuis. Men constateert dat de „hellingen” van de zaagtanden in beide gevallen gelijk zijn. De helling van b kan evenwel worden veranderd zonder de frequentie van de zaagtandspanning te beïnvloeden.



met individuele regelorganen, die met behulp van een keuzeschakelaar met drie standen kunnen worden ingeschakeld.

Op de eerste ingang werd in dit voorbeeld de speciaal geconstrueerde drukopnemer aangesloten. De verticale afbuiging van het beeldpunt is een maat van de verplaatsing van het drukmeetmembraan. De amplitude van deze verplaatsing blijft beneden de 0,05 mm (kromme a van fig. 6). Met de tweede ingang werd een bewegingsopnemer verbonden. Deze opnemer meet de heffing van een inspuitnaald, waarvan de amplitude enige tienden van een millimeter bedraagt. De hoeveelheid ingespoten brandstof is evenredig met deze heffing (fig. 6b).

De derde ingang werd verbonden met een analoge inrichting. De geregistreerde beweging (fig. 6c) heeft een ander verloop en is in fase ten opzichte van de voorgaande verschoven.

De omschakeling van de drukindicator op de drie kanalen geschiedt dermate snel, dat men zonder moeite de fazebetrekkingen tussen de drie verschijnselen kan waarnemen. Ten einde een overzichtelijker beeld te krijgen, werd de film bij iedere opneming vooruitgeschoven. Men kan echter evengoed de diagrammen op hetzelfde beeld over elkaar heenleggen (fig. 7). De meervoudige registrering van fig. 7 heeft betrekking op het voorbeeld van fig. 4. Afgezien van het drukdiagram van de compressor-cylinders, toont het oscillogram de druk van het reservoir waaraan de gecomprimeerde lucht wordt toegevoerd (diagram II). De nauwkeurige plaats van het „dode punt” is gegeven door het piekje in de lijn III. Deze werd eveneens verkregen met behulp van de drukindicator. De punten in de lijnen hebben betrekking op de zuigerstand. Zij zijn veroorzaakt door impulsen die worden geleverd met behulp van een foto-elektrische cel. Er zijn 20 punten per cyclus (de afstand tussen twee van deze punten vertegenwoordigt dus een hoekverplaatsing van 15°). Het eerste punt is geplaatst op de verticale lijn door het piekje van lijn III. Indien de diagrammen goed gesynchroniseerd zijn, bevinden de markeringspunten zich zuiver verticaal boven elkaar. Het oscillogram bevat tevens twee ijklijnen, die de druk van de omgeving en een vaste druk aangeven (in het gegeven voorbeeld 3,5 kg). In het diagram van fig. 8 vindt men de registrering van de uitgangsspanning van de relaxatie-oscillator. Deze figuur toont ener-

zijds een zaagtandvormige spanning van een op tot dusver gebruikelijke wijze werkende tijdasgenerator (fig. 8a), en anderzijds een spanning die optreedt bij het synchronisch ontketenen van de tijdasslag (fig. 8b). Men ziet duidelijk dat de helling van de spanningstoename in het tweede voorbeeld willekeurig kan worden veranderd, zonder daardoor de grondfrequentie van de tijdasslag te beïnvloeden.

In „Electronisch Meten” 2, Nr. 6, wezen wij er op blz. 10 reeds op, dat de frequentie van de lichtflitsen kan worden gesynchroniseerd met de frequentie van de beweging van het te onderzoeken voorwerp. Voor dit doel zijn aan het apparaat twee klemmen (Bu_1 en Bu_2) aangebracht, waarvan de ene is verbonden met het chassis en de andere met het rooster van de relaxatiespanningsgenerator voor het sturen van de stootstroomgenerator. Deze synchronisatie kan o.a. geschieden door het periodiek sluiten van een paar contacten, die op de synchronisatieklemmen zijn aangesloten, of door het periodiek openen van deze contacten.

Het synchroniseren door middel van een contactinrichting

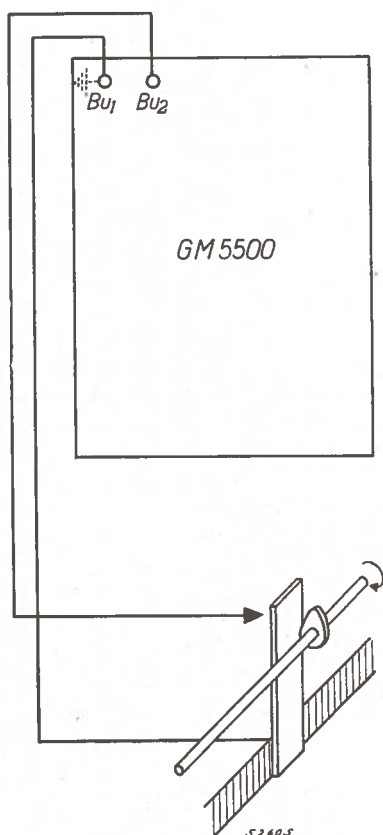


Fig. 1 geeft schematisch een dergelijke contactinrichting weer. Deze contactinrichting werkt met een nok, die is bevestigd op de as van de te onderzoeken machine of op een as die slipvrij met deze machine is gekoppeld. Bij iedere omwenteling van de as wordt het contact gesloten, waardoor een lichtflits ontstaat. Hierbij is de frequentie van de lichtflitsen dus gelijk aan het toerental van de as, en wordt een stationnair beeld verkregen onafhankelijk van afwijkingen van de omwentelings-snelheid. De stand waarin men een te onderzoeken machine-onderdeel wil observeren kan worden ingesteld door de hoekpositie van de nok ten opzichte van dit onderdeel te veranderen. In de stand 1 van de schakelaar SK_5 op het bedieningspaneel van de stroboscoop (zie fig. 10 van „Electronisch Meten” 2/6)

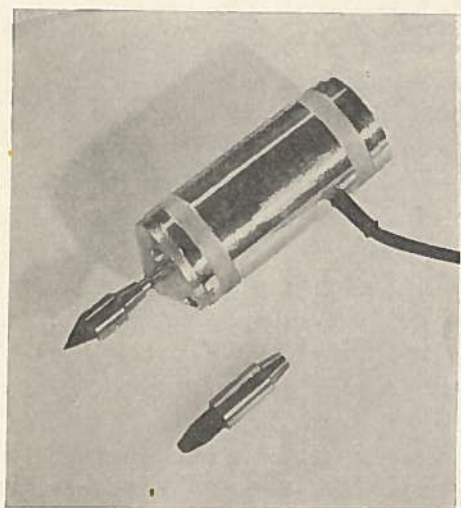
Fig. 1. Schematische voorstelling van een schakelaar die wordt bediend door een nok en die wordt gebruikt voor het synchroniseren van de stroboscoop.

worden de lichtflitsen veroorzaakt door het sluiten van de synchronisatiecontacten, in de stand 2 door het openen van deze contacten. Voor het construeren van een contactinrichting dient men er rekening mee te houden dat aan de niet geaarde synchronisatieklem (Bu_2) een gelijkspanning ligt van 400 V. Bij kortsluiting is de stroom echter begrensd op 2 mA.

Het Philips synchronisatie-instrument GM 8018

Om het de gebruikers van de stroboscoop GM 5500 gemakkelijk te maken, heeft Philips het synchronisatie-instrument GM 8018 ontworpen. Dit instrument kan door middel van een meenemer worden gekoppeld met de as van een te onderzoeken machine, en met behulp van een snoer wordt het verbonden met de synchronisatieklemmen van de stroboscoop. Het is ondergebracht in een verchroomde stalen cylinder van dezelfde diameter als de cylinders van de trillingopnemers GM 5520 en GM 5526, zodat dus voor deze instrumenten dezelfde bevestigingsbeugels kunnen worden gebruikt.

In het instrument bevindt zich een roterende schijf van isolatiemateriaal, waarin twee segmenten van metaal zijn ondergebracht, die ieder 180° van de omtrek innemen. Het ene segment dient voor het maken van contact tussen twee borstels van een mengsel van koper en koolstof, het andere als balanceergewicht (zie fig. 3). De borstels zijn op gelijke afstand van de as in de asrichting aangebracht en bevinden zich op een hoekafstand van 90° . Het draaiende segment veroorzaakt dus een periodieke elektrische verbinding tussen de contactborstels. Tussen het vormen van de verbinding en het verbreken ervan ligt een hoekverschil van 90° . Door de schakelaar SK_5 van stand 1 (synchroniseren bij kortsluiting van de synchronisatieklemmen) in stand 2 te zetten, wordt dus de faze van de observatie van het te onderzoeken machinedeel 90° verschoven. De maximale omwentelingssnelheid van de GM 8018 is bij langdurig gebruik 3000 omw/min en bij kortstondig gebruik 10 000 omw/min.



Het synchroniseren door middel van een fotocel of een electromagnetische opnemer

Bij toerentallen boven 6000 omwentelingen per minuut zijn contactinrichtingen niet betrouwbaar. Het is dan beter gebruik te maken van een foto-electrische of electromagnetische synchroniseerinrichting.

Fig. 2. Het synchronisatie-instrument GM 8018 met twee uitvoeringen van meenemers.

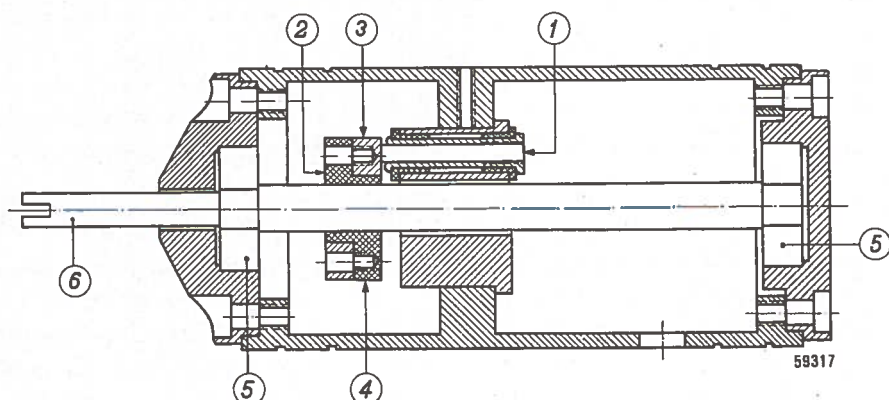


Fig. 3. Doorsnede van het synchronisatie-instrument.

- 1 = contactborstel van een koper-koolstofmengsel (er zijn twee van deze borstels aanwezig, die in de draairichting 90° ten opzichte van elkaar zijn verplaatst);
- 2 = roterende schijf van isolatiemateriaal;
- 3 = contactsegment dat 180° van de omtrek inneemt;
- 4 = balanceergewicht;
- 5 = kogellagertjes;
- 6 = as van de rotor.

Foto-electrische synchronisatie kan geschieden door op de as van de machine een witte merkstreep aan te brengen, bijv. een smalle streep witte verf of een strookje wit papier, en tegenover de as een fotocel op te stellen. Ten einde een groter contrast te verkrijgen, kan men de as ter plaatse mat zwart lakken alvorens de witte streep aan te brengen. Indien de as gepolijst is, kan men ook een zwarte streep aanbrengen.

Zeer geschikt voor het gestelde doel is de Philips fotocelhouder GM 8004, al of niet voorzien van een lens GM 8015 (zie „Electronisch Meten” 2/10). Bovendien verdient het bij gebrekkige verlichting ter plaatse aanbeveling de witte streep te belichten met behulp van de lichtwerper GM 8005, voorzien van de lens GM 8015 en gevoed door de transformator GM 8006. Men dient er bij het opstellen van de lichtwerper en fotocelhouder op te letten, dat slechts het licht dat door de witte streep wordt teruggeworpen op de fotocel kan vallen en dat geen directe belichting van de fotocel mogelijk is. Electromagnetische synchronisatie kan geschieden met een Philips electromagnetische trillingopnemer GM 5527. Deze stelt men op tegenover het asgedeelte dat hiervoor in aanmerking komt. In dit asgedeelte wordt dan een spiebaan, een schroefje en een stukje plaatijzer aangebracht, zodat telkens als deze plaatselijke verhoging of verlaging van de asdiameter aan de pool van de opnemer voorbijgaat, een verandering van magnetische flux optreedt en een spanning in de wikkeling van de opnemer wordt geïnduceerd. De uitgangsspanning van de fotocel is, evenals die van de electromagnetische opnemer, veel te klein om daarmee de stroboscoop te kunnen synchroniseren. Deze spanningen hebben de orde van grootte van enige millivolt. Voor het synchroniseren met behulp van spanningsimpulsen moet de schakelaar SK₅ van de stroboscoop in

stand 3 (0,5 — 25) worden gezet. Aan de klemmen Bu_2 en Bu_1 dient een spanningsimpuls van 25 tot 200 V te worden gelegd; een goede waarde is bijv. 50 V. Het is duidelijk dat een gevoelige versterker nodig is voor het vergroten van de uitgangsspanning van de fotocel of van de electromagnetische opnemer.

De versterker van de kathodestraaloscillograaf GM 3156 is voor dit doel zeer geschikt. Deze versterker levert een 10 000-voudige versterking, en indien het ingangssignaal 3 tot 5 mV bedraagt (uitgangsspanning van de fotocel of van de electromagnetische opnemer), heeft men dus een synchronisatiespanning van 30 tot 50 V.

De uitgang van de versterker wordt bij voorkeur los gemaakt van de platen voor verticale afbuiging van de kathodestraalbuis. Iedere Philips standaard geluidsversterker met microfoonaansluiting kan hiervoor worden gebruikt (uitgangsspanning ca. 100 V).

Indien men niet over een geschikte voedingsapparaat beschikt, kan voor de voeding van de fotocel een droge anodebatterij van 90 V worden gebruikt.

Vergroting van de flitsfrequentie door middel van externe synchronisatie

De maximale flitsfrequentie van de stroboscoop GM 5500 bedraagt 250 Hz, hetgeen overeenkomt met 15 000 omw/min. In sommige gevallen is een nog hogere frequentie vereist, bijv. bij onderzoeken aan centrifuges en gyroscopen.

Het is gebleken dat men met behulp van een uitwendige synchronisatie de frequentie van de relaxatiespanningsgenerator kan opvoeren zonder veranderingen in de schakeling van het apparaat aan te brengen. De schakelaar SK_2 wordt in de stand 0 — 25 gezet, en de schakelaar SK_3 , waarmee de flitsfrequentie wordt geregeld, in de stand 75 — 250. De uitwendige synchronisatiespanning moet een waarde hebben van ten minste 50 V en kan worden verkregen door middel van een toongenerator (bijv. de Philips GM 2307). Door de frequentie van de toongenerator hoger te stellen dan de normaal door de stroboscoop verkregen maximale flitsfrequentie, kan men de flitsfrequentie boven het maximum van 250 Hz opvoeren. Een begrenzing van deze frequentie vormt evenwel de belasting van de flitslamp. Het vermogen dat in deze lamp wordt opgenomen mag een bepaalde grens niet overschrijden, omdat haar levensduur anders aanmerkelijk verkort zou worden. Bij een te grote dissipatie treedt een sterke verschuiving van de elektroden op, waardoor het flitsbuisje zwart wordt. Bovendien worden de flitsen onregelmatig. Dit wil nog niet zeggen dat men daarom de flitsfrequentie niet boven 250 Hz kan opvoeren. De stroom door de lamp mag echter niet groter zijn dan de merkstreep op het wijzerinstrument aangeeft. Proeven hebben aangetoond dat bij de minimaal bruikbare lichtstreek van de flitslamp deze maximale gemiddelde stroom wordt bereikt als de frequentie 500 Hz is. De flitslamp heeft bij deze

frequentie nog een goede levensduur. Het verdient dus aanbeveling met de verhoging van de frequentie door middel van de externe synchronisatie niet verder te gaan dan de aangegeven grens van 500 Hz (hetgeen overeenkomt met 30 000 omw/min).

BALANCEREN VAN VENTILATOREN

In „Electronisch Meten”, Jrg. 1, Nr. 12, werd reeds over de theorie van het balanceren in één correctievlak geschreven. Wij menen er goed aan te doen nogmaals op dit onderwerp terug te komen, aangezien thans, dank zij de welwillende medewerking van de Machinefabriek „Kennemer” te Beverwijk, meetresultaten van een in de praktijk uitgevoerde balanceermeting ter beschikking staan.

Het betreft hier een grote ventilator ($D = 900$ mm) met aangebouwde electromotor ($n = 1500$ omw/min) en een V-snaartransmissie die het toerental van de motor reduceert tot 600 omw/min.

Dergelijke ventilatoren worden o.a. gebruikt voor luchtcirculatiesystemen aan boord van schepen.

Fig. 1 geeft een beeld van het schoepenrad van de betreffende ventilator. Het aandrijfmechanisme bevindt zich aan de achterzijde van het schoepenrad (fig. 2).

Bij deze balanceermeting werd van de volgende Philips meettoestellen gebruik gemaakt:

- a) een electrodynamische trillingsopnemer GM 5520;
- b) een Kathodestraaloscillograaf GM 3156;
- c) een amplitude meetapparaat GM 5522.

Daar men bij het uitvoeren van deze metingen nog niet over een Philips faze-indikator GM 5670 kon beschikken, werd een methode gevolgd die ook tot een bevredigend resultaat leidde maar welke onvermijdelijk meer tijd eiste.

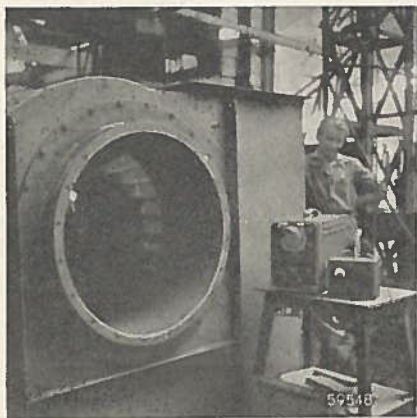


Fig. 1. Ventilator voor luchtcirculatiesystemen met de daarbij opgestelde meetapparatuur voor balanceermetingen.

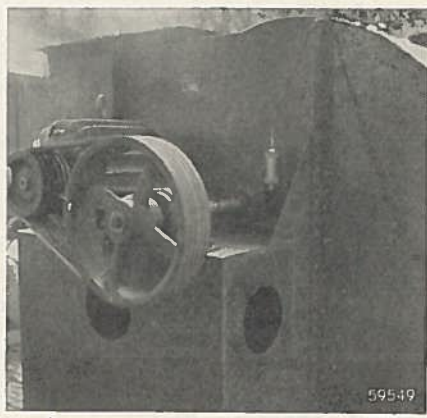
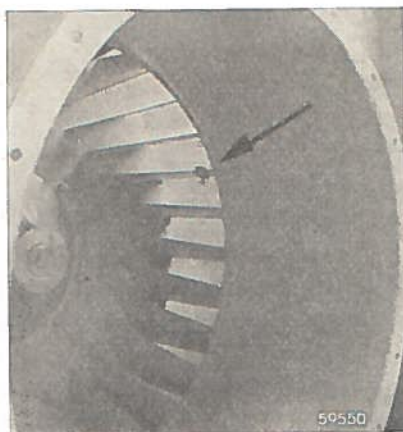


Fig. 2. Trillingsopnemer GM 5522 bevestigd aan een lager van het aandrijfmechanisme voor de ventilator.

Fig. 3. Balanceergewicht bevestigd aan een van de schoepen.



De trillingsopnemer werd gemonteerd op het lager dat zich het dichtst bij de rotor met schoepen bevindt, aangezien op deze plaats het trillingsbeeld vrijwel sinusvormig was, hetgeen voor het bepalen van de absolute amplitude van belang is. (fig. 2).

Nadat de ventilatormotor was ingeschakeld, zag men op het scherm van de kathodestraaloscillograaf een getrouwe weergave van de mechanische trilling die, op de plaats waar de trillingsopnemer was aangebracht, door het draaien van de ventilator was ontstaan. De absolute waarde van deze mechanische trilling bleek zodanig te zijn dat balanceren inderdaad gewenst was.

De motor werd daarom uitgeschakeld, en nadat deze tot stilstand was gekomen werd een willekeurig balanceergewicht (in dit geval 50 g) aan een eveneens willekeurige schoep van de ventilator bevestigd (fig. 3). Bij de daaropvolgende metingen werd de trillingsamplitude relatief gemeten als functie van de plaats (aan de omtrek van het schoepenrad) waar het balanceergewicht was aangebracht. Het totaal aantal schoepen bedroeg 28, zodat men de omtrek kon verdelen in 4×7 schoepen. Telkens wanneer het gewicht weer 7 schoepen verder werd aangebracht veranderde de amplitude. Het resultaat hiervan is grafisch weergegeven in fig. 4.

Hieruit blijkt dat de amplitude minimaal is als het gewicht van 50 g is bevestigd aan schoep Nr. 15. Een nog kleinere amplitude kon dus met dit gewicht niet worden verkregen.

De volgende stap was daarom het bepalen van de amplitude als functie van het gewicht op schoep Nr. 15.

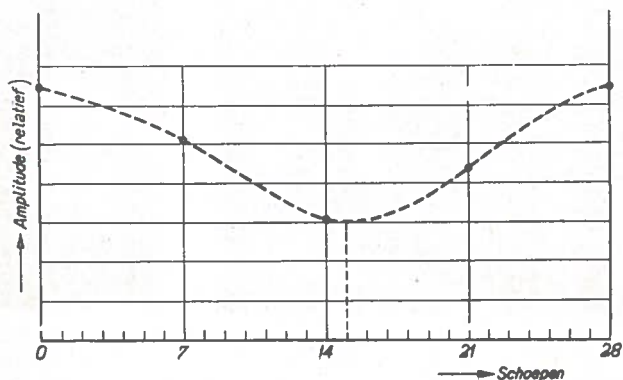


Fig. 4. Relatieve trillingsamplitude als functie van de plaats (schoep) waar het balanceergewicht is aangebracht.

Fig. 5 geeft een duidelijk beeld van het verkregen resultaat. Een gewicht van 60 g bleek een grotere amplitude te veroorzaken, zodat het duidelijk was dat alleen vermindering van het balanceergewicht tot verdere vermindering van de amplitude kon leiden. Deze was minimaal bij een balanceergewicht van ca. 35 g. Een controle van de absolute waarde van de amplitude wees uit dat deze nu binnen de gestelde grens lag, zodat de ventilator in deze toestand voor aflevering geschikt was. Ware dit niet het geval geweest, dan had men noodgedwongen moeten overgaan tot twee correctievlakken. Hierbij zou een convergerende meetmethode niet zo snel gevonden zijn omdat een balanceergewicht in het tweede correctievlak steeds weer invloed zal uitoefenen op de balans in het eerste vlak.

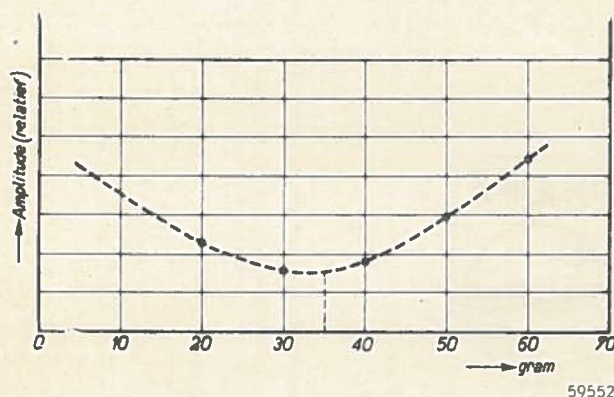


Fig. 5. Relatieve trillingsamplitude als functie van de zwaarte van het balanceergewicht op de uit fig. 4 gevonden gunstigste plaats (schoep Nr. 15).

Het balanceren van een waaier als hier is afgebeeld, zal meestal in een enkel vlak kunnen geschieden.

De hierboven beschreven balanceermethode vergt, zoals reeds opgemerkt, enige tijd. Aan de hand van de meetpunten welke in de fig. 4 en 5 zijn aangegeven kan men nagaan dat de aandrijfmotor een hiermede overeenkomstig aantal malen moet worden in en uitgeschakeld, dus 10 maal. Werkt men met zware rotoren, dan zal over het algemeen de uitlooptijd alleen al aanzienlijk zijn.

Men kan de nodige tijd aanmerkelijk bekorten indien, naast de genoemde meetapparatuur bovendien gebruik wordt gemaakt van de inmiddels leverbare faze-indicator GM 5670.

Voor balanceermetingen met één correctievlak behoeft men de betreffende machine of motor slechts tweemaal in te schakelen.

De berekening van de plaats en de grootte van de onbalans is dan namelijk gebaseerd op de meting van de trillingssterkte en van een faze-hoek zonder en daarna met een in het correctievlak opzettelijk aangebracht bekend balanceergewicht.

Nadere bijzonderheden omtrent een dergelijke meting vindt men in het artikel „Balanceren van machines met behulp van electrische trillingsmeetapparatuur”, waarnaar wij in de aanhef van deze publicatie reeds verwezen.

R. B.



INHOUD

De synchronisch ontketende tijdasspanning van kathodestraal-
oscillografen (eerste deel) — Het synchroniseren van de stroboscoop
GM 5500 — Balanceren van Ventilatoren.

IM 3151 N. 9/'49

ELECTRONISCH METEN

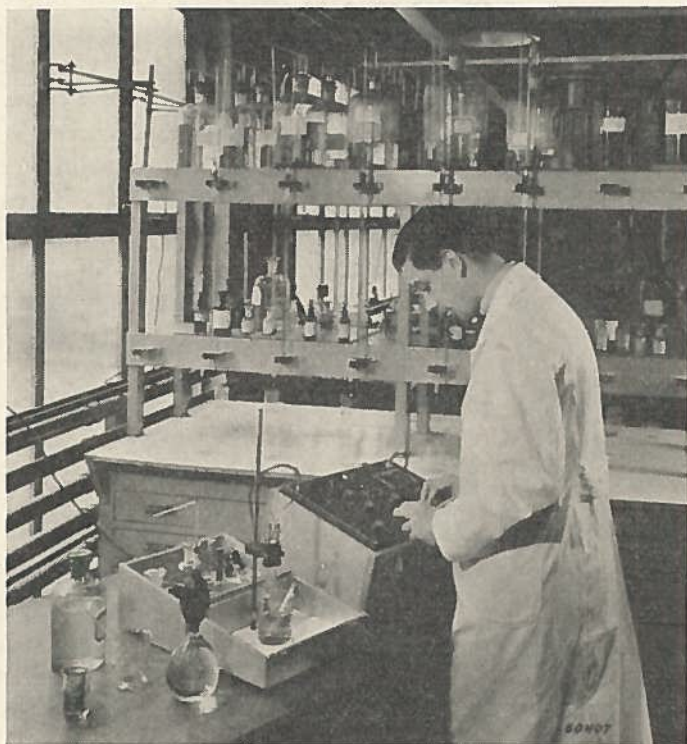
HET GEBRUIK DER MODERNE
ELECTRONISCHE MEETAPPARATEN
IN LABORATORIA EN BEDRIJVEN



ARGANG 3

NUMMER 2

De moderne pH-meter GM 4491 voor het bepalen van de zuurgraad van vloeistoffen, in gebruik in een modern fabriekslaboratorium.



HET GEBRUIK
VAN KATHODE-
STRAALOSCIL-
LOGRAFEN
VOOR
INDUSTRIËLE
DOELEINDEN

In dit nummer is het vervolg gepubliceerd op het artikel van Robert H. Papet over „de synchronisch ontketende tijdbasis-spanning van cathode straal oscillographen”, waarin nu speciaal de aandacht op de praktijk wordt gevestigd, in tegenstelling met het eerste deel, waarin de theorie werd behandeld.

Voorts is opgenomen een artikel gewijd aan de Philips pH-meter type 4491, welke juist is geïntroduceerd.

Naast enige algemene opmerkingen over de pH-meting, is een uitvoerige beschrijving van de pH-meter type 4491 en zijn hulp-apparatuur opgenomen.

DE SYNCHRONISCH ONTKETENDE TIJDASSPANNING VAN KATHODESTRAALOSCILLOGRAFEN

door ROBERT H. PAPET

DEEL II

Laboratoires S.I.G.M.A., Vénissieux (Rhône)

Practische verwezenlijking

Alle Philips oscillografen, evenals de drukindicator GM 3154, bezitten een aansluitklem voor een eenmaal optredende tijdasslag. Deze kan men gebruiken voor het synchronisch ontketenen.

Hierdoor is iedere door de gebruiker in de oscillograaf aan te brengen verandering van de schakeling vermeden. Wij merken op, dat het zeer moeilijk is een normale tijdbasisgenerator die niet voor dit doel is ingericht, synchronisch te ontketenen. Men heeft in dat geval te maken met een vaste spanning, waarmee het beeldpunt in de afwachstand wordt gehouden, en met een voorbijgaande spanning — de spanning van de tijdasslag — waarvan de duur dikwijls zeer kort is ten opzichte van de afwachtijd. De capacitieve koppeling tussen de relaxatie-oscillator en de electrode voor horizontale afbuiging, als bij generatoren van periodieke tijdasspanningen in de oscillografen wordt aangetroffen, is dus onbruikbaar. Zij moet worden vervangen door een directe koppeling, hetgeen het vraagstuk van de voeding gecompliceerder maakt. Wij veronderstellen het principe van de relaxatie-oscillator, die voor de tijdass zaagtandvormige spanningen opwekt, als bekend, maar herinneren er aan dat er in iedere cyclus vier fazen zijn te onderscheiden.

Deze zijn:

1e faze: Een condensator wordt geladen met een constante stroom. Het beeldpunt verplaatst zich van links naar rechts met een zekere slagsnelheid.

2e faze: De condensator is geladen en het beeldpunt bevindt zich rechts. Deze faze bestaat niet bij de gewone tijdasslagwerking; zij kan echter van lange duur zijn bij een enkelslag en bij een synchronisch ontketende tijdasspanning.

3e faze: De ontladingsbuis wordt ontstoken en de condensator dientengevolge kortgesloten of bijna kortgesloten; de condensator ontlaaft zich en het beeldpunt springt zeer snel van rechts naar links.

4e faze: De condensator is in kortgesloten en dus in ontladen toestand; het beeldpunt blijft links. Deze faze kan bij sommige enkelslag-tijdassgeneratoren optreden en wordt, zoals we verderop zullen zien, bij de normale periodieke en de synchronisch ontketende tijdasspanningen, overgeslagen.

De thyatronbuis van de relaxatie-oscillator kan zich slechts in twee toestanden bevinden; deze zijn:

1. de doorslagtoestand, waarbij de buis geleidend is (overeenkomend met de beschreven 3e en 4e faze);
2. de niet-geleidende toestand, waarbij de buis gedoofd en haar inwendige weerstand oneindig groot is (overeenkomend met de genoemde 1e en 2e faze).

Naar gelang van de toestand waarin de thyatronbuis gedurende de afwachttijd verkeert, kan de synchronisch ontketende tijdasspanning op twee verschillende wijzen optreden:

1. De thyatronbuis gedurende de afwachttijd geleidend zijnde, bevindt het beeldpunt in rusttoestand zich aan de *linkerkant* van het scherm. De thyatronbuis dooft door het in werking treden van de ontkeningsinrichting, de tijdascondensator laadt zich op en het beeldpunt beweegt zich van links naar rechts. Dit punt keert daarna weer snel terug naar de linkerkant, waar het de volgende ontkening afwacht.
2. De thyatronbuis gedurende de afwachttijd gedoofd zijnde, bevindt het beeldpunt in rusttoestand zich aan de *rechterkant* van het scherm. Het sluiten van het contact van de ontkeningsinrichting veroorzaakt het ontsteken van de buis, en de tijdascondensator ontladt zich. Het beeldpunt springt naar de linkerkant en verplaatst zich vervolgens met de gewenste tijdassnelheid naar rechts.

De praktische verwezenlijking van het tweede systeem is eenvoudiger. Hiervan heeft men, voor de registreringen die in dit artikel voorkomen, om de volgende redenen gebruik gemaakt:

Bij gebruik van het eerste systeem is, zoals gezegd, de thyatronbuis normaal geleidend en de tijdascondensator ontladen, behalve gedurende de tijd dat de ontkeningsimpuls optreedt en de buis gedoofd is en daardoor de stroomdoorgang blokkeert.

Gedurende dit interval laadt de condensator zich op en beweegt zich het beeldpunt voor het vormen van de tijdas. De duur van de ontkeningspanning moet dus gelijk zijn aan of groter dan de duur van de tijdasslag. Ware hij te kort, dan zou het beeldpunt voortijdig naar links terugkeren (dit geldt voor de gebruikelijke schakelingen van tijdasspanningsgeneratoren; er wordt hier niet gedacht aan speciale en ingewikkelde schakelingen). Bij toepassing van het tweede systeem daarentegen is, als er niets gebeurt, de thyatronbuis gedoofd, dus de stroomdoorgang geblokkeerd; een impuls van zeer korte duur is dan voldoende voor het ontsteken van de thyatron en om de ontlading van de condensator in te leiden. De enige voorwaarde voor een goede werking in dat geval is, dat de duur van de ontkeningsimpuls niet langer is dan de duur van de tijdasslag; dit is altijd gemakkelijk te verwezenlijken.

De schakeling voor synchronische ontkening

Het ligt niet in de bedoeling het volledige schema van een tijdasgenerator waarmee een synchronisch ontkenen mogelijk is, te beschrijven. Daar

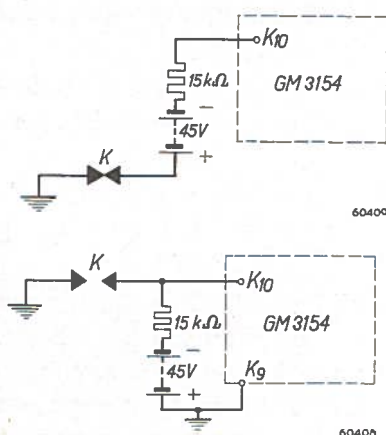


Fig. 9. Het contact K verbindt de klem K_{10} van de drukindicator met aarde, op het ogenblik van ontketening.

Fig. 10. Door het openen van contact K wordt de batterijketen onderbroken en de ontketening teweeg gebracht.

dit artikel bestemd is voor de gebruikers van handelsoscillografen, geven wij in hetgeen volgt een beschrijving van de schakeling die met de drukindicator Philips GM 3154 werd verwezenlijkt.

De drukindicator heeft een klem, K_{10} , voor de ingang van de enkelslag tijdas¹⁾. Als men een negatieve spanning van 45 V aan deze klem legt, is de tijdasbuis gedoofd en bevindt het beeldpunt zich onbeweeglijk aan de rechterkant van het scherm. De negatieve spanning wordt geleverd door een droge batterij; de afgenomen stroom wordt beperkt door een serie-weerstand. De bedoeling van de synchronische ontketeningssimpuls is deze blokkeringspanning voorbijgaand en periodiek te doen verdwijnen. Hiertoe bestaan drie mogelijkheden:

1. Het ontketeningsscontact verbindt de klem K_{10} met de massa (fig. 1). Deze schakeling is gemakkelijk door te voeren, want de duur van de sluiting van het contact kan veranderlijk zijn, op voorwaarde echter dat zij klein blijve, om snelle slagen mogelijk te maken. Voor onze proefnemingen op machines met vrije zuigers was zij van de orde van grootte van 2 milliseconden.
2. De batterij wordt voorbijgaand losgeschakeld door de ontketeningssinrichting (fig. 2). De roterende onderbreker van een motorfietsontstekingmagneet of van een elektrische toerenteller kan hiervoor met voordeel worden gebruikt. Daar de batterij nooit via de voorschakelweerstand met de massa is verbonden, wordt zij gespaard. De stroom door de batterij is slechts ongeveer 0,7 mA op de ogenblikken dat zij is verbonden met klem K_{10} .
3. Het is dikwijls niet mogelijk een electro-mechanisch contact te bedienen, en men wenst dan de tijdasspanning te ontketenen door middel

¹⁾ De hiermee overeenkomende aansluitbus van de Philips oscillograaf GM 3156 is aangeduid met K_4 .

Fig. 11a. Door middel van het positieve of negatieve front van een spanningssimpuls, wordt de ontketening van de tijdasspanning ingeleid.

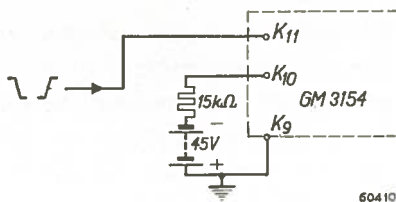
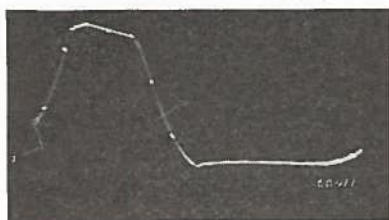


Fig. 11b. De tijdasspanning is door het verschijnsel zelf ontketend. De spanningstoename dient voor het ontsteken van de tijdasbuis; diensgevolge gaat een essentieel deel van het diagram verloren.



van een elektrische impuls (fig. 3a). Deze impuls kan het steile front van de spanning van het waar te nemen verschijnsel zelf zijn. Helaas gaat dan het begin van het verschijnsel voor de waarneming verloren (fig. 3b).

Voor dit ontketenen door middel van het verschijnsel zelf, kan men zich bedienen van de klemmen K9 en K11, die de drukindicator bezit voor de synchronisatie van de periodieke tijdasspanning door middel van positieve of negatieve impulsen. Deze klemmen zijn aangesloten op de primaire wikkeling van een transformator, waarvan de secundaire wikkeling tussen een punt met positieve potentiaal en het rooster van de thyatron is geschakeld. Men kan dus door het zenden van ontketeningsimpulsen door de primaire wikkeling van deze transformator, een spanning met een polariteit tegengesteld aan die van de batterij opwekken en hiermee de thyatronbuis doen ontsteken ¹⁾.

Men kan nauwelijks van te voren alle gebruiksmogelijkheden van de kathodestraaloscillograaf voorzien, en het is raadzaam van het begin af

¹⁾ Deze mogelijkheid bestaat alleen in het oude type van de drukindicator GM 3154; in het nieuwe type is zij vervallen. Overigens wordt verwezen naar „Electronisch Meten” 2, Nr. 3, waarin op blz. 7 (fig. 5) wordt beschreven hoe men met een aparte thyatronbuis hetzelfde doel kan bereiken.

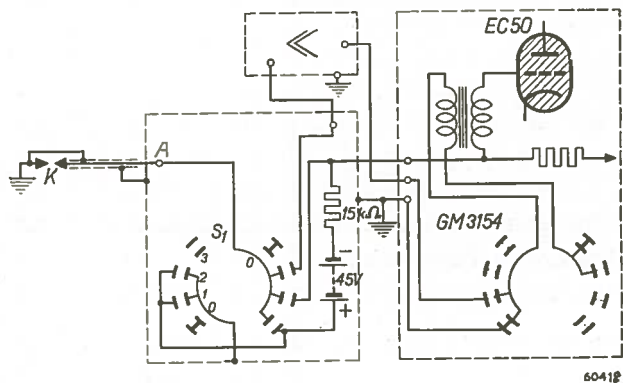


Fig. 12. Principe-schema van een tijdas-schakeleenheid die aan de druk-indicator werd toegevoegd.

te zorgen voor een volledige schakeling waarmee alle vraagstukken die zich in een ontwerpafdeling, in de fabricage of in het laboratorium van een fabriek in de toekomst zullen voordoen, snel kunnen worden opgelost. De tijdasschakeleenheid die aan onze drukindicator werd toegevoegd, staat dus het gebruik van alle bovengenoemde schakelingen toe. Zij vormt een onderdeel van een omvangrijkere apparatuur, waarvan de beschrijving buiten het bestek van dit artikel valt.

Het synchronisatiesignaal en het ontketeningssignaal worden toegevoerd aan de bus A van deze eenheid (fig. 4).

In de stand 0 van de omschakelaar S_1 ligt de blokkeringspanning niet aan het rooster van de thyatronbuis EC 50, want de positieve pool van de batterij is niet met de massa verbonden. De bus A is los en de tijdas werkt dus periodiek en zonder synchronisatie.

In de stand 1 van de omschakelaar S_1 ligt de blokkeringspanning aan het rooster van de thyatronbuis. Het ontketeningssignaal wordt geleverd door een willekeurige elektrische impuls die, na versterking, door de primaire wikkeling van de synchronisatietransformator T vloeit.

De omschakelaar A_5 , die zich aan de achterkant van de drukindicator bevindt, dient voor het verwisselen van de aansluitingen van deze transformator; het is dus niet nodig zich bezorgd te maken over de polariteit van het signaal¹⁾.

In de stand 2 van de omschakelaar S_1 ligt de blokkeringspanning aan het rooster van de thyatronbuis; zij verdwijnt gedurende de sluiting van het ontketeningcontact.

In de stand 3 van de omschakelaar S_1 ligt de blokkeringspanning net zolang aan het rooster van de thyatronbuis als het ontketeningcontact gesloten blijft, en de tijdasslag begint op het ogenblik van *openen* van dit contact.

Het fotografisch registreren

Door middel van het fotografisch registreren van oscillogrammen, kan men een vluchtig beeld op het fluorescentiescherm veranderen in een blijvend document, dat kan dienen als grondslag voor een volledige analyse van de te bestuderen verschijnselen.

Dit kan door het automatisch in werking brengen van de oscillogram-opname door middel van het fotoapparaat zeer worden vergemakkelijkt. Zodoende bereikt men dat het diagram slechts gedurende de tijd van volledige sluiteropening wordt geregistreerd. Men vermijdt daarmee onderbelichte delen die tijdens een onvolledige opening van de sluiters ontstaan, en men kan aldus op nauwkeurige wijze het aantal over elkaar gelegde oscillogrambeschrijvingen begrenzen.

Het tijdelijk onderdrukken van het beeldpunt door een variatie van de

¹⁾ De hiermee overeenkomende omschakelaar van de oscillograaf GM 3156 is aangeduid met A_1 .

spanning aan het rooster van de kathodestraalbuis (Wehnelt cylinder) wordt hiervoor veelvuldig aanbevolen, maar naar onze mening ¹⁾ heeft dit nadelen:

1. Men heeft het niet in de hand de eerste oscillogrambeschrijving te doen aanvangen aan het begin en de laatste te doen eindigen aan het eind van de betreffende tijdasslagen.
2. De geringste verandering van roosterspanning (spanning aan de Wehnelt cylinder) veroorzaakt een defocusering, waardoor de scherpte van het begin van het gefotografeerde oscillogram geringer is.
3. Het rooster bevindt zich dikwijls op een hoge potentiaal t.o.v. de massa; diensgevolge zijn speciale veiligheidsmaatregelen nodig voor het aanleggen van de toe te voegen negatieve potentiaal.

Een eenvoudige oplossing van het probleem wordt verkregen met de synchronisch ontketende tijdasspanning.

Het oscillogram wordt gestabiliseerd door synchronisch ontketenen van de tijdasspanning. Als de sluiters van de camera begint te openen, houden de tijdasslagen op en komt het beeldpunt aan de rechterkant, buiten het schermoppervlak, tot stilstand. Als de sluiters geheel open is, herstelt zich de beweging van het beeldpunt, en de tijdasslagen herhalen zich tot de

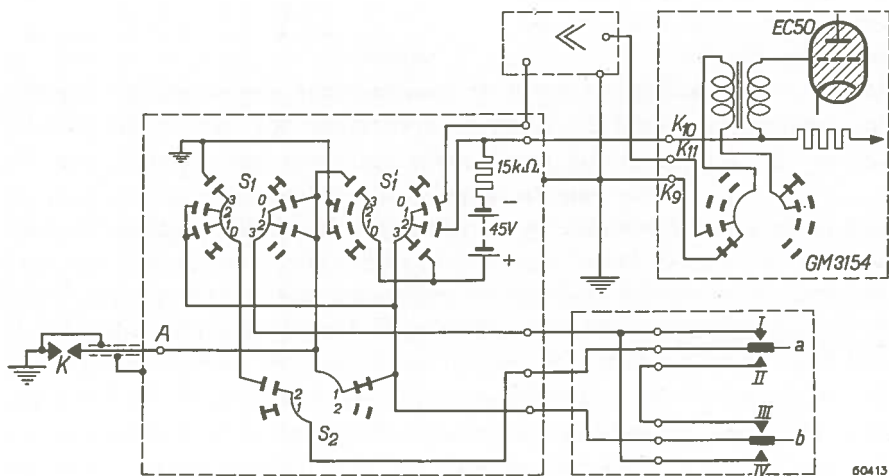


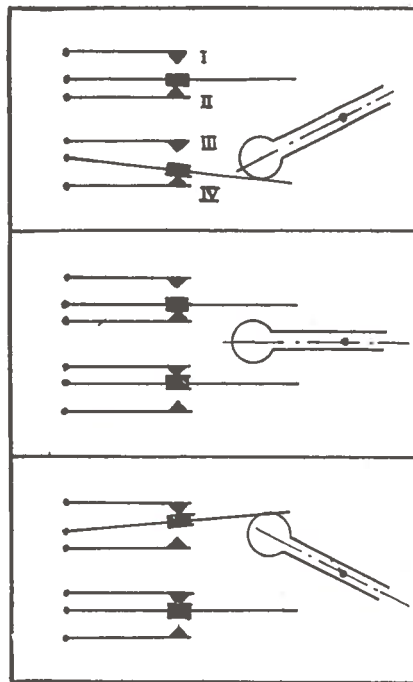
Fig. 13. Principeschema van de tijdas-schakeleenheid voor de drukindicator, waarbij de oscillogramopname wordt ingeleid door het openen van de camerasluiters. K = hefboom waarmee de tijdas kan worden ontketend zonder de camerasluiters te bedienen; b = het hefboom dat wordt bediend door de camerasluiters; A = aansluitklem voor het ontketeningsschakelaar K of voor de ontketeningsspanning.

¹⁾ Hier is de mening van de auteur weergegeven. Overigens wordt verwezen naar „Electronisch Meten” Nr. 3, waarin het elektronisch tijdbasisrelais GM 8003 wordt beschreven, waarmee door het verschijnsel zelf, het van te voren onderdrukte beeldpunt op het scherm wordt te voorschijn geroepen en een ingebouwde tijdasgenerator in werking wordt gebracht. Dit apparaat kan echter alleen voor eenmalige verschijnselen worden gebruikt, en zijn tijdbasis kan niet periodiek en synchronisch worden ontketend. Dit is het gevolg van de onvermijdelijk grote tijdconstante van de weerstands- en condensatorelementen.

sluiter weer begint dicht te gaan, waardoor de tijdasslagen weer ophouden. De tijdasbeweging begint pas opnieuw nadat de camera-sluiters geheel dicht is. Een en ander verkrijgt men door de sluiters te koppelen met een contactinrichting als is weergegeven in fig. 14, en die men zelf gemakkelijk kan maken met behulp van een of twee telefoon-sleutels. Deze inrichting kan met voordeel worden bedreven door een hefboompje, dat tevens de sleutel „op afstand” bedient. Het prinsipeschema is weergegeven in fig. 13; de contacten zijn getekend in de stand met de sluiters open.

Met de omschakelaar S_1 (fig. 13) kiest men de wijze van ontketenen juist zoals in het geval van fig. 12.

Met de omschakelaar S_2 wordt de camera-sluiters uitgeschakeld (stand 1) en ingeschakeld (stand 2), zodat de apparatuur ook kan werken zonder camera. De tijdasspanning wordt ontketend door een impuls¹⁾, met S_1 in de stand 1. Dit is eveneens mogelijk als contact K is gesloten en S_1 zich in de stand 2 bevindt. In dit geval zijn de parallel geschakelde contacten I en IV in de keten opgenomen, en het ene of het andere van deze contacten moet worden gesloten ter verkrijging van de ontketening. Aldus is de tijdasbeweging effectief geblokkeerd terwijl de sluiters zich in de middelste stand bevindt. De opening van contact K brengt de thyatron tot ontsteking als de omschakelaar zich in stand 3 bevindt. De contacten II en III liggen dan parallel aan het ontstekingscontact K. Ten minste één van deze contacten moet zijn geopend, om de ontsteking van de thyatronbuis te verkrijgen. De tijdasslag is geblokkeerd terwijl de sluiters zich in de middelste stand bevindt, want dan zijn de contacten II en III tegelijk gesloten en blijft het periodieke openen van K zonder effect.



50414

Fig. 14. Contactinrichting van fig. 13, in drie verschillende standen van de hefboom.

Samenvatting

De periodieke en semi-periodieke verschijnselen worden geoscillografeerd met een zogenaamde „synchronisch ontketende tijdasgenerator”.

De tijdas geeft secties van de grondcyclus die op het gunstige ogenblik

¹⁾ Dit geldt dus voor de uitvoering van de drukindicator die door de heer Papet wordt gebruikt.

beginnen en waarvan de duur naar willekeur door de experimentator kan worden gekozen. De tijdschaal is aldus onafhankelijk van de grondfrequentie van het waar te nemen verschijnsel.

De tijdasgenerator met synchronische ontketening vergemakkelijkt het registreren van meervoudige oscillogrammen.

De beschreven tijdaseenheid wordt aangesloten op de klem voor de enkel-slag tijdas van de Philips oscillografen en drukindicatoren. Zij veroorlooft het ontketenen door het sluiten of openen van een contact of door middel van elektrische impulsen die door het verschijnsel zelf kunnen worden geleverd. De camera-sluiters is voorzien van contacten die deel uitmaken van de ontketeningsschakeling. De tijdas is slechts in werking gedurende de volledige sluiting of opening van de sluiters, ten einde het fotograferen van onvolledige cycli te vermijden en het schatten van het aantal over elkaar gefotografeerde oscillogrammen mogelijk te maken.

Opmerking

De oscillogrammen zijn weergegeven *zonder enige retouche*. Zij zijn door de auteur geregistreerd met behulp van een installatie die o.a. de volgende apparaten bevat:

een Philips drukindicator GM 3154,

een Philips oscillograaf GM 3156,

een Philips laagfrequentiegenerator,

een Philips kathodestraalbuis DG 9—3 met groen beeldpunt.

De foto's zijn genomen op Kodak film Rayoscope van het type „Photo-mitraillesue” (geperforeerde film ter breedte van 60 mm), met behulp van een objectief $F = 85$ mm, $1 : 2,8$. De film is met een speciale ontwikkelaar ontwikkeld ¹⁾.

De oscillogrammen werden genomen ten behoeve van de „Société d'Etudes Mécaniques et Energétiques” (S.E.M.E.); zij hebben gediend voor het bestuderen van machines met vrije zuiger, injectiepompen, luchtcompressoren en compressorsluiters.

¹⁾ Verg. R. Papet: Enregistrement d'Oscillogrammes, Toute la Radio, Juli/Aug. '47 Nr. 117, blz. 216.

Gedurende de laatste twintig jaren heeft men hoe langer hoe beter leren inzien, van hoeveel belang de nauwkeurige kennis van de zuurgraad van de meest uiteenlopende vloeistoffen kan zijn. Niet slechts bij het zuiver wetenschappelijk onderzoek, maar ook in de chemische industrie, in de levensmiddelenindustrie, in de bodemkunde, in wasserijen en bij allerlei soorten van biologisch en fysiologisch werk behoort het meten van de waterstofionenconcentraties tegenwoordig tot de standaardmethoden die in talloze laboratoria dagelijks worden toegepast.

Naarmate de belangstelling voor deze metingen toenam, groeide ook het aantal werkwijzen en apparaten voor het bepalen van het p_H -getal. Uiteraard worden aan p_H -meters, bestemd voor het uitvoeren van *routine-metingen* (bijv. p_H -metingen ter controle van het productieproces in bedrijven of fabrieken) andere en minder zware eisen gesteld dan aan laboratorium-apparaten, waarmee *zeer nauwkeurige metingen* zullen moeten worden verricht.

In de afgelopen jaren werden vele typen p_H -meetinstrumenten op de markt gebracht, doch slechts weinige kunnen voldoen aan de zeer zware eisen die aan het gebruik van dergelijke meettoestellen in laboratoria worden gesteld. En zelfs deze nog vertonen somtijds eigenschappen welke de laborant niet geheel en al bevredigen.

Een diepgaande studie van de diverse meetmethoden en de hieraan verbonden tekortkomingen heeft — mede dank zij de snelle vooruitgang der elektronische techniek en de grote ervaring der Philips Laboratoria op elektronisch gebied — uiteindelijk geleid tot de constructie van een p_H -meetapparaat, Philips type GM 4491, dat voldoet aan zeer hoge eisen van nauwkeurigheid, betrouwbaarheid en bedrijfszekerheid (fig. 1). Deze eigenschappen zijn verkregen door toepassing van onderdelen van buitengewoon goede kwaliteit, welke behoren tot de klasse der Philips Professionele Onderdelen, speciaal ontwikkeld ten gebruike in precisie-apparaten voor wetenschappelijke en technische doeleinden, waarvoor standaard onderdelen niet aan de gestelde eisen kunnen voldoen.

Behalve p_H -metingen en titraties kunnen ook oxydatie-reductie potentiaalmetingen met deze p_H -meter worden uitgevoerd.

Bovendien kan dit meetapparaat als gevoelige, stroomloze millivoltmeter worden gebruikt.

Het bepalen van p_H

Van al de verschillende methoden voor het bepalen van de p_H -waarde is de potentiometrische meetmethode de nauwkeurigste. Deze komt in principe neer op het meten van een kleine gelijkspanning, die — volgens de theorie van Nernst — lineair verband houdt met de p_H -waarde van een oplossing.

Fig. 1. Het Philips universele pH-meetapparaat GM 4491



60415

Een laboratorium pH-meetapparaat dat werkelijk praktisch nut moet hebben, en waarin dus een hoge graad van nauwkeurigheid en betrouwbaarheid is gecombineerd met een eenvoudige bediening, moet aan onderstaande eisen voldoen:

1. Het apparaat moet kunnen worden gebruikt tezamen met een stevige, compacte glaselectrode; deze laatste zal dus noodzakelijkerwijze een hoge inwendige weerstand bezitten.
2. Een zeer hoge ingangsweerstand van het apparaat is essentieel, daar de elektroden tijdens de meting onder geen voorwaarde stroom mogen leveren.
3. De pH-waarde van een oplossing moet tot op 0,01 pH nauwkeurigheid kunnen worden gemeten, d.w.z. een gelijkspanning van 0,5 mV moet met behulp van het apparaat meetbaar zijn.

Philips Universele p_H -meetapparatuur GM 4491/93

Bovengenoemde eisen zijn op een unieke wijze verwezenlijkt in de Philips p_H -meetapparatuur GM 4491/93. Onder alle omstandigheden is het mogelijk een werkelijk betrouwbare zuur- of alcaliteitsgraad-bepaling snel en gemakkelijk uit te voeren. Bijgevolg neemt dit Philips meetapparaat een zeer bijzondere plaats in onder de reeds bestaande p_H -meetinstrumenten.

Constructie

In principe bestaat de p_H -meter GM 4491 uit een electrometer — met een zeer hoge ingangsweerstand — die wordt gebruikt voor het aantonen van de gelijkheid die bestaat tussen het potentiaalverschil dat wordt geleverd door de elektroden in de te onderzoeken oplossing, en een vergelijkingspotentiaal-verschil dat wordt betrokken van een geijkte bron. Deze compensatie-meetmethode, toegepast in het Philips p_H -meetapparaat, is bij uitstek geschikt om een volkomen stroomloze meting te bewerkstelligen.

Geleid door een jarenlange ervaring in het ontwerpen en construeren van elektronische apparaten, en in het bijzonder van moderne meettoestellen, is Philips er in geslaagd een p_H -meter met een dermate hoge ingangsweerstand (10^6 Mohm) te construeren, dat de stroom door het elektroden-circuit niet meer dan 10^{-6} μA bedraagt, hetgeen verwaarloosbaar klein is. Dit opmerkelijk resultaat heeft men op de volgende wijze bereikt:

De te meten gelijkspanning, geleverd door het electroden-circuit, en de compensatiespanning, worden elk aan een plaat van de speciale condensator toegevoerd. Een van beide platen is vast opgesteld, de andere wordt ten opzichte van deze vaste plaat met een frequentie van 125 c/s electro-dynamisch heen en weer bewogen. De cyclische capaciteitsvariatie vormt de gelijkspanning om in een wisselspanning, die op een eenvoudige manier kan worden versterkt en geïndiceerd (fig. 2). De tweetrapsversterker

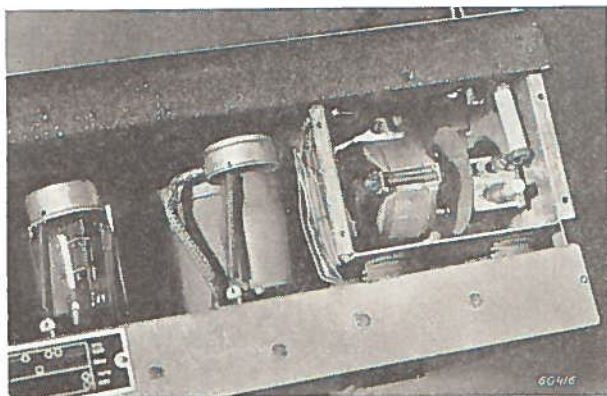


Fig. 2. Binnenaanzicht van de p_H -meter. Het afgescheiden gedeelte naast de buizen bevat de gepatenteerde triller-condensator, die een absoluut stroomloze meting verzekert.



Fig. 3. Normaalement, dat de ijkspanning voor de P_H -meter levert.

van de electrometer heeft een tweetal scherp afgestemde kringen, die slechts 125 c/s doorlaten, zodat eventuele storende harmonischen der netspanning buiten de versterker worden gehouden.

Daar de condensator geen gelijkstroom doorlaat, wordt geen stroom betrokken uit het electrodencircuit, afgezien van de kleine, eenmalige lading van de condensator plus de buitengewoon kleine lek door de isolatie, hetgeen echter de eigenlijke meting geenszins beïnvloedt.

Een tweede voordeel van het in de beschreven p_H -meter toegepaste systeem is de afwezigheid van een gelijkspanningsversterker, die een aantal aanzienlijke nadelen bezit (speciaal het verlopen). Nog een fundamenteel verschil met andere p_H -meetapparaten is gelegen in de wijze waarop de compensatiespanning is verkregen. In plaats van de gebruikelijke batterijvoeding, is hier een zorgvuldig gestabiliseerde gelijkspanning gebruikt, welke uit het lichtnet wordt betrokken. Vóór elke serie metingen wordt deze gestabiliseerde gelijkspanning even vergeleken met de E.M.K. van het ingebouwde Philips normaalelement, type GM 4569, en zo nodig met behulp van een knop op de frontplaat van het apparaat bijgesteld (fig. 3). Het normaalelement wordt dus slechts nu en dan gedurende een zeer korte tijd in het ijkcircuit opgenomen; het speelt verder geen rol bij de eigenlijke p_H -meting en heeft dientengevolge een practisch onbeperkt aantal bedrijfsuren.

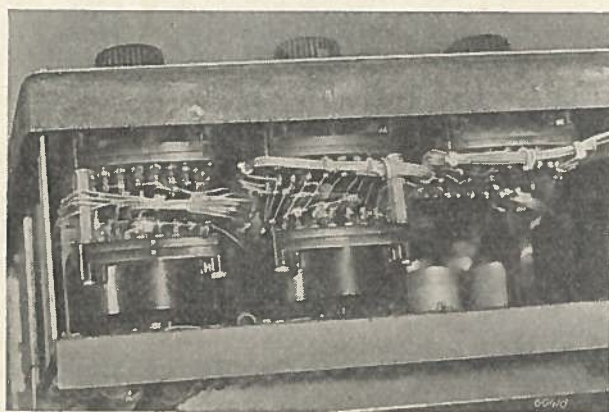


Fig. 4. De speciaal voor dit instrument ontwikkelde precisieschakelaars in geheel gesloten huizen.

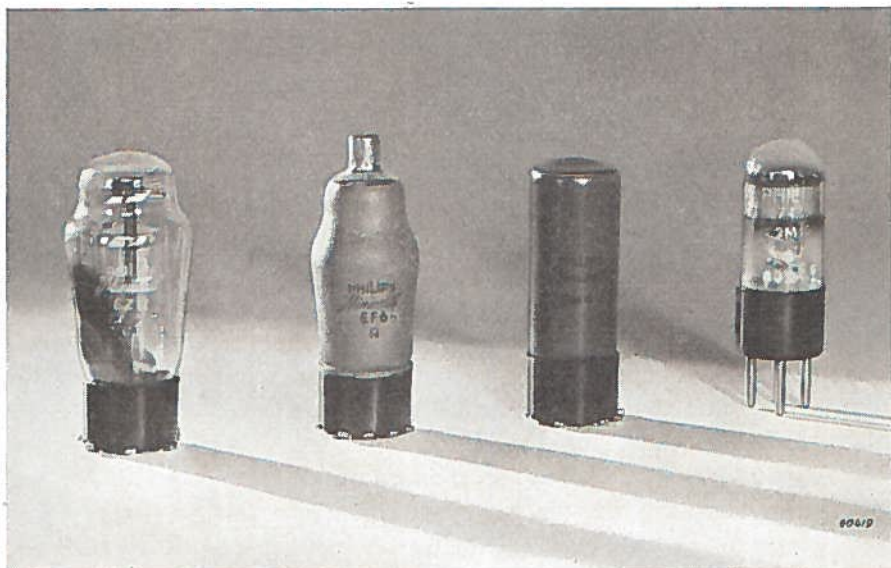


Fig. 5. De buizen zijn gewone radiobuizen, als door iedere radiohandelaar kunnen worden geleverd.

De meetdraad, die in andere apparaten voor het instellen van de compensatiespanning wordt gebruikt, is in de Philips p_H -meter vervangen door een drietrapspotentiometer, welke in p_H en mV is geijkt. De eerste trap is regelbaar in eenheden van 1 p_H (of in stappen van 100 mV), de tweede in eenheden van 0,1 p_H (of in stappen van 10 mV), en de derde is continu regelbaar met schaaldelen van 0,01 p_H (of van 1 mV). Deze potentiometerschakeling bevat speciale, geheel gesloten schakelaars (fig. 4). De overgangsweerstand van de contacten is zeer laag, en deze kunnen onmogelijk worden aangetast door dampen of vocht.

Verder zijn de precisieweerstanden, opgenomen in het compensator-gedeelte, ingesteld met een nauwkeurigheid van 1 ‰.

Een speciale meettafel moest worden gebouwd, om deze weerstanden te kunnen controleren. In tegenstelling met de bovengenoemde speciale onderdelen, is de electrometer GM 4491 — dank zij de in dit apparaat gebruikte schakelingen — uitgerust met *standaard radiobuizen* (fig. 5) die door iedere radiohandelaar kunnen worden geleverd.

De versterkingsfactor van de electrometer bedraagt 10 000, en de in dit apparaat gebruikte indicator geeft bij 1 volt een duidelijke uitslag. Bijgevolg is aan de trillende condensator een wisselspanning van 0,1 mV meetbaar; deze spanning is meer dan voldoende om de verlangde nauwkeurigheid van 0,01 p_H te kunnen garanderen. In plaats van de gebruikelijke, gemakkelijk te beschadigen galvanometer, is in de Philips p_H -meter GM 4491 een elektronenstraalbuis als indicator gebruikt. Deze vormt geen stroombelasting van het te meten circuit, is ongevoelig voor sterke overbelasting, en de aanwijzing is geheel electrisch, dus traagheidloos. Deze indicator bevat geen bewegende delen en is diensgevolge absoluut ongevoelig voor

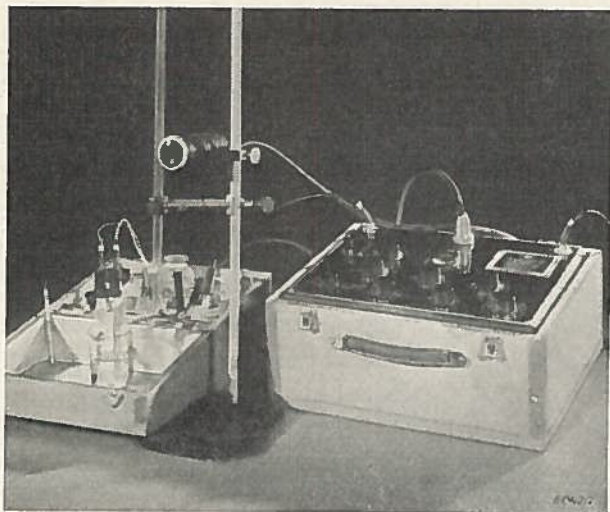


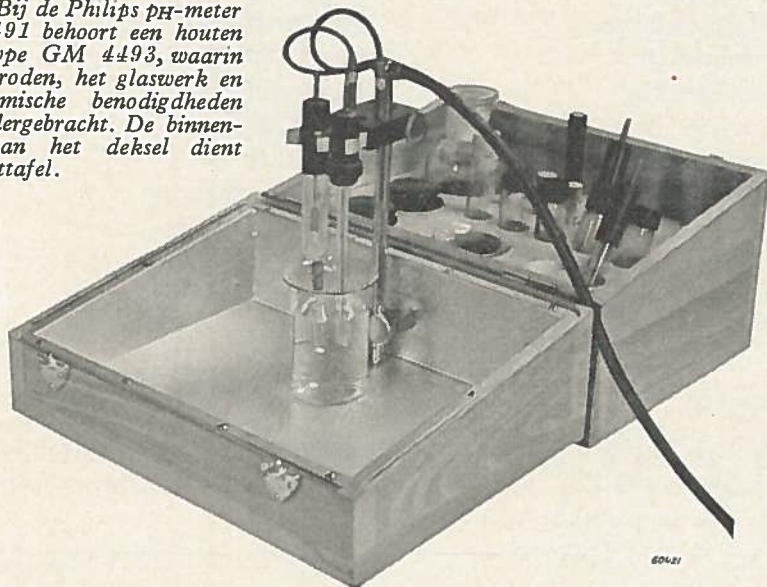
Fig. 5. Opstelling voor een titratie. De losse kathodestraalindicator is aan het statief van de burette bevestigd.

schokken en stoten; de aflezing is zeer gemakkelijk en parallax-afleesfouten zijn onmogelijk. Bovendien bezit de beschreven electronenstraalindicator twee gevoeligheden, hetgeen bij het uitvoeren van titraties een waardevolle eigenschap blijkt te zijn. Men ziet het omslagpunt bijtijds „naderen” door uitslag van de minder gevoelige zijde, terwijl dit punt — dank zij de gevoeligste zijde van de indicator — zeer nauwkeurig kan worden bepaald.

Als bijzonder voordeel heeft de Philips apparatuur hierbij nog een afzonderlijke indicator, type GM 4492, (fig. 6) die — na op de electrometer te zijn aangesloten — vlak bij het meetvat en de kraan van de burette kan worden opgesteld, zodat men tegelijkertijd de kraan en de indicator onder contrôle heeft.

De Philips pH -meter GM 4491/93 kan worden gebruikt tezamen met

Fig. 7. Bij de Philips pH -meter GM 4491 behoort een houten doos, type GM 4493, waarin de electrodën, het glaswerk en de chemische benodigdheden zijn ondergebracht. De binnenkant van het deksel dient als meettafel.



verschillende electrodencombinaties, ofschoon in de regel de glaselectrode en de verzadigde calomelcel zullen worden toegepast.

Een temperatuurcorrectieknop maakt het mogelijk de invloed van de temperatuur tussen 10 en 40 °C te elimineren, terwijl ook asymmetriepotentiaal gemakkelijk kunnen worden gecompenseerd. Het apparaat is ondergebracht in een metalen kast, welke weer geplaatst is in een sterke houten kist. Door lakken, vernissen en verchromen van de hiervoor in aanmerking komende delen, heeft Philips het apparaat bestand gemaakt tegen vochtige dampen. Ten einde de electrometer tegen de inwerking van chemische stoffen te beveiligen, is het chemisch gedeelte van de apparatuur GM 4493 in een apart kistje ondergebracht (fig. 7). Het deksel van dit kistje is inwendig voorzien van een metalen, geaarde bekleding met chemisch bestandige laklaag, en kan daardoor dienst doen als meetruimte. Een statief met bevestigingsklem is hierin aangebracht.

Behalve een tweetal glaselectroden, een calomelelectrode en een chynhydronelectrode, bevat de hulpapparatuur GM 4493 een thermometer, een stel bekeerglaasjes, buisjes met tabletten voor het maken van bufferoplossingen, en verdere chemische benodigdheden voor het verrichten van p_H -metingen.

Dank zij de bovenbeschreven eigenschappen en de weldoordachte inrichting van de Philips Universele p_H -Meetapparatuur GM 4491/93, is deze geschikt om te worden gebruikt in elk willekeurig chemisch research- of fabriekslaboratorium.

Toepassingsgebieden

In de laatste jaren heeft het aantal toepassingen van de p_H -meting zich zodanig uitgebreid, dat het bijna ondoenlijk is alle mogelijkheden op te sommen; als voornaamste worden echter genoemd:

galvanische industrie	waterleidingbedrijven
staalharderijen	levensmiddelenindustrie
springstofindustrie	suikerindustrie
lederfabrieken	spiritusfabrieken
papierfabrieken	bierbrouwerijen
keramische industrie	zuivelfabrieken
wasserijen	bakkerijen
textielfabrieken	olieraffinaderijen
ververijen	grondonderzoek
stijfsel-fabrieken	geneeskunde
cosmetische industrie	pharmacie
rubberindustrie	biologie

INHOUD

De synchronisch ontketende tijdsspanning van kathodestraaloscillografen (Deel II), door Robert H. Papet. — Philips universele p_H -meetapparatuur type GM 4491/93.

IM 3202 N. 2/50

ELECTRONISCH METEN

HET GEBRUIK DER MODERNE
ELECTRONISCHE MEETAPPARATEN
IN LABORATORIA EN BEDRIJVEN



AARGANG 3

NUMMER 3

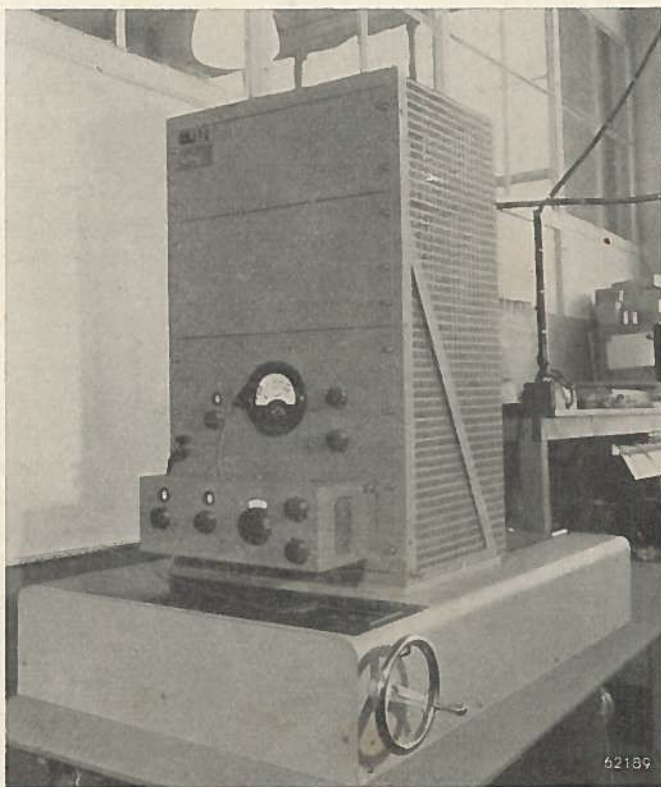
Meetinstallatie voor het bepalen van de weerstand, hysteresis en K-factor van rekstrookjes.

Het electronisch gedeelte is gemonteerd in het verticale rek en bestaat uit een precisiemeetbrug met een versterker van hoge gevoeligheid.

De te onderzoeken rekstrookjes worden op een buigstaaf geplakt, die met behulp van een handwiel op bekende wijze kan worden gedeformeerd.

Voor het horizontale venster boven het handwiel wordt de rek van de buigstaaf afgelezen.

(Zie ook pag. 7)



METEN MET REKSTROOKJES

In dit nummer publiceren wij, daartoe in staat gesteld door de welwillende medewerking van Apothekarnes Mineralvattens Aktiebolaget en Philips A.B. in Zweden, een artikel over metingen met rekstrookjes aan flessen.

Deze metingen betreffen de gedragingen van mineraalwaterflessen onder inwendige druk en tevens onder uitwendige druk uitgeoefend door capsuleermachines.

Deze proeven bewijzen eens te meer de practische bruikbaarheid van de Philips rekstrookjes en belichten een nieuwe gebruiksmogelijkheid ervan voor de industrie.

VERVORMING VAN GLAZEN FLESSEN

door

R. Steenhoff, E. Sandström en S. Bratt

Als constructiemateriaal vertoont glas overeenkomst zowel met vaste stoffen als met vloeibare. Voor de bier- en mineraalwaterhandel is het uiterst belangrijk de verschillende eigenschappen van dit materiaal te kennen. Hiertoe zijn in Zweden, met behulp van rekstrookjes, een aantal onderzoeken verricht over de vervorming van glazen flessen. In principe bestaat een rekstrookje uit een dun metalen draadje. Dit wordt zodanig op het te onderzoeken voorwerp aangebracht, dat de oppervlakte-deformatie van het voorwerp nauwkeurig wordt gevolgd. Evenredig met de rek van het draadje, wordt de elektrische weerstand ervan vergroot of verkleind. De weerstandsvariëaties worden gemeten met een brug van Wheatstone, die is uitgerust met een elektronische indicator. Uit de afgelezen waarde kan de rek of krimp van het te onderzoeken voorwerp worden berekend. Rekstrookjes zijn tegenwoordig voor praktisch gebruik beschikbaar in allerlei uitvoeringen. De afmetingen zijn zo klein, dat de werking van een te onderzoeken voorwerp als gevolg van een belasting, in een bepaald punt van het voorwerp kan worden gevolgd. In het onderhavige geval heeft het rekstrookje nog een bijzonder voordeel: Omdat het meten met rekstrookjes een elektrische methode is, kunnen de meetinstrumenten en de waarnemer op een veilige afstand van de te onderzoeken voorwerpen worden opgesteld. Dit is zeker van groot belang indien versplinterbare voorwerpen, zoals hier bijvoorbeeld flessen, onder overdruk worden gebracht. Door de hulp van het *laboratorium van de Koninklijke Technische Universiteit* in Zweden en van Philips, werd voor de onderzoeken een meetapparaat ter beschikking gesteld van Apotekarnes Mineralvattens Aktiebolaget. Dit meetapparaat was over een meetgebied van 30%, op 1% nauwkeurig geijkt. De laagste afgelezen rekwaarde bedroeg 0,005%. In fig. 1 is te zien, hoe vóór de proef de rekstrookjes op de flessen waren aangebracht. De verandering in lengte in de richting van de lengteas van de fles werd gemeten met het verticale rekstrookje, de overeenkomstige variatie loodrecht daarop met het horizontale strookje. Het bleek van belang te zijn de rekstrookjes en de plaatsen waar deze op de flessen waren bevestigd, tegen vocht te beschermen. Ze werden daartoe bedekt met een harsachtige bekleding. De invloed van de temperatuurvariëaties in de fles werd gecompenseerd door het aanbrengen van rekstrookjes op een andere, onbelaste fles. (Voor een uitvoeriger beschrijving van de meetmethode wordt verwezen naar de Philips publicatie „Theorie en Practijk van Rekstrookjes”).

De vervorming van normale en die van lichte flessen als gevolg van inwendige overdruk, zoals optreedt bij het aftappen van koolzuurhoudende vloeistoffen, werden onderling vergeleken. De resultaten van deze metingen zijn weergegeven in fig. 2.

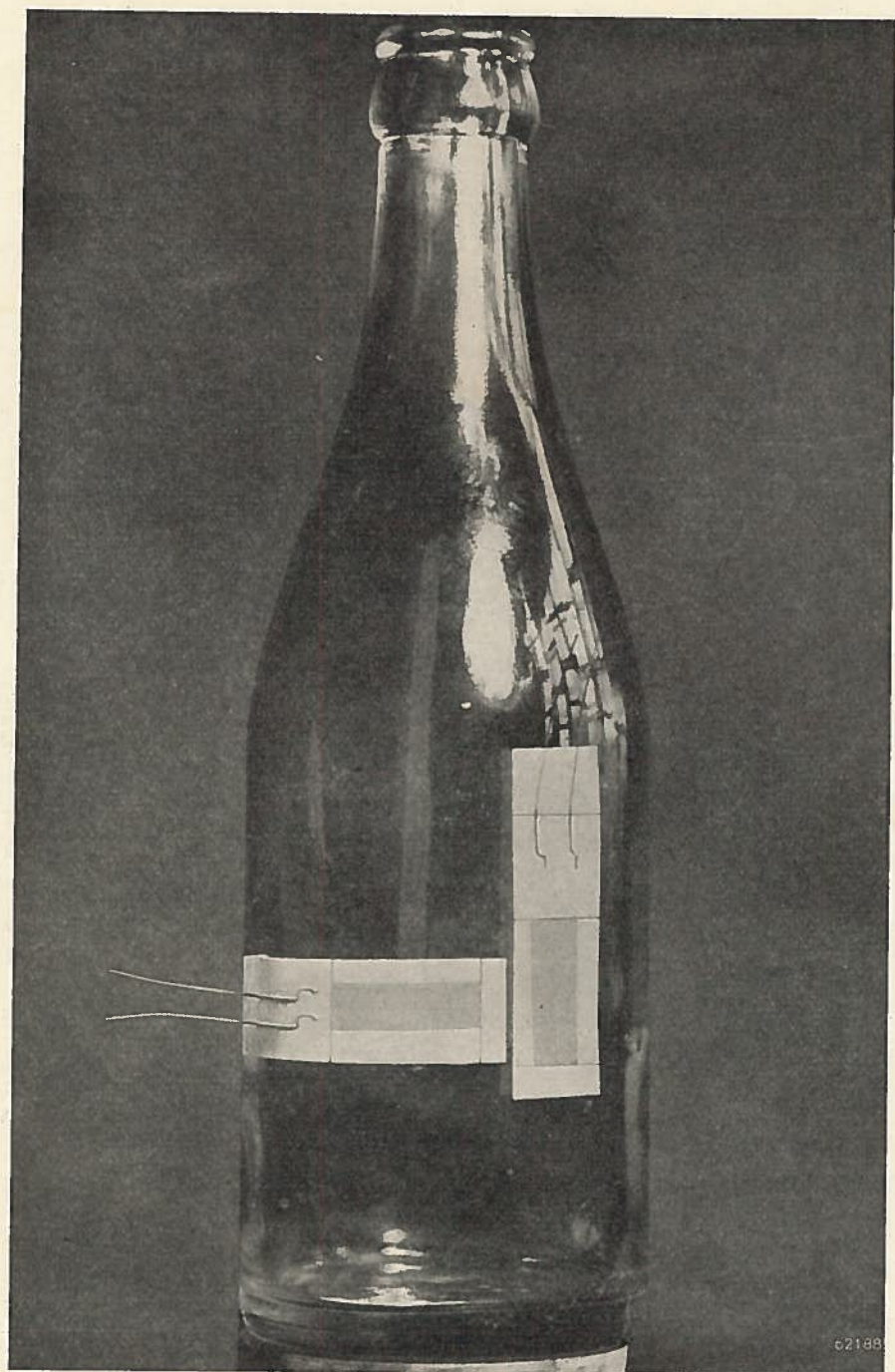
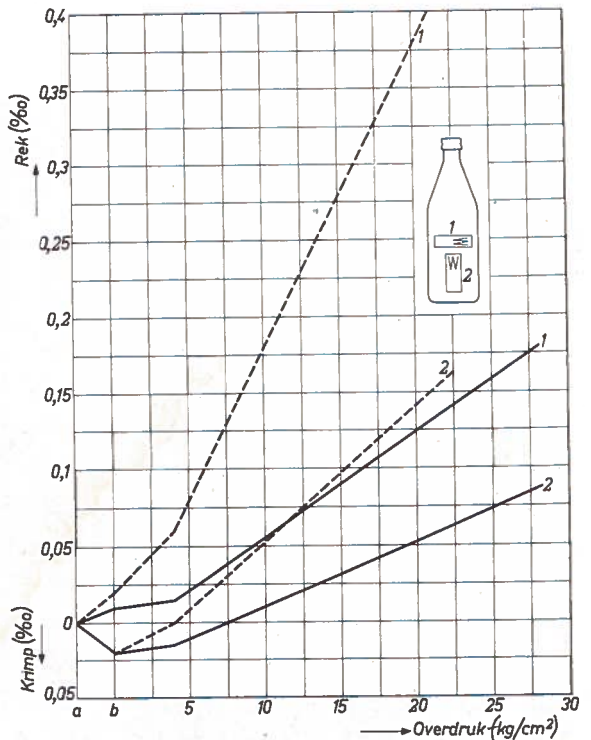


Fig. 1. Mineraalwaterfles met twee rekstrookjes voor het meten van de rek in axiale (verticaal strookje) en in tangential richting (horizontaal strookje).

Fig. 2. Lengteverandering van een fles onder inwendige overdruk:

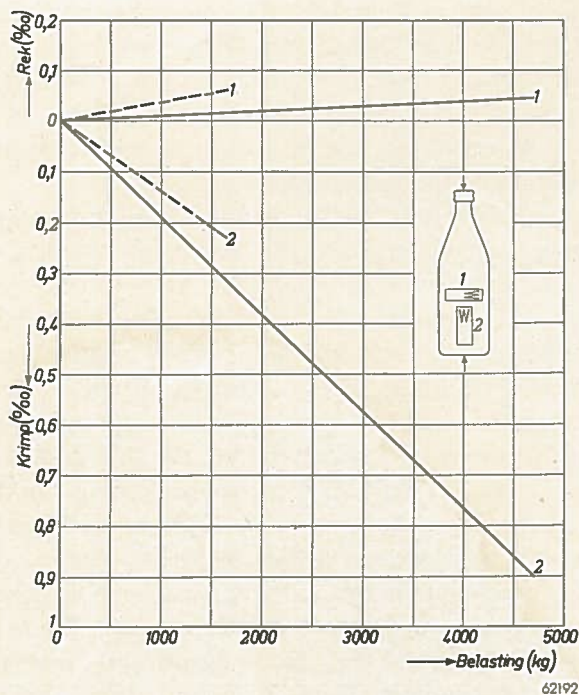
- normale fles;
 --- lichte fles.
 1. Tangentiale richting: meting met strookje 1.
 2. Axiale richting: meting met strookje 2.
 a. Onbelaste fles
 b. Onbelaste fles die in het testapparaat is geklemd.



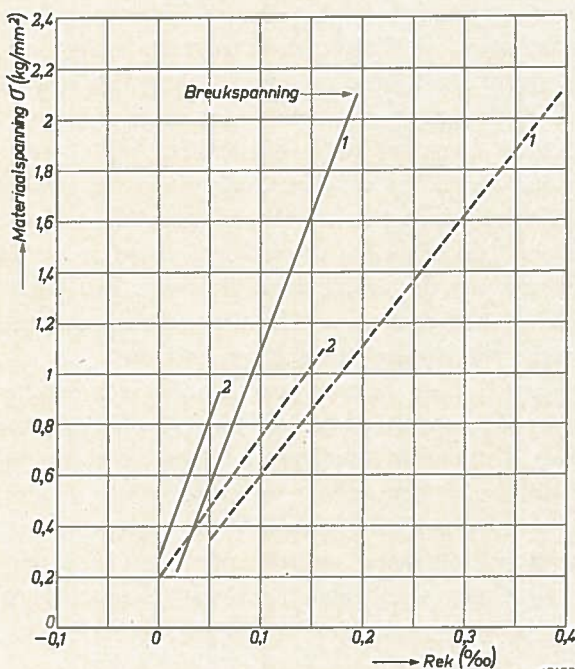
Bovendien werden onderzoeken gedaan naar de verandering in lengte van normale en van lichte flessen, welke een uitwendige druk in de richting van de lengteas ondergaan. Deze belasting treedt op bij het capsuleren met machines, dat in Zweden veelvuldig wordt toegepast. De belasting werd echter in het geval van onze proef uitgeoefend door een hydraulische pers, die was uitgerust met een geijkte manometer. Fig. 3. geeft de resultaten van de desbetreffende metingen weer. Van belang is, op te merken, dat de rekstrookjes kunnen worden gebruikt voor het meten van de vervorming van een fles, van de onbelaste toestand tot het punt van springen. De meetresultaten, samengevat in de grafieken 2 en 3, geven voor het verband tussen rek en belasting een rechte lijn; de rek is dus evenredig met de belasting. Dit betekent, dat het flessenglas de wet van Hooke volgt. De materiaalspanningen kunnen worden berekend uit de belastingen. In fig. 4 is de spanning uitgezet als functie van de rek. (Het feit dat er reeds een spanning is als er nog geen rek optreedt, houdt verband met de bevestiging van de fles in het onderzoeksapparaat.) De helling van de lijnen geeft de elasticiteitsmodulus E ; hun eindpunt bepaalt de materiaalspanning waarbij de fles stuk sprong. Deze waarden zijn in onderstaande tabel samengevat.

Materiaalspanning Σ en modulus E in kg/mm^2

Soort fles	Rek				Druk
	Axiaal		Tangentiaal		Axiaal
	σ	E	σ	E	σ
Normaal	0,9	10 000	2,0	11 000	6,5
Licht	1,1	5470	2,1	5000	3,0



Uit de tabel blijkt duidelijk, dat beide flesstypen sprongen bij een inwendige overdruk, waarbij gelijke materiaalspanning optrad, nl. 1 kg/mm^2 in de richting van de as, en 2 kg/mm^2 in de tangentiale richting. Dit wijst er duidelijk op, dat de dikte van het glas geen wezenlijke verandering in



de sterkte van het materiaal met zich brengt. De elasticiteitsmodulus van het glas van de lichte fles was lager dan die van de normale fles; de rek zal dus bij gelijke materiaalspanning in de eerstgenoemde fles groter zijn. Vergelijkt men een lichte fles met een normale die dezelfde rek vertoont, dan zijn de spanningen in de eerste dus kleiner dan in de laatste, en de eerste zal in een duurproef de beste eigenschappen vertonen.

Bij het blazen van flessen is tijdens het afkoelen de middelste laag van het glas warmer dan de lagen aan de oppervlakte, die eerder vast worden.

Bij verdere afkoeling van de binnenste laag krimpt deze en wordt op trek belast; de buitenste lagen verzetten zich tegen de inkrimping en komen dus onder druk. Een gevolg hiervan is, dat een ondiepe barst neiging heeft zich te sluiten, een diepe, die tot in de gerekte laag doordringt, de neiging vertoont groter te worden.

In dik glas zullen de spanningen groter zijn dan in dun glas. Uit grafiek 3 blijkt dat er bij axiale krachten een verschil is tussen het gedrag van de normale en dat van de lichte fles. De spanning in axiale richting was bij onze proef in de lichte fles geringer, in tangential richting groter dan in de normale fles. Bij de samendrukking in de hydraulische pers, heeft de lichte fles in sterkere mate een peervorm aangenomen dan de normale. Bij deze vrij belangrijke drukspanning komt dus nog een buigspanning, met als gevolg een vermindering van de spanning in axiale richting, zoals uit bovenstaande tabel blijkt.

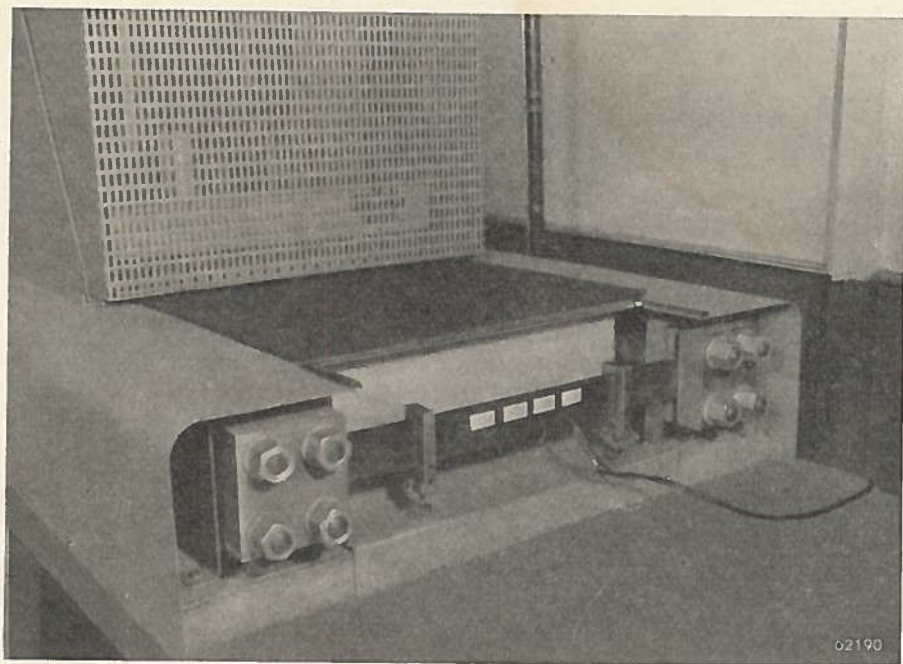
Bij de onderzoeken bleek ook het bestaan van zekere vermoeiingsverschijnselen. Dit bevestigt de resultaten van reeds eerder uitgevoerde proeven. Bij het meten met rekstrookjes aan flessen die waren blootgesteld aan constante inwendige druk, van een waarde nabij het punt waarop de fles zal springen, werd eveneens onderzocht of het glas onderhevig was aan „kruip”. Hieronder verstaat men een langzame vormverandering onder invloed van constante belasting. Deze proeven gaven echter een negatief resultaat, ondanks het feit dat de flessen gedurende zeer lange tijd (enkele dagen) werden gehouden onder een druk nabij het kritieke punt waarbij zij zouden springen. Sluit men de theorie van het kruipen van het glas uit, — hoewel deze in overeenstemming is met het feit dat glas een ondergekoelde vloeistof is — dan is het moeilijk om tot een hypothese te komen, die het plotseling springen van een fles onder druk verklaart. Een poging hiertoe is gedaan door Mr Benedicks, die enige tijd geleden een zeer interessante theorie over deze verschijnselen heeft gepubliceerd.¹⁾

Het is raadzaam te overwegen, of de neiging tot springen van een fles, nadat ze een zekere tijd onder constante druk heeft gestaan, geen aanleiding moet zijn tot wijziging van de huidige standaardmethode voor het beproeven van glas. In de bestaande beproevingsmethode wordt de druk voortdurend verhoogd, tot de fles springt. De gemiddelde waarde van een groot aantal inwendige positieve drukken, waartoe men op deze wijze komt, wordt berekend, en deze mag niet beneden een vastgestelde waarde liggen.

¹⁾ Zie Tekn., Tidskr. 7 (1949)

Een nauwkeuriger methode zou misschien zijn, de flessen gedurende een zekere tijd aan een bepaalde minimum druk te onderwerpen. Doorstaat een zeker minimum aantal flessen deze proef, dan zouden alle flessen kunnen worden goedgekeurd.

Een beproevingsmethode als hierboven geschetst, verschaft kennis van de statische weerstand van het glas, terwijl men door proeven, uitgevoerd onder normale omstandigheden door herhaald aftappen en capsulieren, een inzicht krijgt in de dynamische weerstand. Waar het glas betreft, zou het doeltreffend zijn de laatstgenoemde dure en tijdrovende methode te vervangen door de eerste, daar — volgens de inzichten van verscheidene deskundigen — de statische en dynamische weerstanden gelijke waarden hebben. Deze eigenschap geldt echter alleen voor glas en niet voor ander materiaal.



Achterzijde van het toestel, afgebeeld op de voorpagina. De buigstaaf is aan beide zijden ingeklemd. Op de buigstaaf ziet men vier rekstrookjes, waarvan er een is aangesloten.



INHOUD

Vervorming van glazen flessen

ELECTRONISCH METEN

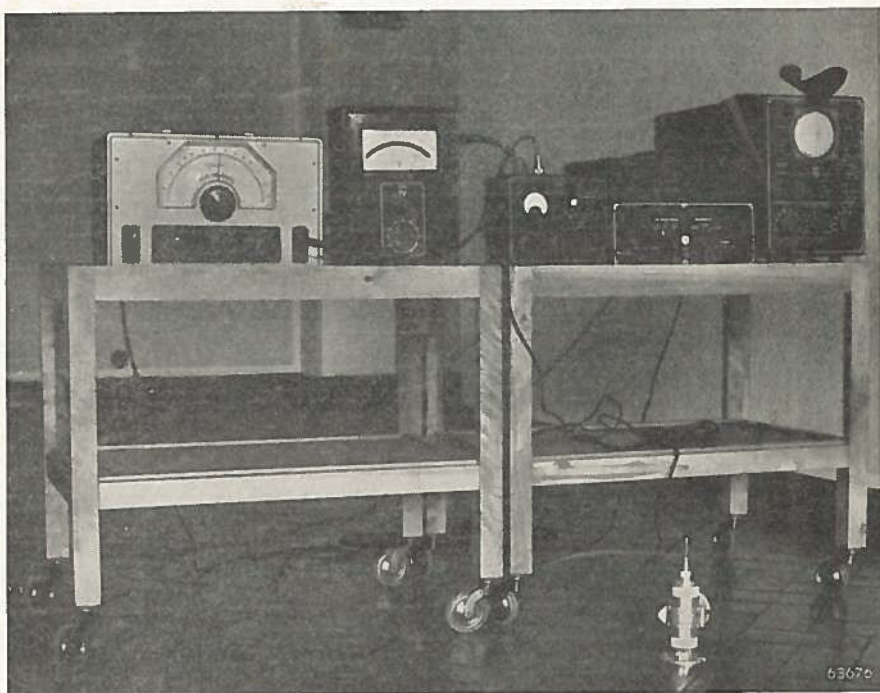
HET GEBRUIK DER MODERNE
ELECTRONISCHE MEETAPPARATEN
IN LABORATORIA EN BEDRIJVEN



JAARGANG 3

NUMMER 4

Philips trillingsapparatuur voor het meten van trillingen in het laboratorium van Höganäs in Zweden. Van links naar rechts ziet men op de tafel: Philips toongenerator GM 2305, buisvoltmeter GM 4132, ijkapparaat GM 5522, voorversterker GM 4570S en oscillograaf GM 3156. Op de grond de specialetrillingsopnemer GM 5520.



63676

TRILLINGSME- TINGEN IN LABO- RATORIA

Bij de bouw en inrichting van research laboratoria dient ernstig rekening te worden gehouden met het feit, dat storende trillingen een funeste invloed uitoefenen op de resultaten van te nemen proeven.

In dit nummer beschrijft Prof. V. Koern de resultaten van proeven uitgevoerd in het laboratorium van Höganäs-Billesholm A.B. in Zweden, die betrekking hebben op trillingen welke het research-werk storend beïnvloeden.

Uit dit artikel zijn belangrijke conclusies te trekken omtrent de factoren die van belang zijn bij de keuze van plaats en van bouw-materiaal voor nieuw in te richten laboratoria.

STORENDE TRILLINGEN IN LABORATORIA

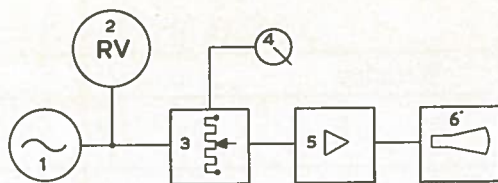
Door Prof. V. KOERN

(Overgenomen uit Teknisk Tidskrift Nr. 13 (1949))

Een probleem waaraan bij de constructie van laboratoriumgebouwen meestal te weinig aandacht wordt besteed, ontstaat door mechanische trillingen die door de een of andere oorzaak in het gebouw optreden. Deze zijn minder gewenst in een research laboratorium, want in vele gevallen zullen de trillingen storend werken. Een bekend voorbeeld van een instrument dat gevoelig is voor trillingen is de spiegelgalvanometer. Verder is er een aantal precisie-instrumenten, waarbij zowel het instrument als de metingen door trillingen nadelig kunnen worden beïnvloed; als voorbeeld noemen wij: chemische balansen — geen duidelijke evenwichtsstand, slijtage van de messen; spectrografen — schijnbare verbreding van de spectraallijnen; microfotografische apparaten — wazige beelden; microhardheidsmetingen — grotere indrukdiepte, met als gevolg schijnbaar geringere hardheid; metingen met cathetometers — de nulstand verloopt. Ook op stevige en robuuste instrumenten kunnen trillingen soms invloed hebben: buig- en treksterkte van brosse (keramische) materialen worden verminderd. Zelfs eenvoudige metingen, als de bepaling van de stroming in een uitlaatkanaal en de bepaling van het gewicht per volume-eenheid van poedervormig materiaal, kunnen belangrijk worden gestoord.

Het is mogelijk gevoelige instrumenten op speciaal ontworpen dempende kussens te plaatsen, zoals steeds wordt gedaan bij chemische balansen, maar dit is tevens een beperking in de toepassingsmogelijkheden ervan. Vooral in een research laboratorium moeten de instrumenten gemakkelijk verplaatsbaar zijn. Het trillingsprobleem is daarom alleen doelmatig op te lossen indien reeds tijdens het ontwerpen rekening is gehouden met de keuze van de plaats en de constructie van het gebouw. Trillingen kunnen afkomstig zijn van bronnen, zowel binnen als buiten het gebouw gelegen. Trillingen van buiten kunnen worden veroorzaakt door naburige fabrieken, treinen, straatverkeer en door de golfbeweging van de zee.

De afwezigheid van trillingen is meestal geen punt van overweging bij de keuze van een plaats voor het gebouw. Bij Höganäs is het laboratorium zo gelegen, dat de ergste storingsbronnen tamelijk ver verwijderd zijn; de aluminiumbreker met twee valhamers is 520 meter verwijderd, de silicafabriek met zware brekers en transportleidingen voor harde metalen, 260 meter en de centrale met haar generatoren, 300 meter. De natuurlijke storingsbron, de zee, is op 700 meter afstand. Het gebouw zelf heeft twee verdiepingen (de grootte van de trilling neemt snel toe met de hoogte van het gebouw). In dit verband is het van belang erop te wijzen, dat men



63674

Fig. 1. Blokschema voor de opstelling van trillingsmetingen.

1. toongenerator GM 2305; 2. buisvoltmeter GM 4132; 3. ijkapparaat GM 5522; 4. speciale trillingsopnemer GM 5520; 5. voorversterker GM 4570S en 6. oscillograaf GM 3156.

om deze reden de laatste tijd in Engeland aanraadt laboratoriumgebouwen met één verdieping te bouwen (zie: J. Sci. Instr. Blz. 157 (1948)). In verband met de constructie moet worden opgemerkt, dat moderne gewapendbetonnen constructies niet geschikt zijn, daar de elasticiteit te groot is en de demping te gering.

Het Höganäs gebouw is daarom uit bouwsteen opgetrokken.

Het kan voor ontwerpers van laboratoria van belang zijn de grootte te kennen van de storingen die in een gebouw optreden. Om deze reden zijn bij Höganäs metingen uitgevoerd, waarop hieronder nader zal worden ingegaan.

Meetapparatuur

Fig. 1 geeft het schema van de opstelling weer. Als voeler diende een mechanische trillingsopnemer GM 5520, die bij de metingen aan de muur werd geschroefd of door loden gewichten op de vloer werd gedrukt. De afgegeven spanning, evenredig met de snelheid van het meetpunt, werd via een ijkapparaat GM 5522 en een voorversterker met batterijvoeding GM 4570 S, toegevoegd aan een laagfrequentie-kathodestraal-oscillograaf GM 3156. De spanning van de trillingsopnemer werd met behulp van het ijkapparaat vergeleken met een wisselspanning van 65 perioden die was opgewekt door een toongenerator. Deze wisselspanning werd gemeten met een buisvoltmeter GM 4132. Het ijkapparaat is voorzien van een integratieschakeling, waardoor de amplitude van de trillingen direct is af te lezen. De frequentie van 65 perioden werd gebruikt ter vermijding van mogelijke storingen die de wisselspanning van 50 perioden, nodig voor de voeding van generator en oscillograaf, zou kunnen veroorzaken.

De in gebouwen optredende trillingen, waarvan de amplitude slechts 10^{-6} tot 10^{-4} cm bedraagt, kunnen met behulp van de in de handel verkrijgbare trillingsopnemers (gevoeligheid 10^{-4} cm) niet voldoende nauwkeurig worden gemeten. De bij deze meting gebruikte trillingsopnemer GM 5520 was door de Zweedse Philips maatschappij speciaal voor dit doel ontwikkeld; de gevoeligheid van de gehele apparatuur bedroeg $\frac{1}{2} \times 10^{-6}$ cm per schaaldeel.

Table I	FUNDATIETRILLINGEN					
	Werkdag		's Avonds		Zondags	
Richting van de trilling	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
Horizontaal A	0,08	14	0,05	10	0,01	3
Horizontaal B	0,09	14	0,08	12	0,01	2
Verticaal	0,17	32	0,08	15	0,02	4

Kolommen (1): amplitude in μ
 (2): snelheid in 10^{-3} cm/s.

(A) in de lengterichting van het gebouw,
 (B) loodrecht daarop.

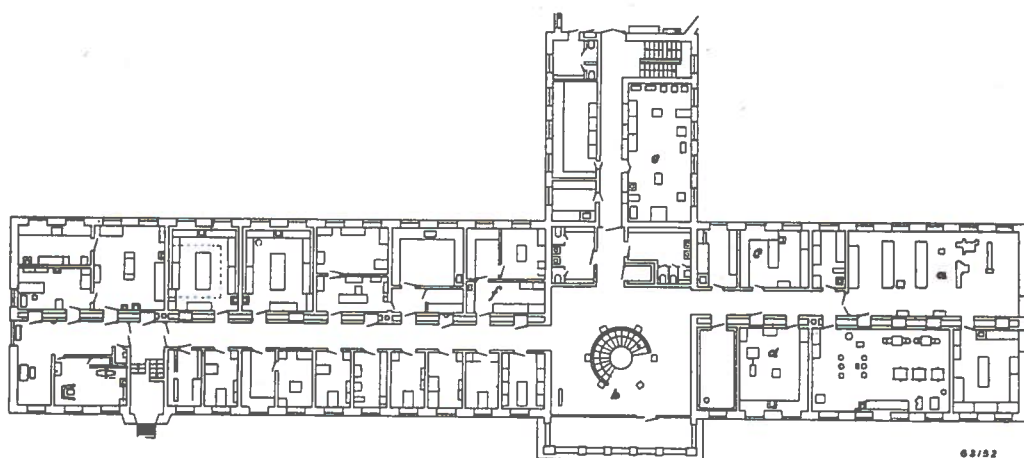


Fig. 2a. Begane grond van hetzelfde laboratorium. Trillingsexcitor in kamer d.

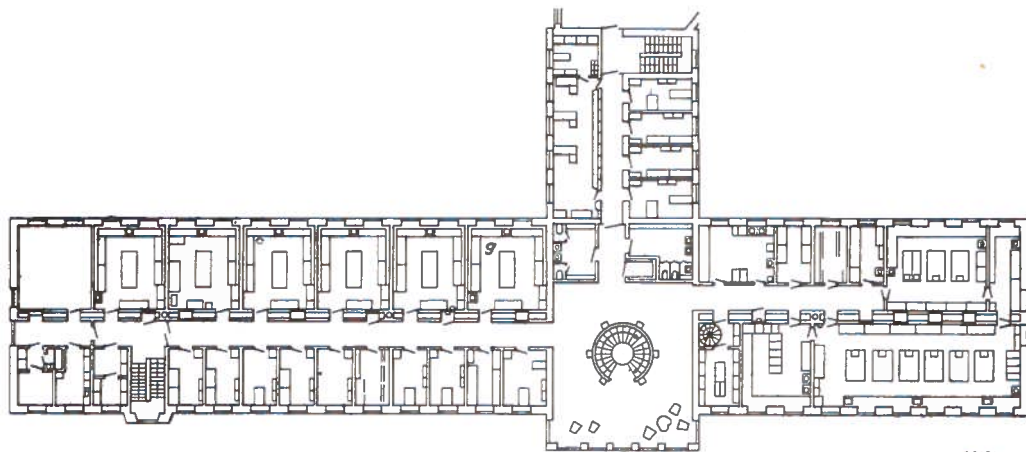


Fig. 2b. 1e etage van het laboratorium. Trillingsexcitor in kamer d.

Aan de hand van de metingen kon worden vastgesteld:

1. De orde van grootte van de storingen die buiten het gebouw werden veroorzaakt (verder fundatietrillingen genoemd).
2. Op welke wijze zich deze trillingen door het gebouw voortplantten en hoe deze werden gedempt.
3. Welke machines de zwaarste trillingen veroorzaken en welke daarvan met dempers moesten worden uitgerust.

Fundatietrillingen

Op drie verschillende tijdstippen werden metingen uitgevoerd:

1. Op een werkdag tussen 9 en 12 uur des voormiddags. Alle fabrieken in de buurt waren in vol bedrijf. Er stond een zwakke wind, waarvan de directe invloed kon worden verwaarloosd. Toch had door de branding de wind een indirecte invloed. In iedere kamer werden op drie plaatsen van de vloer metingen verricht: nabij de buitenmuur, in het midden van de kamer en bij de binnenmuur.
2. Op een avond tussen 20 en 24 uur. Het straatverkeer was onbelangrijk en de transportinrichtingen van de fabrieken, evenals de meeste storende machines (uitgezonderd de generatoren van de centrale en de persen van de silicafabriek), stonden stil. De windsnelheid bedroeg 10 m/sec, de invloed van de branding was groot.
3. Op een Zondag tussen 4 en 6 uur 's avonds. Er was geen storende werking van de fabrieken, en het straatverkeer was tengevolge van regenweer practisch nihil. De windsnelheid was ongeveer 2 m/sec.

De gemiddelde waarden van de metingen zijn opgegeven in tabel I. Hieruit bleek, dat toevallige trillingen gedurende werktijd vrij veelvuldig optraden, zodat gevoelige apparatuur op dempende kussens moest worden opgesteld.

Vergelijkingen tussen de metingen bij avond en op Zondag toonden duidelijk de invloed van de branding op een winderige dag. De verticale component van de storingen was gemiddeld 50 % sterker dan de horizontale component, zoals ook kon worden verwacht, omdat een vloer als trilplaat kon trillen. Uit de meetresultaten (hier niet opgenomen) kon verder worden afgeleid, dat de trillingen in de vloer op de tweede verdieping slechts ca. 20 % sterker waren dan die welke werden waargenomen op de eerste verdieping.

Verdeling van de trillingen

Om de verdeling van de trillingen in het gebouw vast te stellen, werden twee series metingen gedaan. Bij de eerste serie werd op een meter afstand van de binnenmuur een excitator opgesteld in de werkplaats (kamer a, fig. 2). De trillingen werden gemeten op de vloer van het trappenhuis b en op die van de gang tussen de kamers c en d. Als excitator werd gebruik gemaakt van een paar Pullmax platenknipmachines, die zonder dempende kussens op de vloer waren geplaatst en werkten met een snelheid van 24 persec.

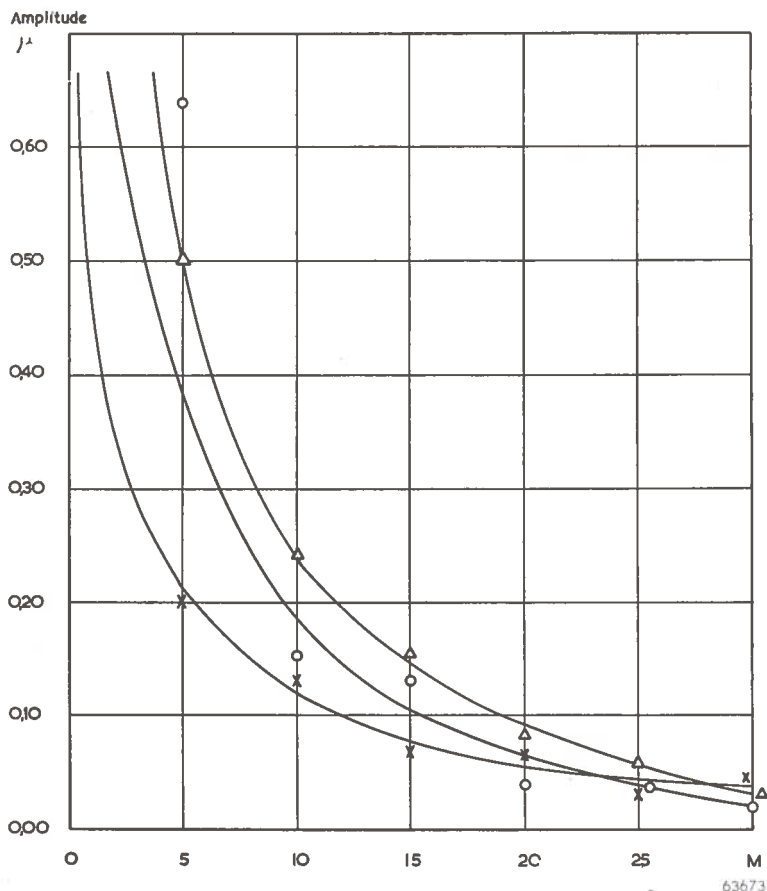


Fig. 3. Trillingsdemping.

Uit de diagrammen kan worden afgelezen, dat de trillingen met een amplitude van 5μ en een snelheid van 2 cm/sec, op een afstand van 4 m reeds een factor $e (= 2,7)$ zwakker waren geworden. Op 20 m afstand waren ze reeds zwakker dan de fundatietrilling op een normale werkdag, en op 30 m zwakker dan die op een rustige Zondag. De dempende eigenschap van het gebouw is dus goed. De grondfrequentie van de uitgezonden trillingen was 36 Hz met boventonen van 52, 270 en 540 Hz. De relatieve amplitude van de boventonen liep voor de verschillende meetpunten (van 1 tot 50 %) zeer uiteen. In de tweede serie metingen was de oscillator geplaatst in de afdeling Monsterfabricage (zaal e), omdat de meeste machines die trillingen veroorzaken, waren opgesteld in deze kamer en in de naburige experimenteerzaal. De trillingen werden gemeten in verschillende kamers, op de eerste en de tweede verdieping. In iedere kamer voor een deel op het vensterglas, om de trillingen in de buitenmuur vast te stellen, en gedeeltelijk in het midden van de kamer. De metingen laten zien dat de trillingen zó snel worden gedempt, dat zij slechts in een paar kamers sterker zijn dan de fundatietrillingen op een normale werkdag.

Storende machines

De machines, opgesteld in de experimenteerruimte, in de afdeling Monsterfabricage en in de werkplaats, zowel als de liftmachines en de ventilatoren, kunnen zoveel trillingen veroorzaken, dat metingen nadelig worden beïnvloed.

De invloed van de machines in de experimenteerruimte werd gemeten op 30 m afstand, op de eerste verdieping in de gang van de middelste afdeling. De resultaten voor de voornaamste storingsbronnen volgen hieronder :

	Amplitude μ	Snelheid 10^{-3}cm/sec
Kollermolen onbelast	0,08	30
belast	0,10	38
Breker onbelast	0,02	5
belast	0,03	10
Transportleiding		
onbelast	0,03	5
belast	0,04	12
Zeef	0,02	2
Fundatietrillingen	0,01	2

Hieruit blijkt duidelijk, dat geen van deze machines in de ruimten voor onderzoek of bediening storend zal werken (zie fig. 3).

De invloed van de machines voor de vervaardiging van monsters (zaal e) werd in het dichtstbijzijnde laboratorium (kamer f) in de meest ongunstige richting, nl. op de binnenmuur in de richting loodrecht op de muur, gemeten.

De resultaten waren:

	Amplitude μ	Snelheid 10^{-3}cm/sec
Steenbreker	0,10	45
Molen, belast	0,07	23
Splijten uit de hand	0,06	15
Roterende molen	0,04	8
Steenzaag	0,05	13
Zeefmachines	0,03	8

Alleen de zeefmachine en de steenzaag waren met trillingsdempers uitgerust. Uit het bovenstaande blijkt duidelijk, dat ook de overige 4 machines met dempers moesten worden uitgerust. Een voorbeeld van een storingsbron van dezelfde sterkte is een aan de wand bevestigde 100 watt roermotor. De werktuigmachines (kamer a) waren zo goed uitgebalanceerd, dat in de laboratoria geen waarneembare storingen doordrongen. Alleen de Pullmax knipmachine van 800 kg, vroeger als excitator gebruikt, gaf

veel storingen. Nadat de machine was opgesteld op 15 mm dik vilt en 50 mm hout, werd van deze storingsbron geen last meer ondervonden.

Uit het oogpunt van trillingsvrijheid is de opstelling van ventilatoren op de zolder ongunstig. Alle ventilatoren waren echter geplaatst op betonnen platen van 150 mm dikte, die werden gesteund door onderleggers van rubber van 15 mm. De in- en uitlaatkanalen (behalve bij twee luchtverversingsventilatoren) waren met loden pijpen van 20 cm lengte op de ventilatoren aangesloten. In de eerste plaats dienen deze als geluidisolatoren. Tevens verhinderen zij de voortplanting van mechanische laagfrequente trillingen. De trillingen van de luchtverversingsventilatoren werden in kamer g (bovenste verdieping) en in kamer f (eerste verdieping) bestudeerd. In beide gevallen waren de storingen geringer dan die van de fundatietrillingen.

Er is wel eens op gewezen dat wegens de trillingen, liftmachines in de kelder moeten worden opgesteld. Metingen in dezelfde punten als in het hierboven besproken geval toonden aan, dat geen storingen konden worden geregistreerd wanneer de lift in werking is; zij zijn in elk geval kleiner dan de fundatietrillingen. Bij het stoppen van de lift echter werd een kleine trillingsimpuls uitgezonden met een amplitude van $0,08-0,10 \mu$ en een snelheid van $18-20 \cdot 10^{-3}$ cm/sec. Deze impuls wordt veroorzaakt door de traagheid van de liftkooi, en via de liftkabel overgebracht op het geraamte van het gebouw, onverschillig waar de motor is opgesteld. Het is dus van ondergeschikt belang waar de liftmotor wordt opgesteld.

Fig. 4. Speciale trillingsopnemer GM 5520, aan de muur geklemd.



INHOUD

Storende trillingen in laboratoria

75/64 IM 3380 N 6/50

ELECTRONISCH METEN

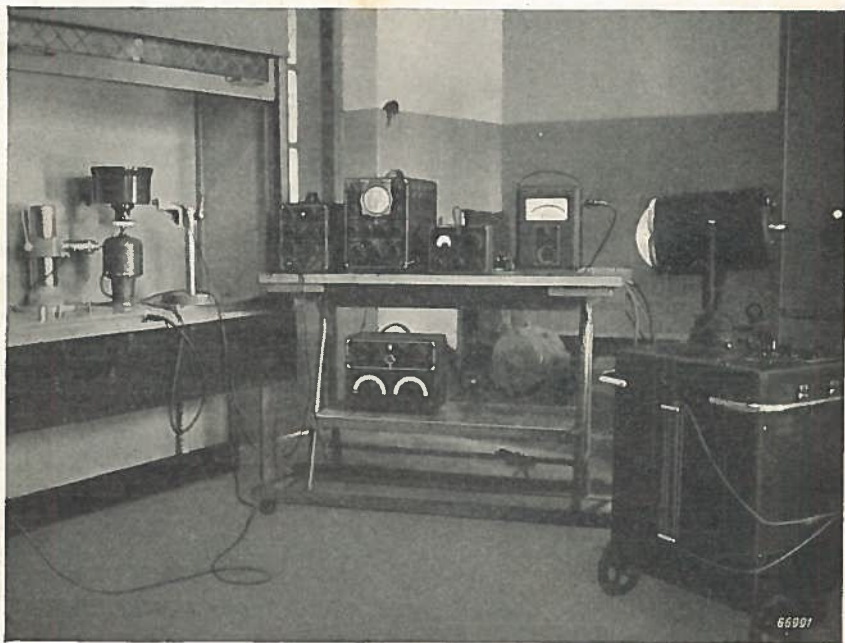
HET GEBRUIK DER MODERNE
ELECTRONISCHE MEETAPPARATEN
IN LABORATORIA EN BEDRIJVEN



JAARGANG 3

NUMMER 7

Een meetopstelling in het laboratorium van de Algemene Kunstzijde Unie te Arnhem, waar de metingen aan spinpotmotoren werden uitgevoerd. De verschillende daarbij gebruikte meetapparaten zijn duidelijk zichtbaar. Links op de foto is de bevestiging van de trillings pick-up en de spinpotmotor duidelijk zichtbaar.



TOEPASSING VAN ELECTRONISCHE MEET- APPARATUUR IN DE RAYON- INDUSTRIE

Het in dit nummer opgenomen artikel werd ons welwillend ter beschikking gesteld door de Algemene Kunstzijde Unie te Arnhem; het werd geschreven door een van de medewerkers aan dit bedrijf, die zelf de metingen heeft uitgevoerd. Het doet ons veel genoegen hier enige informatie te kunnen geven over een toepassing van onze meetapparatuur in de rayon-industrie, te meer omdat de stroboscoop bij de uitgevoerde metingen een zeer belangrijke rol heeft gespeeld. Van dit instrument is een relatief groot aantal in de textielindustrie in gebruik.

TOEPASSING VAN ELECTRONISCHE MEETAPPARATUUR IN DE RAYON-INDUSTRIE

door H. WORMSBECHER (AKU, Arnhem)

Inleiding

Sinds het begin van de rayon-(kunstzijde-)industrie zijn er voornamelijk twee systemen geweest om de vers gesponnen draad op te nemen; zij worden aangeduid als spoel- en centrifugespinnen. Tegenwoordig worden bij dit laatste systeem uitsluitend electromotoren gebruikt, de zg. spinpotmotoren.

Daar enige van onze beschouwingen op deze motoren betrekking hebben, zullen wij — zeer in het kort — de gang van zaken bij het centrifugespinnen toelichten.

In *fig. 1* is een thans niet meer in gebruik zijnde spinpotmotor in doorsnede weergegeven. Op de flexibele as *A*, welke bij *B* in de holle as *C* is geklemd, is een potdrager *D* bevestigd. Zoals wij straks zullen zien, wordt de as flexibel uitgevoerd, om te bereiken dat haar eigen trillingsgetal laag komt te liggen t.o.v. het bedrijfstoerental van de motor.

De draaistroommotor wordt gevoed met een spanning van 40—70 V bij een frequentie van 100—150 per/sec, zodat het toerental van de motor ca. 6000—ca. 9000 omw/min bedraagt.

Door middel van twee meeneempennen *F* wordt de op de potdrager geplaatste pot in de rotatie meegenomen. In het potdeksel bevindt zich een opening waardoor een zg. spintrechter wordt gestoken. Met een snelheid van 60—100 m/min voert men via deze trechter een vers gesponnen, natte draad naar de draaiende pot toe. Door de centrifugale kracht die in de pot op de draad wordt uitgeoefend, wordt de draad tegen de potwand geslingerd. Laten wij de spintrechter een changeerbeweging maken waarvan de slaglengte gelijk is aan de hoogte van de pot, dan zal tijdens het spinnen zich in de pot de zg. spinkoek vormen. De problemen welke zich bij spinmotoren voordoen zijn van elektrische en mechanische aard; de mechanische problemen liggen hoofdzakelijk op het gebied der trillingsmechanica. Wij zullen enige van deze problemen en de toepassing van elektronische meetapparatuur bij het onderzoeken ervan in het kort uiteenzetten.

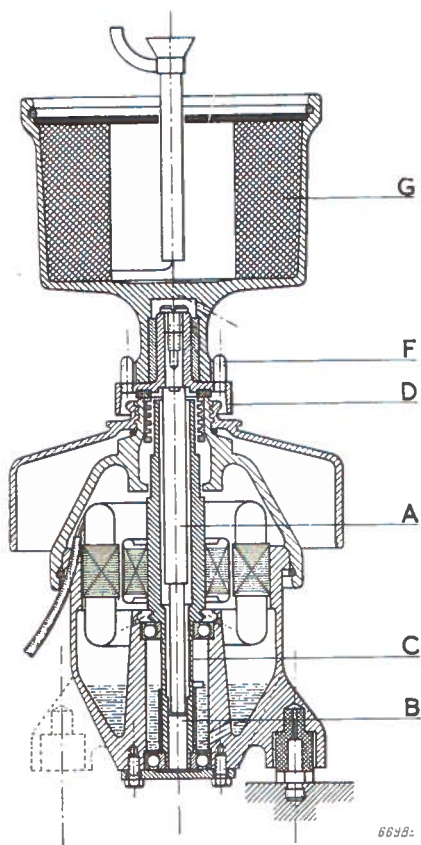


Fig. 1. Doorsnede van een spinpotmotor.

A: flexibele as, waarop spinpot rust

B: onderend van flexibele as

C: holle as

D: potdrager

F: meeneempennen

G: spinpot

Het gedrag van de spinpotmotor bij het kritische toerental

Het zal de lezer zonder nadere uiteenzetting duidelijk zijn, dat het van het grootste belang is, dat de roterende delen — en dit geldt wel in het bijzonder voor de spinpot — goed zijn gebalanceerd. Om redenen waarop wij hier niet verder kunnen ingaan is een volkomen balans van het samenstel pot-motor niet mogelijk; de toestand wijzigt zich gedurende het bedrijf.

Denken wij ons de pot tot een schijf gereduceerd (*fig. 2*), en daarop een zodanige onbalans aangebracht, dat het zwaartepunt Z op een afstand e van het middelpunt C komt te liggen. Draait de schijf met een hoeksnelheid ω rond, dan ontstaat er een centrifugale kracht die de as over een afstand r doet doorbuigen. Deze doorbuiging is steeds zó groot, dat er tussen de veerkracht van de as en de centrifugale kracht evenwicht bestaat, dus:

$$cr = m\omega^2(r + e)$$

Hierin stelt c de stijfheid van de as en m de massa van de schijf voor. Er valt nu aan te tonen, dat de doorbuiging van de as aan de volgende vergelijking voldoet:

$$r = e \frac{(\omega/\omega_n)^2}{1 - (\omega/\omega_n)^2} \quad (\omega_n = \text{kritische hoeksnelheid}).$$

In *fig. 3* is r als functie van ω uitgezet; hierin is de afstand $C-Z$ gelijk aan e , terwijl $C-O$ de doorbuiging r van de as voorstelt.

Het blijkt dat bij de kritische hoeksnelheid, dus wanneer $\omega/\omega_n = 1$, C en Z t.o.v. O van plaats verwisselen en dat bij verder verhogen van het toerental het zwaartepunt Z zich in de richting van de hartlijn $O-O'$ beweegt en bij $\omega = \infty$ daarmee zal samenvallen. De schijf draait dan om haar zwaartepunt en de as heeft een doorbuiging die gelijk is aan e .

Uit een en ander is gemakkelijk af te leiden dat het gewenst is, het kritische toerental t.o.v. het bedrijfstoerental zo laag mogelijk te houden. Door de motor een relatief sterk aanloopkoppel te geven, zorgt men er voor dat het kritische toerental snel wordt doorlopen. Zou het aanloopkoppel te zwak zijn, dan zou de motor zg. blijven hangen, veel energie uit het net opnemen, en de as zou dan meestal na enige seconden krom slaan.

In *fig. 4* is de opstelling van de apparatuur weer gegeven, waarmee het gedrag van de motor bij verschillende toerentallen gemakkelijk kon worden nagegaan.

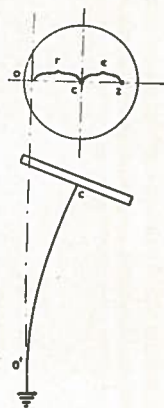


Fig. 2. Geschematiseerde voorstelling van een spinpot, draaiend om een buigzame as $O'-C$.

66906

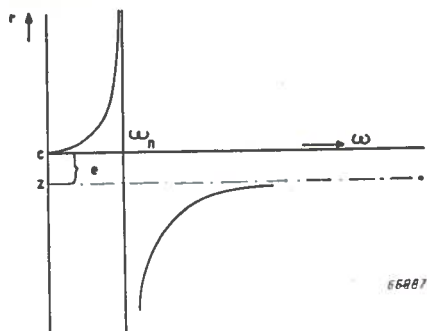


Fig. 3. Doorbuiging van een as als functie van de hoeksnelheid ω . Bij de kritische hoeksnelheid ω_n wordt de uitwijking zeer groot.

De spinpotmotor (a) wordt gevoed met een spanning waarvan wij de frequentie bv. van 0—150 per/sec kunnen regelen. Met behulp van de elektrodynamische trillingsopnemer GM 5526 (b) wordt de trilling van het motorhuis in een elektrische spanning omgezet. De frequentie van deze spanning is gelijk aan het aantal omw/sec van de motor, terwijl de grootte van de spanning afhankelijk is van dx/dt , dus als x de trillingsamplitude voorstelt, met de snelheid van deze trilling. Daar het ons in dit geval om de grootte van de amplitude te doen is, moet de spanning eerst worden geïntegreerd; dit geschiedt in het amplitudemeeetkastje GM 5522 (c), waarin zich o.a. een integrerend element bevindt.

Met behulp van de omschakelaar GM 5525 (d) voeren wij de geïntegreerde spanning toe, óf aan de oscillograaf GM 3156 (e) om de vorm van de trilling te bestuderen, dan wel aan de elektronische voltmeter GM 4132 (f) om de grootte van de trillingsamplitude te kunnen aflezen.

Zetten wij de bij de verschillende toerentallen gevonden waarden uit, dan krijgen wij een kromme die er ongeveer uitziet als in fig. 5 is aangegeven. Het kritische toerental van de as vinden wij dan bij ca. 500 omw/min, terwijl er bij ongeveer 3000 en 5000 omw/min nog storingen optreden.

Fig. 4. Apparatuur voor het opnemen van trillingen van spinpotmotoren:

- a. spinpotmotor
- b. electrodynamische trillingsopnemer GM 5520
- c. ijkastje GM 5522
- d. omschakelaar GM 5525
- e. laag-frequentie-kathodestraaloscillograaf GM 3156
- f. laagfrequentie-buisvoltmeter GM 4132

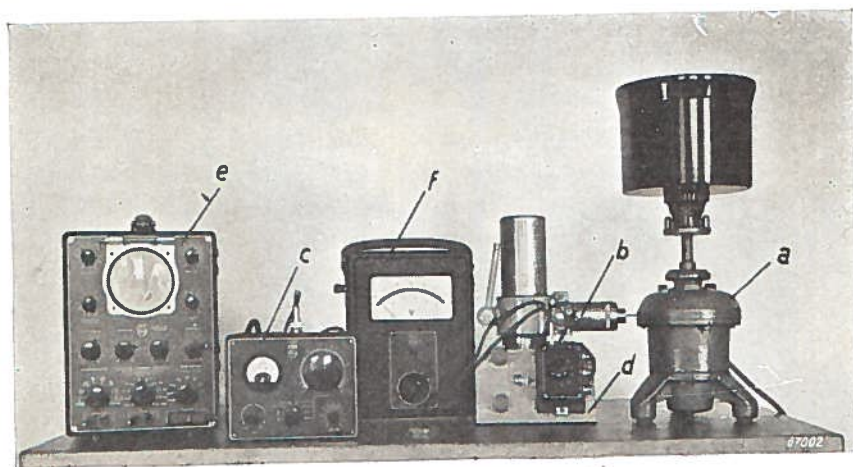
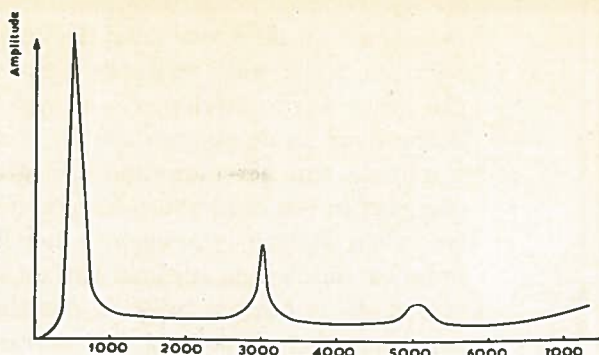


Fig. 5. Amplitude van de trillingen van een spinpotmotor als functie van het aantal omwentelingen per minuut.



65980

Beweging van de as

Draait de motor niet in een kritisch gebied, dan draait de as met een bepaalde doorbuiging rond. Is deze doorbuiging betrekkelijk groot, bv. een millimeter, dan kunnen wij haar gemakkelijk waarnemen daar de pot dan een zg. rand — van 1 mm breedte — vertoont.

De asbuiging kunnen wij op de volgende wijze op het scherm van de oscillograaf zichtbaar maken:

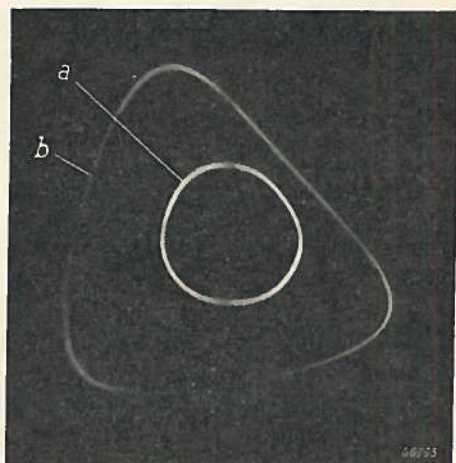
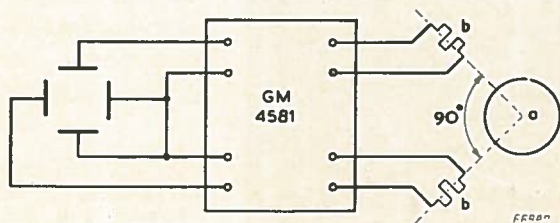
In fig. 6 stelt *a* de doorsnede van de as voor en *b* twee electromagnetische trillingsopnemers GM 5527, die onder een hoek van 90° t.o.v. elkander zijn geplaatst; de afstand tussen de opnemers en de as bedraagt enige millimeters. Op elk der beide versterkerkanalen van de electronenschakelaar GM 4581 sluiten wij een opnemer aan. De versterker en de tijdbasis van de oscillograaf schakelen wij uit, en aan de electronenschakelaar hebben wij een zodanige wijziging aangebracht, dat beide versterkerkanalen van aparte uitgangsklemmen zijn voorzien. De ene uitgang sluiten wij aan op de horizontale, de andere op de verticale platen van de oscillograaf.

Fig. 6. Schema voor het zichtbaar maken van de beweging van de as op de oscillograaf.

- a. doorsnede van de as
- b. electromagnetische trillingsopnemer GM 5527; GM 4581 Philips electronenschakelaar (figuur onder)

Fig. 7. Baan doorlopen door het middelpunt van de as van de spinpotmotor

- a. bij kleine onbalans
- b. bij grote onbalans (figuur rechts)



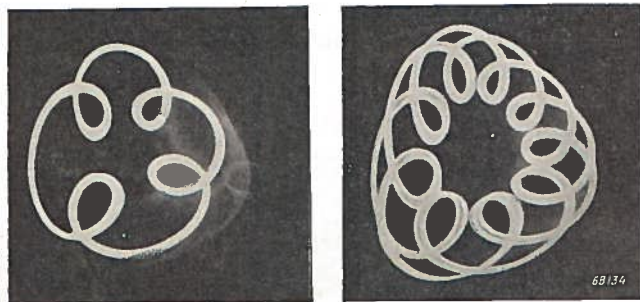
Indien wij nu de motor laten draaien, nemen wij op het scherm van de buis een cirkel waar welke de baan voorstelt die door het middelpunt van de as wordt doorlopen (*a* in *fig. 7*).

Brengen wij in de pot een relatief grote onbalans aan, zodat de trillingsamplitude van het motorhuis vrij groot wordt, dan zien wij de cirkel overgaan in een driehoek met sterk afgeronde hoeken (*b* in *fig. 7*).

De reden hiervan is gelegen in het feit, dat de motor op drie rubberproppen staat en de stijfheid van de motor op zijn ondersteuning dus niet in alle richtingen gelijk is. Zouden wij vier in plaats van drie pootjes toepassen, dan zouden wij een vierkant op het scherm zien verschijnen. Wat wij in *fig. 7a* waarnemen is geen trillen van de as, maar een rond-draaien met een zekere doorbuiging; de vezels van de as hebben daarbij een constante doorbuiging. Wij zouden hier hoogstens van een pseudo-trilling kunnen spreken.

Onder zeer bepaalde voorwaarden kan zich nog een ander verschijnsel voordoen, nl. de zg. „precessie”. De baan die door het middelpunt van de as wordt doorlopen is — voor twee bepaalde gevallen — in *fig. 8a* en *b* voorgesteld. Nu trilt de as in de ware zin des woords, en wel met een frequentie die meestal verschilt van het aantal omw/sec van de motor. De beweging van de pot kan men samengesteld denken uit twee rotaties, nl. één om de as $O'-C$ (*fig. 2*) en één om de as $O'-O$; normaal is het aantal omw/min van beide gelijk (dus zoals de maan om de aarde roteert). Wij noemen het aantal omwentelingen om de as $O'-O$ het precessietoerental, en dit verschilt dan van het toerental om de as $O'-C$ (denk aan een bromtol die draait en waarvan de as niet meer loodrecht op de grond staat).

Fig. 8a en b.



Uit een onderzoek bleek — en dit kon theoretisch worden bevestigd — dat het toerental van de precessie steeds gelijk is aan de eigen trilling van de as, en dat deze laatste een functie is van het aantal toeren van de motor. Maximaal kan het precessietoerental tweemaal de waarde van het eerste kritische toerental aannemen. Dit laatste is dus het toerental waarbij het aantal omw/sec gelijk is aan de eigen trilling. Dat het precessietoerental een functie van het

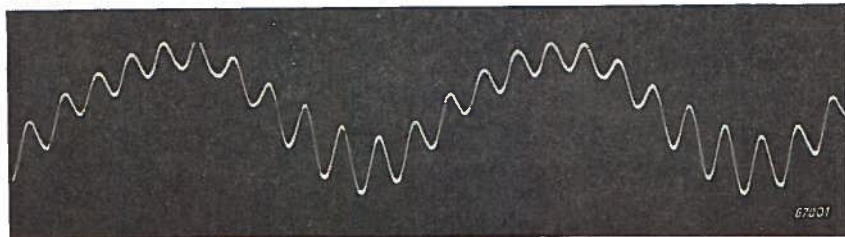


Fig. 8c. Trilling van het motorhuis bij het optreden van precessie.

aantal omwentelingen van de motor is, is het gevolg van het scheefstellen van de as met pot, waardoor een gyroscopisch koppel optreedt dat de as tracht te strekken; de as wordt als het ware stijver. Daar dit gyroscopische koppel met het toerental van de motor toeneemt, neemt ook de stijfheid van de as toe, en daarmee de eigen trilling van de as.

Fig. 8 geeft nog de trilling weer welke onder bepaalde omstandigheden door het motorhuis wordt uitgevoerd. De langzame trilling (precessie) verhoudt zich tot de snellere (toerental) als ca. 1 : 11, en daar het aantal toeren in dit geval gelijk was aan 6000 omw/min, is het precessietoerental ongeveer 545 omw/min.

Dubbele buiging van de as

Wij zullen nu nog nagaan wat er gebeurt als wij in *a* en *b* (fig. 9) een onbalans aanbrengen.

Als de motor draait, ontstaat er een koppel dat de as in een soort S-bocht tracht te brengen; dit is oscillografisch gemakkelijk als volgt aan te tonen:

Tegen de bovenkant van het motorhuis plaatsen wij een electrodynamische opnemer (GM 5526) en voeren de daarin opgewekte wisselspanning toe aan een der kanalen van de electronenschakelaar. Een electromagnetische opnemer (GM 5527)¹⁾ bewegen wij langs de as en pot, en de in deze opnemer opgewekte spanning voeren wij toe aan het andere kanaal van de electronenschakelaar.

De uitgang van deze schakelaar sluiten wij op de voorgeschreven wijze op de oscillograaf aan, en wij nemen dan op het scherm van de buis twee trillingen waar; de ene stelt de trilling van het motorhuis voor en de andere die van de as of pot op een bepaald punt.

Fig. 10a verkrijgen wij als wij de magnetische opnemer ter hoogte van *a* houden en fig. 10b als wij dit ter hoogte van *b* doen.

Blijkbaar is de beweging van punt *a* tegengesteld aan die van het motorhuis, terwijl punt *b* een beweging uitvoert die met het motorhuis in fase is. Tasten wij op deze wijze verschillende punten van de as en de pot af, dan kunnen wij

¹⁾ Dit is een trillingsindicator voor trillende voorwerpen die niet aangeraakt kunnen of mogen worden (zie Electr. Meten J. 1 No. 8).

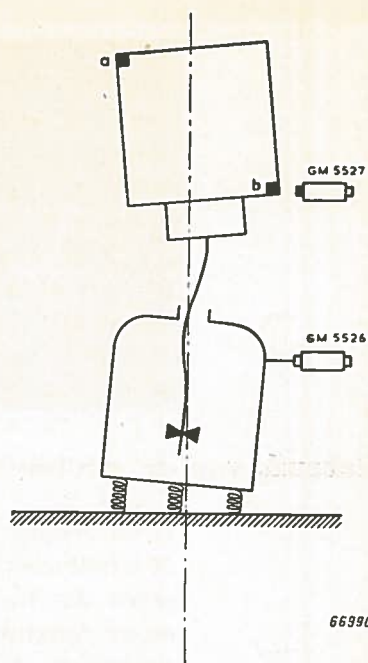


Fig. 9. Buiging van de spinpotas.

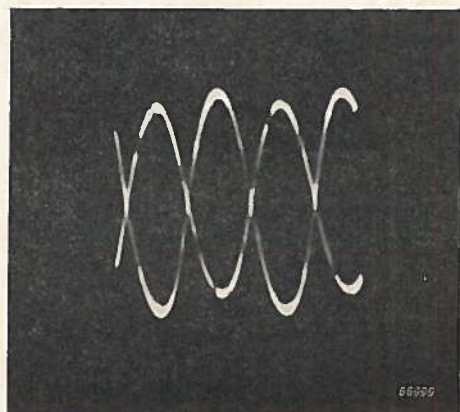


Fig. 10a. Oscillogram van de trilling van de motor en van de spinpot bij *a* (zie fig. 9).

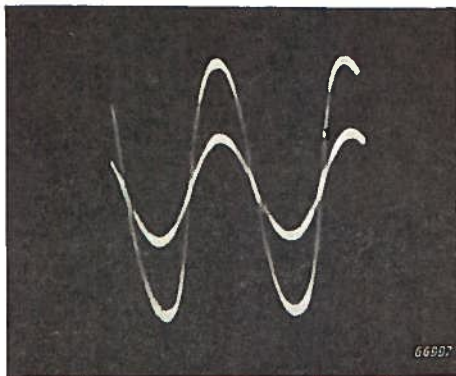


Fig. 10b. Idem, doch van de trilling van de spinpot bij b.

de stand van beide reconstrueren; deze is in *fig. 9* bij benadering weergegeven.

In werkelijkheid vindt de buiging niet in één vlak plaats, zoals in de figuur is aangegeven. Wij kunnen hier niet verder op ingaan.

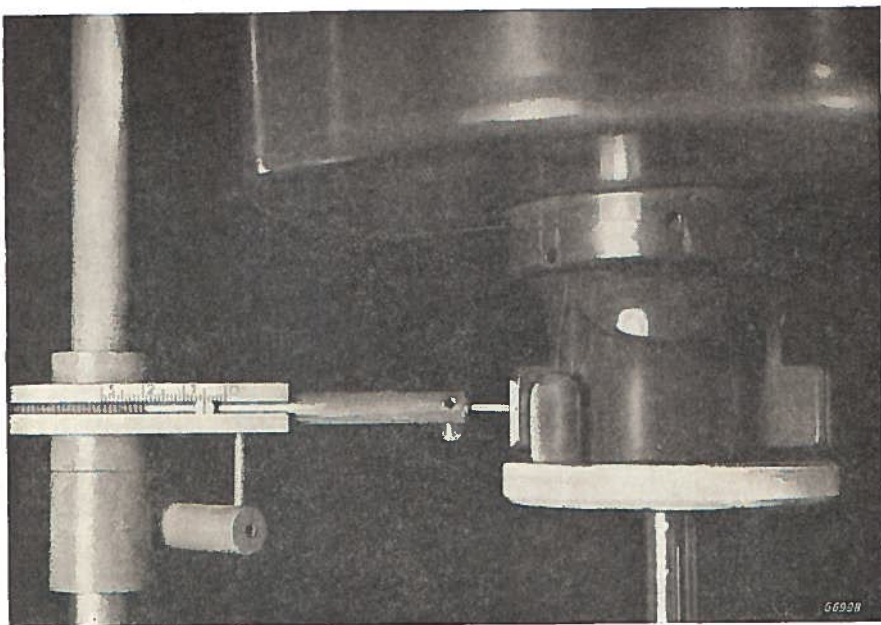
Gebruik van de stroboscoop GM 5500

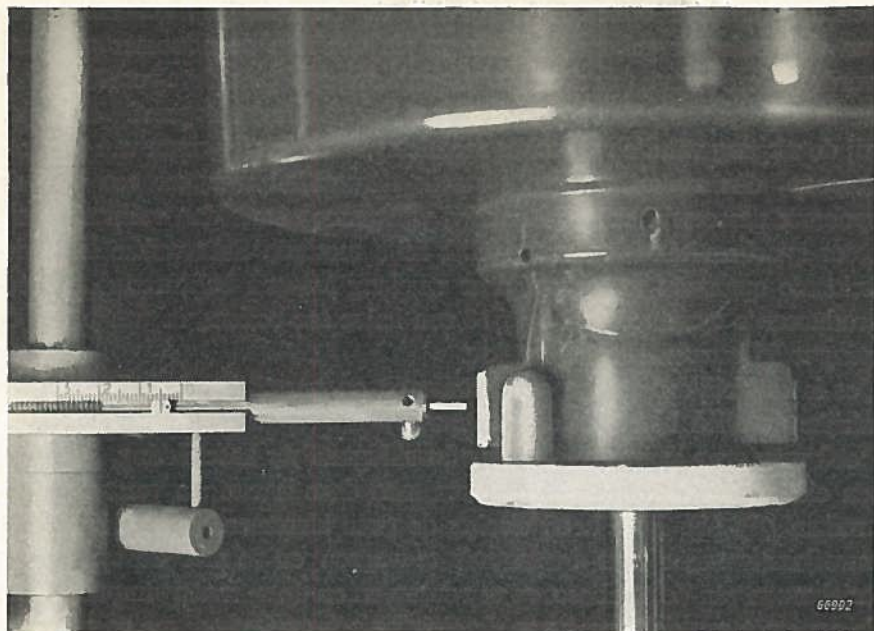
Is de buiging van de as voldoende groot, dan kan ze door middel van de stroboscoop worden waargenomen²⁾. Laten wij deze een aantal flitsen geven dat bv. één per seconde van het aantal omwentelingen van de motor verschilt, dan zien wij de spinpot met één omw/sec links of rechts omdraaien; de buiging uit zich in een waggelende beweging van de pot (cake-walk). Om de lezer een indruk te geven van dit waggelen hebben wij — terwijl de spinpot 6600 omw/min maakt — twee opnamen gemaakt.

In *fig. 11a* zien wij dat de potvoet bijna een — vast opgestelde — meetstift raakt, terwijl *fig. 11b* de situatie weergeeft als de pot een stand heeft aangenomen die juist 180° t.o.v. die in *fig. 11a* is verschoven.

²⁾ Voor een beschrijving van de stroboscoop, zie El. Meten J. 2 No. 6.

Fig. 11a.





*Fig. 11 a en b.
Een slingerende
spinpot door één
flits van de stro-
boscoop belicht.
Lensopening
 $f/2,5$.*

Wij zien dat er tussen de potvoet en de meetstift nu een spleet van ca. 1,5 mm is; de pot slingert dan ook ter plaatse ca. 1,5 mm. De opnametechniek kan zeer verschillend zijn en moet worden aangepast aan de omstandigheden. In het algemeen stelt men de flitsen zodanig in, dat men het draaiende voorwerp in de gewenste stand waarneemt.

In het onderhavige geval lieten wij de motor met pot met 6600 omw/min ronddraaien, dus met één omwenteling in $1/110$ sec. Stellen wij de sluiters van het fototoestel nu op $1/100$ sec in en drukken wij af, dan vangen wij juist één flits op terwijl het voorwerp in de door ons gewenste stand staat.

Fig. 12 is volgens een andere methode opgenomen.

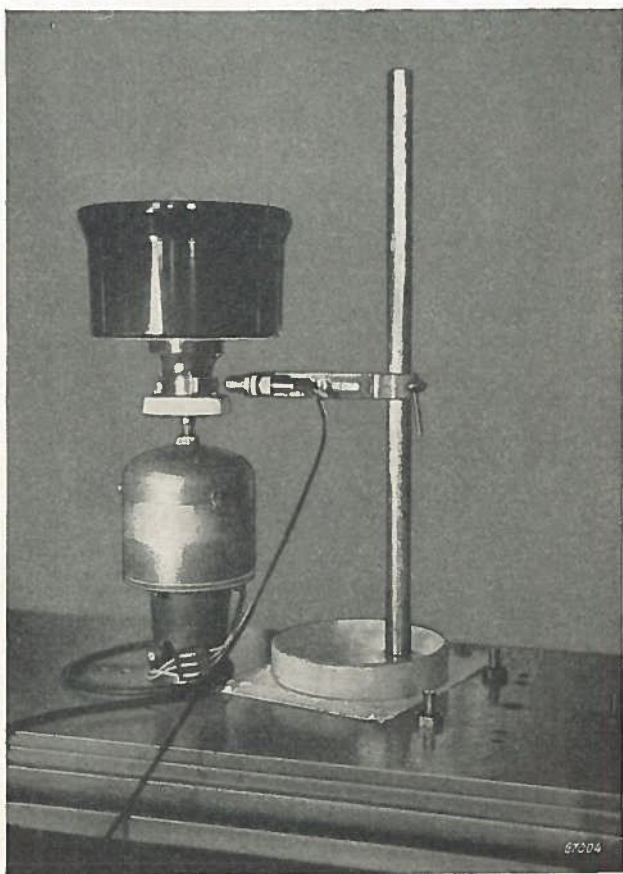
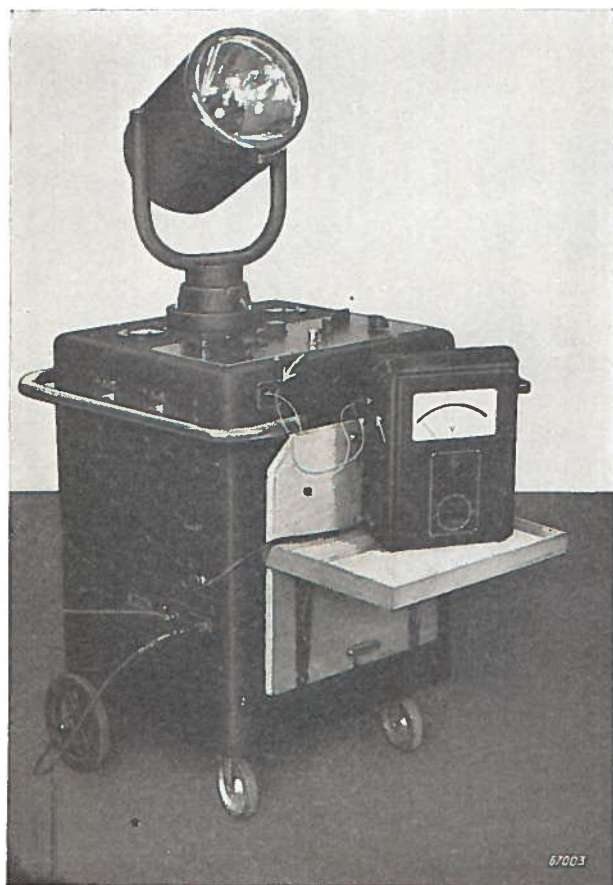


Fig. 12. Een spinpot, belicht met een gesynchroniseerde stroboscoop. Belichtingstijd $\frac{1}{2}$ sec, lensopening $f/18$.

Een magnetische opnemer wordt bij de passerende meeneempennen van de potdrager gehouden. Telkens als een pen de opnemer passeert, wordt in deze laatste een spanningsimpuls opgewekt, en deze voeren wij toe aan een aparte versterker of aan de versterker van de oscillograaf. Verbinden wij de uitgang van de versterker met de synchronisatiebussen van de stroboscoop, dan zullen de flitsen steeds *dán* vallen wanneer een pen de opnemer passeert; het beeld dat wij waarnemen staat dan volkomen stil. Door synchronisatie is het mogelijk zelfs met een lichtzwakke lens uitstekende opnamen te maken, daar wij lang kunnen belichten. De gereproduceerde opname werd bij $f/18$ een halve sec belicht, in welke tijd de spinpot 55 omwentelingen maakte.

Het is duidelijk dat deze synchronisatie op verschillende wijzen en in talrijke gevallen kan worden toegepast.³⁾

Heeft men geen aparte versterker of oscillograaf ter beschikking, doch wel een electronische voltmeter, dan kan men deze laatste als versterker gebruiken (*fig.13*). Men heeft slechts de twee klemmen van het eigenlijke aanwijsinstrument naar buiten uit te voeren en ze met de synchronisatiebussen van de stroboscoop te verbinden en de spanningsimpulsen van de opnemer aan de ingang van de electronische voltmeter toe te voeren.⁴⁾



Contrôle en stabilisatie van ringvormige magneten

Voor bepaalde onderzoeken waren apparaten nodig waarin ringvormige magneten voorkwamen. Deze magneetringen zijn radiaal gemagnetiseerd en wel met 8 poolparen; *fig. 14* geeft het verloop van het magneetveld weer.

Daar de apparaten onderling verwisselbaar moeten zijn, is het noodzakelijk dat de afzonderlijke magneetringen op gelijke wijze en even sterk gemagnetiseerd zijn.

³⁾ Een analoge toepassing is beschreven in het A.K.U. tijdschrift: *Rayon Revue*, nr. 4/4-1950, door Ir van Nes.

⁴⁾ Aan het nieuwste type el. voltmeter GM 4132/05 is deze wijziging aangebracht; Red.

Fig. 13. Philips stroboscoop GM 5500 met buisvoltmeter GM 4132/01, als versterker gebruikt.

Fig. 14. Verloop van de krachtlijnen van een ringvormige magneet met 8 poolparen.

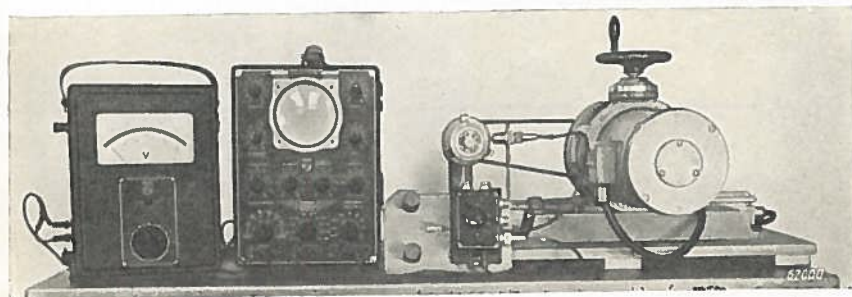
Aanvankelijk was het met de ten dienste staande middelen niet mogelijk de ringen op een snelle wijze onderling te vergelijken en op een bepaalde veldsterkte te stabiliseren, doch ook hier bracht de elektronische apparatuur uitkomst; *fig. 15* geeft de gebruikte opstelling weer.

In een zelfcentrerend kopje, dat door de variator wordt aangedreven, is een klembusje aangebracht waarop de magneetringen één voor één en achtereen volgens kunnen worden geschoven.

Op ongeveer 1 à 2 cm afstand van de magneetring — in radiale richting — is een electromagnetische opnemer geplaatst, die via de omschakelaar óf met de oscillograaf, dan wel met deelelectronische voltmeter kan worden verbonden.

Laten wij door middel van de variator de magneetring draaien, dan wordt in de opnemer een wisselspanning opgewekt, die wij allereerst aan de oscillograaf toevoeren. De tijdbasis van deze laatste stellen wij nu zodanig in, dat op het scherm van de buis 8 volledige sinusoïden verschijnen; de 16 toppen stellen de 16 polen van de magneetring voor. Het is uit een economisch oogpunt nogal bezwaarlijk, de aanwezigheid van gietgallen in de ringen geheel te vermijden. Deze gietgallen, die dikwijls van buitenaf niet zichtbaar zijn, beïnvloeden echter de veldsterkte in ongunstige zin; de ringen waarin zij voorkomen zijn niet bruikbaar.

Fig. 15. Opstelling voor de vergelijkende meting van ringvormige magneten.



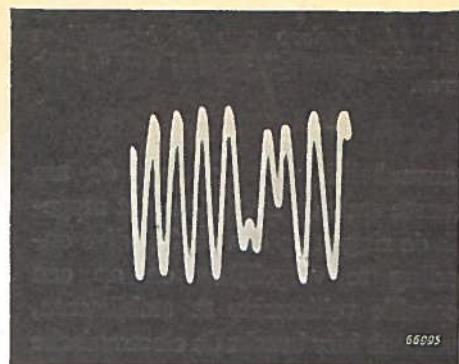
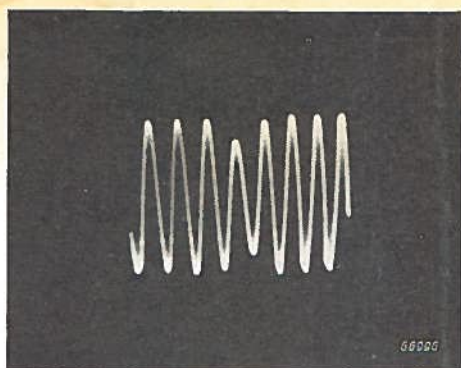


Fig. 16. Oscillogrammen van de poolsterkten van de ringvormige magneet
a. met polen van ongelijke sterkte
b. één poolpaar verkeerd gemagnetiseerd

Treden zij in een bepaalde ring op, dan is het op de oscillograaf waar te nemen doordat twee of meer sinusoiden een kleinere amplitude vertonen dan de overige (*fig. 16a*). Hebben wij de ring op een bepaalde plaats verkeerd gemagnetiseerd, door bv. de bekrachtiging van het magnetiseringsapparaat niet in de juiste volgorde om te keren, of is hij in het geheel niet gemagnetiseerd, dan is ook dit op de oscillograaf waarneembaar doordat het beeld op een bepaalde wijze vervormd is (*fig. 16b*).

Hebben wij aldus gecontroleerd dat er geen afwijkingen aanwezig zijn, dan wordt er op de elektronische voltmeter omgeschakeld. In het onderhavige geval hebben wij de opnemer op een zodanige afstand van de draaiende magneetring geplaatst, dat er bij 500 omw/min een spanning van 550—650 mV wordt afgelezen. Houden wij nu een of andere staafmagneet dicht bij de draaiende ring, dan blazen wij als het ware het veld van deze laatste weg. Wij zien dan de aanwijzing van de meter teruglopen. Wijst deze in ons geval 500 mV aan, dan wordt de ontmagnetisering niet voortgezet.

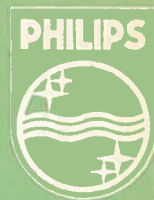
Op de hier omschreven wijze is het mogelijk, per uur een honderdtal magneetringen te controleren en op een bepaalde waarde te stabiliseren, zonder ons in de absolute waarde van de veldsterkte te verdiepen.

INHOUD

Toepassing van elektronische meetapparatuur in de rayon-industrie — H. Wormsbecher.

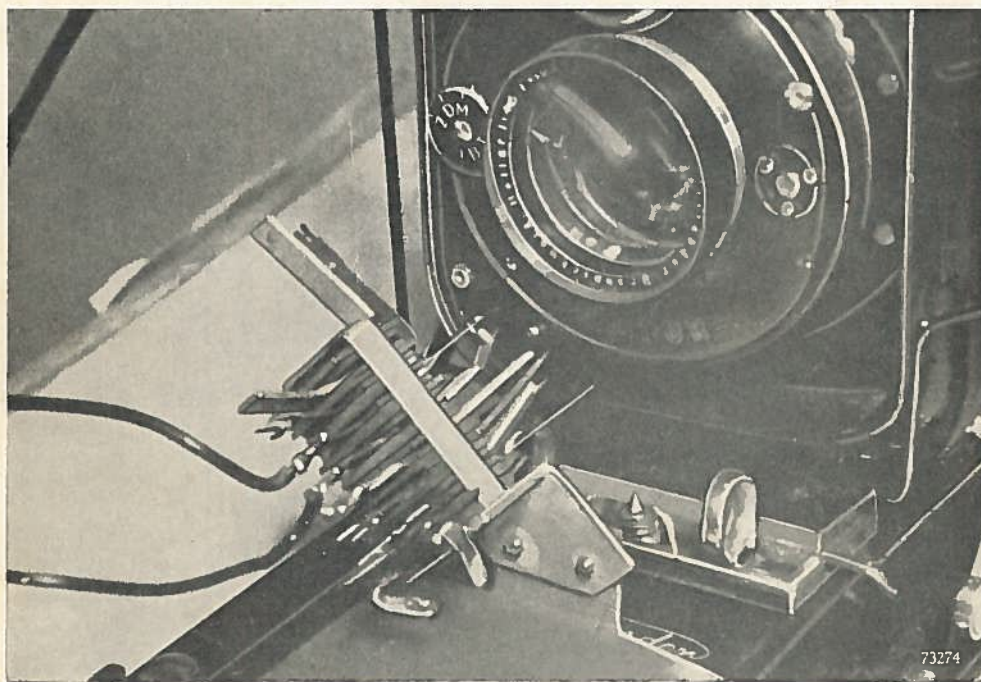
ELECTRONISCH METEN

HET GEBRUIK DER MODERNE
ELECTRONISCHE MEETAPPARATEN
IN LABORATORIA EN BEDRIJVEN



JAARGANG 3

NUMMER 8



In dit nummer zijn nauwkeurige metingen beschreven van de openingstijden van sluiters van fototoestellen. Deze metingen zijn gedaan met een kathodestraal oscillograaf.

UITGAVE VAN DE N.V. PHILIPS' VERKOOPMIJ. VOOR NEDERLAND
E I N D H O V E N

METINGEN MET EEN ELECTRONENSTRAALOSCILLOGRAAF AAN SLUITERS VAN FOTOCAMERA'S

door J. CZECH

Middelbare Technische Raderschool
Bratislava PENS & RENS

Deutsche Philips G.m.b.H., Berlijn

Inleiding

Voor de meting van de openingstijd van camerasluiters zijn eenvoudige methodes met velerlei varianten bekend (1). De daarmee verkregen resultaten zijn weliswaar voor eenvoudige fotografische vraagstukken voldoende; voor bijzondere opname-methodes echter is steeds dringender een nauwkeurige kennis van de omstandigheden bij het opnemen — en dus ook van de sluitertijden — noodzakelijk. Dit is speciaal het geval bij kleurenfotografie, luchtkartering, wetenschappelijke metingen e.d.

Terwijl men bijvoorbeeld met elektrische belichtingsmeters een grondiger en beter gefundeerde kennis van belichtingsproblemen heeft verkregen, vertonen camerasluiters soms aanzienlijke afwijkingen van de nominale belichtingstijden. Om ook in deze richting verbeteringen in te voeren, zijn allereerst overeenkomstig nauwkeurige meetmethodes voor de werking van sluiters dringend gewenst. Ook voor de toepassing van volledige synchronisatie is een nauwkeurige kennis van camerasluiters noodzakelijk. Deze taak is op verschillende manieren met de electronenstraaloscillograaf op te lossen. Daar centrale sluiters (irissluiters) het belangrijkste zijn, zullen wij ons uitsluitend hiermee bezighouden.

In principe kan men hierbij twee methodes onderscheiden:

- A. De sluiters die aan een onderzoek is onderworpen, bevindt zich in een camera, die een opname maakt van de baan van een met een bekende snelheid bewegende lichtvlek op het fluorescerende scherm van een oscillograaf. Uit de lengte van de gefotografeerde lijn kan men op directe wijze de werkelijke belichtingstijd afleiden.
- B. De sluiters bevindt zich tussen een lichtbron en een fotocel. De spanning die de fotocel levert, wordt gebruikt voor de afbuiging in verticale richting van de lichtvlek; deze wordt tegelijkertijd in horizontale richting door een lineair verlopende spanning zo bewogen, dat er op het scherm een betrouwbaar beeld van het openen ontstaat.

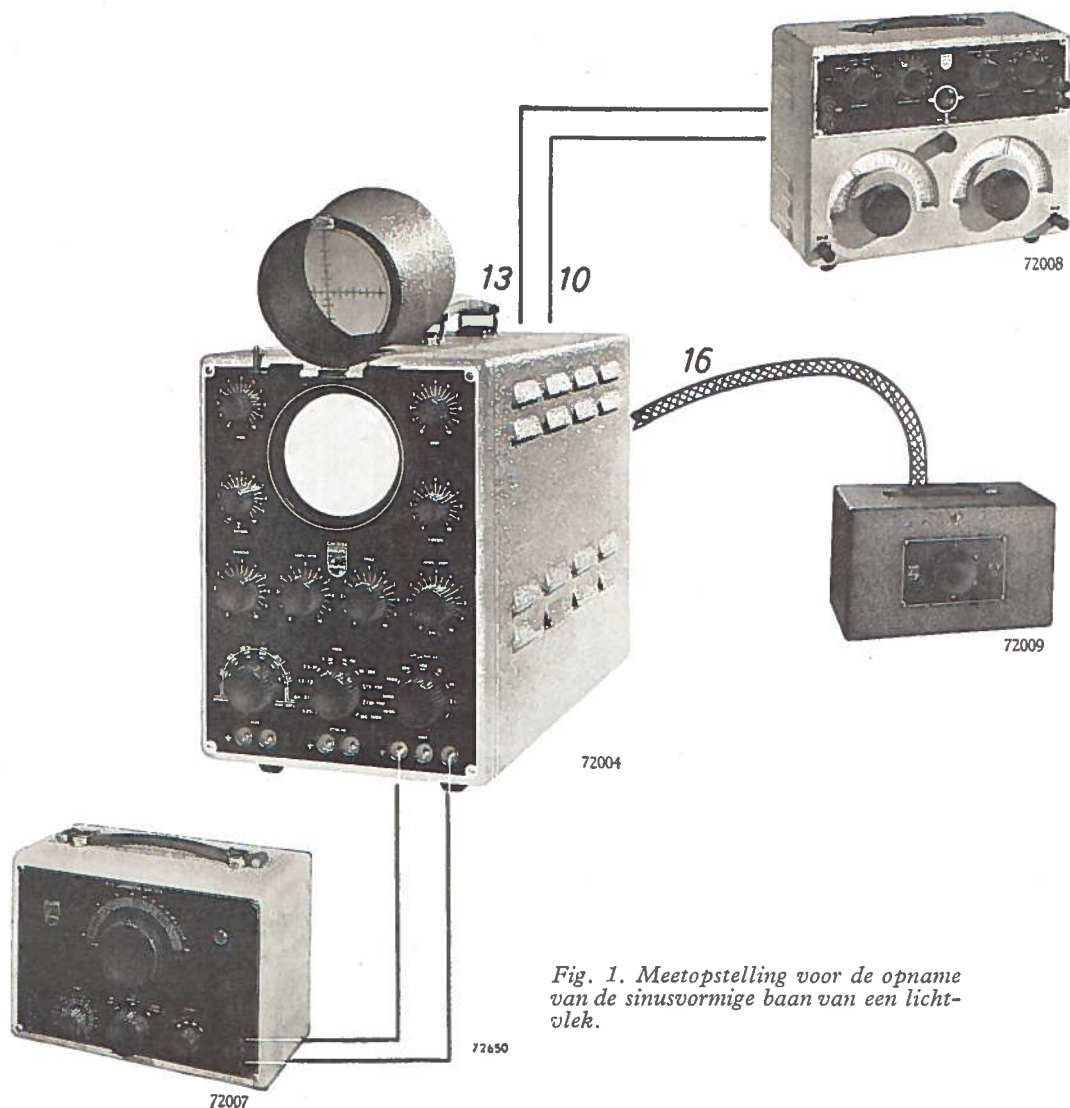


Fig. 1. Meetopstelling voor de opname van de sinusvormige baan van een lichtvlek.

A. Directeopname van de baan van een bewegend punt op de oscillograaf

Voor de hier beschreven werkwijzen zijn electronenstraalbuizen met een zo kort mogelijke nalichtperiode nodig. Het geschiktst zijn de blauw lichtende buizen DB 9-3, DB 9-5, resp. DB 10-3, DB 10-5 of DB 10-6. De meetnauwkeurigheid is groter naarmate de weg die de lichtvlek beschrijft langer is. Het is daarom gewenst, de beschreven lijn door gelijktijdige periodieke afbuiging in verticale zin te vergroten en als het ware samen te vouwen. Men benadert deze toestand zo dicht mogelijk met een sinusoïdale wisselspanning.

1. Het opnemen van een sinusoïdale baan van een lichtvlek

Hiertoe stelt men op de bekende wijze een stilstaand (dus gesynchroniseerd) beeld van deze wisselspanning op de oscillograaf in. De trillingstijd

T_x van de tijdbasisspanning in de X-as moet daarbij iets groter zijn dan de verwachte openingstijd van de sluiters. Hij is gelijk aan het omgekeerde van de tijdbasisfrequentie, dus:

$$T_x = \frac{1}{f_x} \dots \dots \dots (1)$$

Wil men b.v. een sluitertijd van $1/10$ sec meten, dan moet $f_x = 1 : 1/10 = 10$ Hz zijn. Men zal de frequentie dan op ongeveer 8 Hz instellen.

Voor de Y-richting is een 4- tot 6-voudige frequentie het wenselijkst gebleken. Dus moet:

$$f_y = (4 \dots 6)f_x \text{ zijn} \dots \dots \dots (2)$$

In het genoemde voorbeeld zal het dus ongeveer 40 Hz zijn, zodat er een beeld van 5 perioden van dit spanningsverloop ontstaat.

Wordt nu dit beeld gefotografeerd met een camera, waarin zich de onderzochte sluiters bevindt, dan wordt het niet volledig opgenomen. Waar het ontbrekende gedeelte zich bevindt: in het midden, of dat het begin of einde verkort zijn, is afhankelijk van waar het openen, resp. sluiten begint (fig. 2).

Doordat de afbuigingsnelheid in verticale richting volgens de cosinusfunctie verandert, zou de berekening van de tijd via dit beeld vrij lastig zijn. Gemakkelijker wordt het, wanneer men de elektronenstraal moduleert met een wisselspanning, waarvan de frequentie f_z bekend is.

De kromme is dan geen ononderbroken lijn, maar bestaat uit punten. De onderlinge afstand hiervan is een maat voor de trillingstijd T_z van de tijdbasisspanning.

Dus wordt:

$$T_z = \frac{1}{f_z} \dots \dots \dots (3)$$

Indien $f_z = 1000$ Hz komt de afstand tussen twee punten overeen met $\frac{1}{1000}$ sec = 1 msec.

Voor deze meting zijn, zoals men in fig. 1 kan zien, één oscillograaf en twee toonfrequentiegeneratoren nodig.

Voor de meting van openingstijden van minder dan $1/100$ sec is ook bij gebruik van goede optiek en gevoelig fotografisch materiaal een hogere intensiteit van de lichtvlek vereist, zodat men in de oscillograaf de elektronenstraalbuizen met naversnellingsanode DN 9-5 of DN 10-5, resp. DN 10-6 en daarenboven het 5000 V voedingsapparaat GM 4198 moet gebruiken.



Fig. 2. Opnamen ter bepaling van de belichtingstijd met een sinusvormige baan van de lichtvlek.

Voor dit doel is de oscillograaf GM 3156 in het bijzonder geschikt, aangezien op dit apparaat voor de tijdbasisspanning een maximale trillingstijd van 4 sec kan worden ingesteld. Men kan daardoor belichtingstijden tot 4 sec toepassen. Bij belichtingstijden tot $\frac{1}{2}$ sec kan men echter met gelijkwaardige resultaten de oscillograaf GM 5653 gebruiken.

In *fig. 2* zijn vier oscillogrammen afgebeeld voor de belichtingstijden 1, $1/2$, $1/5$ en $1/10$ sec van een Zeiss-Ikon Tenax II camera, die op de hier beschreven wijze zijn verkregen.

Men behoeft slechts de punten te tellen en het quotiënt van het aantal punten P en de tijdbasisfrequentie f_z (in kHz) is gelijk aan de openingstijd T_v van de sluiters (in msec). Dus:

$$T_v = \frac{P}{f_z} \dots \dots \dots (4)$$

In *tabel I* zijn alle gegevens voor een dergelijke meting van de sluitertijden van deze camera — inclusief de gegevens over de opname — bijeengebracht *).

Het blijkt, dat de sluiters bij de middelbare belichtingstijden ($1/10$ — $1/200$ sec) zeer bevredigend werkt; bij de lange tijden (1 , $1/2$ en $1/5$ sec) echter niet. De afwijkingen van de nominale waarden kunnen hierbij zelfs 33% bedragen. Dergelijke fouten kunnen bv. bij kleurenfotografie reeds een

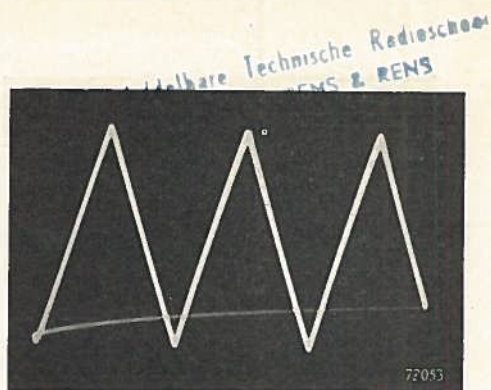
TABEL I. Meetresultaten met sinusvormige Y-spanning

Nominale belichtingstijd		1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{25}$	$\frac{1}{50}$	$\frac{1}{100}$	$\frac{1}{200}$	$\frac{1}{400}$	sec
Afbuigfrequentie f_y		5	10	20	30	100	200	400	700	900	Hz
Tijdbasisfrequentie f_z		100	200	500	600	2000	4000	8000	14000	15000	Hz
Aantal punten in het beeld		77	67	79	63	79	74	83	78	53	—
Nominale belichtingstijd		1000	500	200	100	40	20	10	5	2,5	msec
Gemeten belichtingstijd		770	335	156	105	39,5	18,5	10,4	5,6	3,5	msec
Opname gegevens	Versnellings-spanning	1	1	1	2	2	2	3	3	4	kV
	Diaphragma	4,0	4,0	4,0	2,8	2,8	2,8	2,0	2,0	2,0	—

Opname materiaal: Agfa-Ultra-Rapid 23/10⁰ DIN
Ontwikkeling: 4 min. Agfa-Röntgen ontwikkelaar

*) De afbeeldingen van de belichtingstijden $1/25$, $1/50$, $1/100$, $1/200$ en $1/400$ sec zijn weggelaten, omdat zij in feite geen nieuwe gezichtspunten openen en omdat zij toch al door de opnamen van *fig. 11* worden aangevuld.

Fig. 3. Oscillogram van een driehoekspanning.



belangrijke invloed doen gelden. Bovendien deed zich het opmerkelijke feit voor dat de werkelijke belichtingstijden bij verschillende opnamen met dezelfde nominale tijd onderlinge afwijkingen vertonen. Een sinusvormigverlopende spanning voor de verticale afbuiging heeft de ongewenste eigenschap, dat de snelheid bij de toppen kleiner wordt, zodat de tijdpunten daar dichter opeen liggen dan op de overige stukken van de lijn. De meetnauwkeurigheid is hierdoor begrensd.

2 Het opnemen van een „driehoekige” spanningskromme

Men ondervangt dit bezwaar door een „driehoekige” spanningskromme, die evenredig met de tijd verloopt (fig. 3). Een dergelijk spanningsverloop kan worden verkregen door een speciaal voor dit doel ontworpen buizen-generator (3) of door integratie van een blokspanning. Hier is de laatste weg bewandeld.

De blokspanning wordt ontleend aan een electronenschakelaar GM 4580 of GM 4581, terwijl een zg. Miller Integrator schakeling de spanning integreert (4). In fig. 4 is de schakeling van deze hulpapparatuur weergegeven. Door de omschakeling van de koppelingselementen is een doeltreffende integratie van alle voor het onderzoek van middelbare belichtingstijden vereiste frequenties goed mogelijk. Het schakelschema komt ongeveer met dat van fig. 1 overeen. De toongenerator GM 2307 is echter vervangen door de electronenschakelaar en de Miller Integrator. Fig. 5 toont de op deze wijze verkregen opnamen bij de nominale belichtingstijden 1/50 sec en 1/400 sec. Men ziet dat de aflezing verschillende malen zo groot is als bij een sinusspanning. Dat nu ook bij de spanningstoppen de aflezing gemakkelijk kan worden verricht, blijkt uit fig. 6. Hierin is het in fig. 5 aangegeven detail vergroot gereproduceerd.

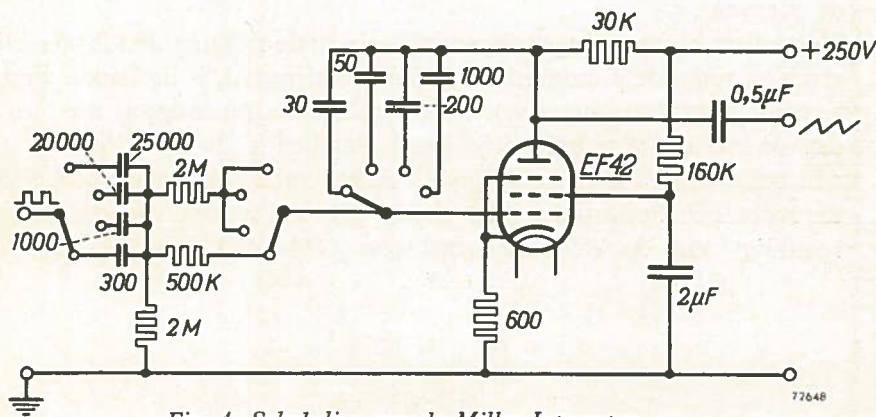


Fig. 4. Schakeling van de Miller Integrator.



Fig. 5. Opnamen ter bepaling van de belichtingstijd met driehoekspanningen.

a) Instelling „1/50” sec,

b) Instelling „1/400” sec.

3 Meting met behulp van een lijnvormige baan van de lichtvlek

Heeft men twee oscillografen, bv. de GM 3156 en GM 3152 of GM 5653 ter beschikking, dan kan men op eenvoudige wijze een lange baan van de lichtvlek: een lijnenbeeld, zoals bij televisie laten ontstaan.

De opstelling van de apparaten is in fig. 7 weergegeven. De spanning voor de beeldfrequentie wordt geleverd door de tijdbasis van de oscillograaf GM 3156. Omdat zij symmetrisch moet zijn, wordt ze eerst over een weerstand van ongeveer 5 megohm (om de tijdbasis niet te zwaar te belasten) naar de aansluiting voor de meetversterking van de oscillograaf GM 3152 of GM 5653 geleid. De meetversterker dient dus slechts ter bevordering van de symmetrie. Op het scherm van deze oscillograaf ontstaat nu een rechte lijn met een hellingshoek van ongeveer 45° . De uitgangsspanning van de meetversterker wordt aan de achterzijde van de oscillograaf afgenomen en direct op de afbuigplaten van de andere oscillograaf gevoerd.

De „beeldduur” moet weer langer zijn dan de vermoedelijke openingstijd van de sluiters. De „lijnenfrequentie” kan nu het 10 tot 20-voudige van de beeldfrequentie bedragen, zodat er een naar verhouding lange baan van de lichtvlek ontstaat. Verbindt men de horizontale uitgangsspanningsbuis van de oscillograaf GM 3152 of GM 5653 via een weerstand van ongeveer 5 megohm met synchronisatie aansluitbus van de GM 3156 en zet men de schakelaar A_1 in de stand uitwendige synchronisatie, dan kan de „beeldfrequentie” van de GM 3156 worden gesynchroniseerd met de lijnenfrequentie van de andere oscillograaf. Het beeld van de lijnen staat dan stil. In fig. 8 zijn vier op deze wijze verkregen foto's van de afbeeldingen op het scherm weergegeven. Tabel II bevat de bijbehorende gegevens.

Hoewel nu bij het terugspringen in horizontale richting de schrijfsnelheid groot is, zodat de punten niet worden geregistreerd, is de laatste methode wegens de grotere lengte van de geregistreerde lijnenfiguur niet slechter dan de eerste. De teruglooptijd kan bovendien in de orde van 3% worden gehouden. Voor de straalmodulatie kan men ook in dit voorbeeld bij de korte belichtingstijden een nuttig gebruik maken van de uitgangsspanning van de electronenschakelaar GM 4581 of GM 4580 daar



Fig. 6. Vergrote opname van een keerpunt uit fig. 5.

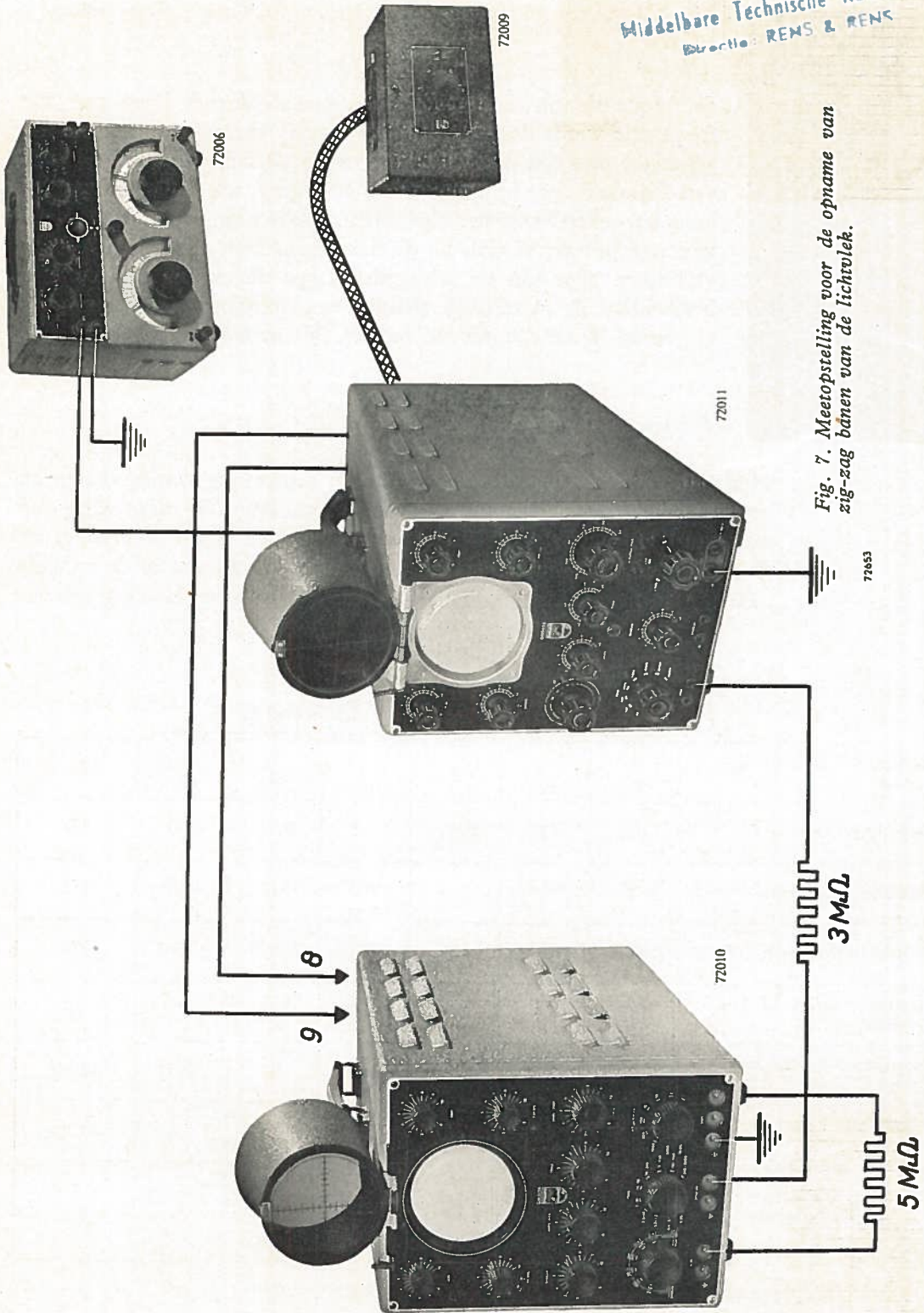


Fig. 7. Meetopstelling voor de opname van zig-zag banen van de lichtrelek.

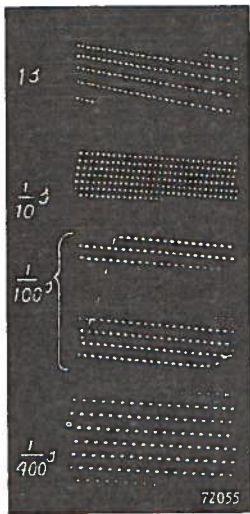


Fig. 8. Opnamen ter bepaling van de belichtingstijd met zig-zag beelden.

de frequentie van de toongenerator niet voldoende hoog gaat. De frequentie wordt door vergelijking met de spanning van een toongenerator met een derde oscillograaf op de bekende wijze (figuren van Lissajous) precies bepaald. Bij de poging, een zo lang mogelijke, ononderbroken baan van de lichtvlek op het scherm te krijgen, belandt men min of meer vanzelf bij de cirkelbaan. Men kan een cirkelbaan verkrijgen door aan de afbuigplaten van de oscillograaf zowel in horizontale als in verticale richting een sinusvormige spanning toe te voeren. Deze spanningen moeten 90° in fase verschillen.

4 Spiraalvormige baan van de lichtvlek

Men kan deze gedachte van de cirkelbaan echter nog verder voeren en op het scherm een spiraalvormige baan produceren. Op deze wijze kan men een baan van de lichtvlek verkrijgen, die vele malen zo groot is als de gemiddelde afmetingen van het scherm. In fig. 11 was in de opname „1/25” sec de totale baan op het scherm ongeveer 60 cm! Hoe een spiraal-

TABEL II
Met driehoekspanning Met lijnbeeld

Nominale belichtings-tijd		$\frac{1}{50}$	$\frac{1}{400}$	1	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{100}$	$\frac{1}{400}$	sec
Afbuigfrequentie f_y		180	436	0,67	5,5	82,6	200	Hz
Afbuigfrequentie f_x		45	109	5,3	67,7	910	2000	Hz
Tijdbasisfrequentie f_z		8400	15700	150	2000	20000	36000	Hz
Aantal punten in het beeld		155	63	116	200	148	121	—
Nominale belichtings-tijd		20	2,5	1000	100	10	2,5	msec
Gemeten belichtings-tijd		18,5	4,0	770	100	7,4	3,4	msec
Opname gegevens	Naversnelingsspanning	2	2	—	—	2	2	kV
	Diaphragma	2,8	2,0	4,0	2,8	4,0	2,0	—

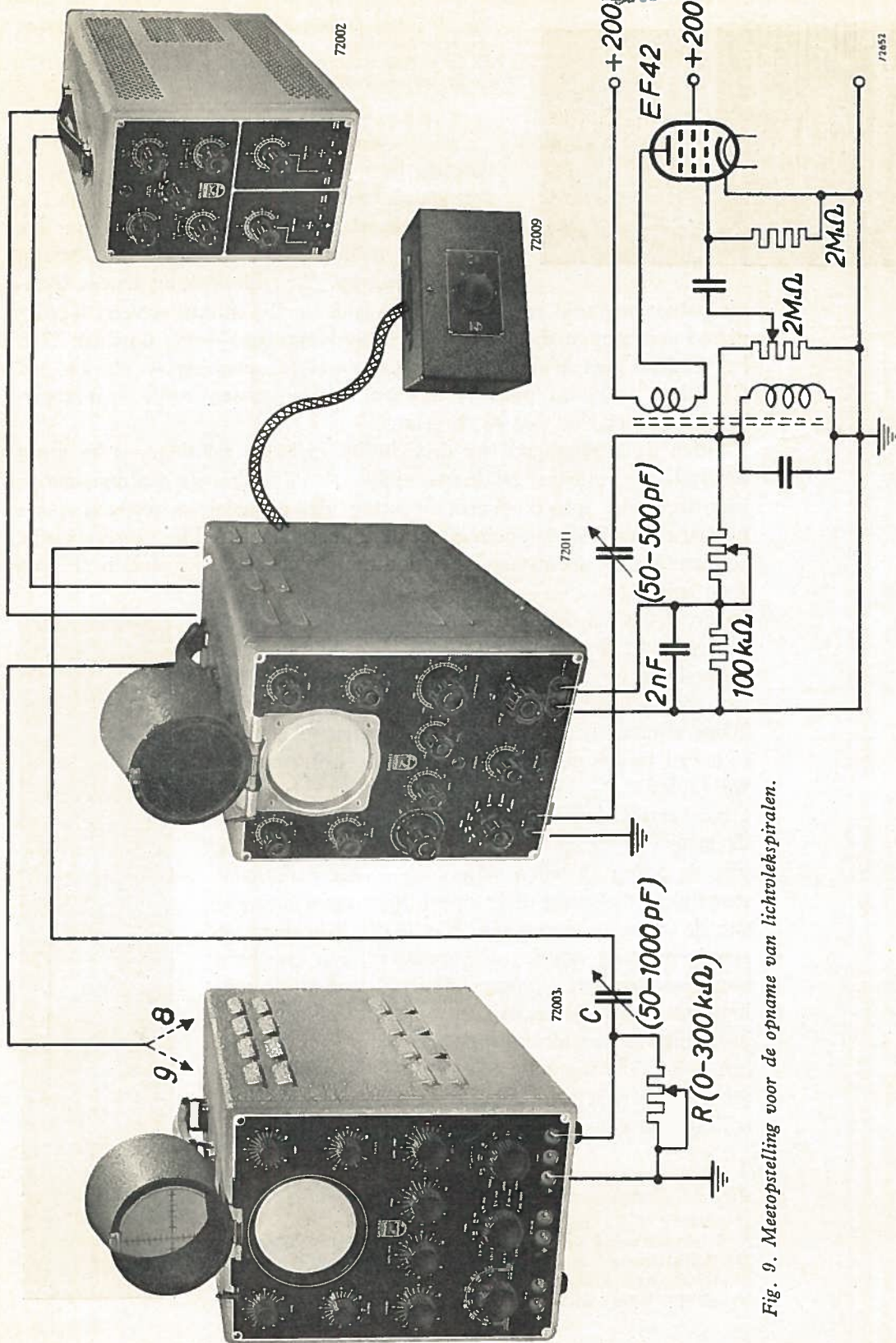


Fig. 9. Meetopstelling voor de opname van lichtleeksiralen.

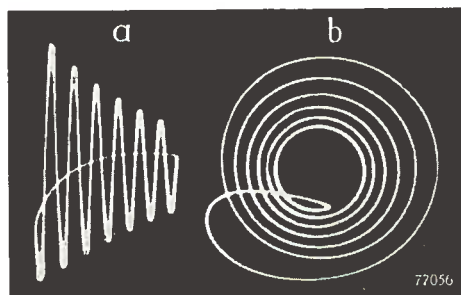


Fig. 10. Afbeeldingen van de verzwakkende trilling van een resonantiekring.

a) In carthesische coördinaten,
b) In polaire coördinaten.

vormige baan kan worden bereikt, heeft Blok (5) destijds al beschreven bij de meting van de schrijfsnelheid van electronenstraalbuizen. De gedempte trilling wordt verkregen met behulp van een electronische trillingskring die een span-

ningsstoot ontvangt en wordt via een zodanig RC-lid aan een stel afbuigplaten aangesloten dat een phaseverschuiving van -45° ontstaat. Aan het andere paar afbuigplaten wordt dezelfde spanning — nu via een CR-lid — $+45^\circ$ in phase verschoven, zodat tussen beide spanningen een fasenverschil van 90° bestaat.

Worden de afbuigingen van de lichtvlek in beide richtingen even groot ingesteld, dan ontstaat bij de spanningsstoot de figuur van een regelmatige logarithmische spiraal. Wordt de kring niet eenmaal aangestoten, maar bestaat er een losse koppeling met de tijdbasis door middel van een kleine condensator, dan ontstaan er periodieke stoten en een staand beeld van deze spiraal (6).

In fig. 9 is de schakeling weergegeven van de toestellen die voor dit doel zijn gebruikt. De trillingskring is aangesloten op de ingangsklemmen van de versterker van een oscillograaf. Hij ligt bovendien in de roosterkring van een pentode. In de anodekring hiervan bevindt zich een terugkoppelspoel, die met de kring spoel is verbonden *).

Door verandering van de potentiometer P_1 kan men de mate van terugkoppeling en daarmee de demping van de kring instellen. Hierdoor is het naderhand mogelijk, willekeurig dicht opeen liggende windingen van de spiraal te verkrijgen. Wordt nu de horizontale afbuigspanning van de oscillograaf via een regelbare koppelcondensator C_k (max. 500 pF) nog bij de trillingskring aangesloten, dan ontvangt deze bij een juiste instelling van de tijdrequentie en de meetversterker P_3 een periodieke spanningstoot. Er ontstaat dan op het scherm een enkelvoudig beeld van een verzwakkende trilling van een resonantiekring (fig. 10a).

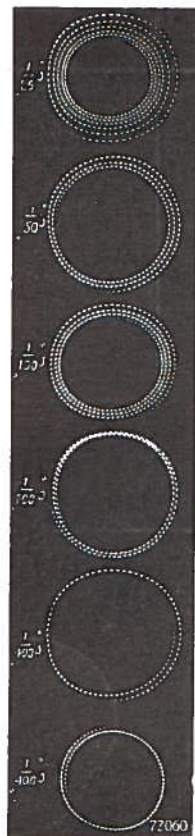


Fig. 11. Bepaling van de openingstijd met lichtvlekspiraal.

*) Hiervoor werd een gewone L.F. transformator toegepast. De zelfinductie van de trillingskring werd verkregen door de secundaire wikkeling; de primaire wikkeling deed als terugkoppelspoel dienst.

Nu schakelt men aan de achterzijde van de oscillograaf, want de tijdbasis werkt door! — de tijdbasisspanning van de afbuigplaat uit. Deze afbuigplaat wordt nu aan een uitgangsbuss van de versterker van de oscillograaf GM 3156 aangesloten. Aan de verticale ingangsbuss van deze oscillograaf wordt via een CR-lid de uitgangsspanning van de versterker van de tweede oscillograaf aangesloten. De spanning van de verzwakkende trilling van de meetkring komt daardoor nu ook aan de tijd-afbuigplaat van de laatstgenoemde oscillograaf. Door een juiste keuze van C en R en het willekeurig verwisselen van de versterkeraansluiting, kan nu tezamen met de fazeverdraaiing in de versterker de gewenste totale fazeverdraaiing van 90° worden verkregen. Men krijgt dan op het scherm het beeld van een regelmatige logaritmische spiraal (fig. 10b). Door verandering van P_3 kan de hoogte, en door instelling van de versterking in de GM 3156 de breedte van het beeld worden gewijzigd.

Men kan de koppellementen R en C het beste veranderlijk kiezen, opdat de symmetrie van het beeld gemakkelijk te regelen is.

Voor het onderhavige doel wordt de tijdspanningsfrequentie (die dus slechts voor de excitatie van de kring dienst doet) zó gekozen, dat slechts de buitenste windingen van de spiraal ontstaan, zoals in fig. 10b te zien is. Bij de binnenste, dicht op elkaar liggende windingen zouden de tijdpunten op een dergelijk klein oppervlak bijeen komen te liggen, dat zij niet te gebruiken zijn.

In fig. 11 zijn zes van dergelijke opnamen voor nominale belichtingstijden van $1/25$ sec tot $1/400$ sec weergegeven. Voor de straalmodulatie werd weer de uitgangsspanning van de electronenschakelaar GM 4581 gebruikt.

TABEL III. Meetresultaten met spiralen

Nominale sluitertijd		$\frac{1}{25}$	$\frac{1}{50}$	$\frac{1}{100}$	$\frac{1}{200}$	$\frac{1}{400}$	$\frac{1}{400}$	sec
Eigen frequentie van het circuit f_0		148	216	300	300	300	300	Hz
Modulatiefrequentie f_z		10	15	25	25	25	25	kHz
Punten in het beeld		371	322	263	161	99	102	—
Nominale sluitertijd		40	20	10	5	2,5	2,5	msec
Gemeten sluitertijd		37,1	21,5	10,5	6,5	4,0	4,1	msec
Opname-gegevens	Naversnelingsspanning	3	1	3	3	2	3	kV
	Diaphragma	4,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	—

Opnamemateriaal: Agfa-Superpan-Film 20/10⁰ DIN
Ontwikkeling: 6 Min. Tetanal Röntgen-Ontwikkelaar.

In *fig. 11*, eerste afbeelding („1/25” sec), kan men goed zien dat de intensiteitsregeling rechthoekig is *).

De resultaten van deze opname zijn in tabel III samengevat. Hieruit valt op te maken dat op deze wijze een haast onbegrensd nauwkeurige bepaling van de werkelijke sluitertijd mogelijk is.

Bij de tot dusverre beschreven methodes wordt slechts die baan van de lichtvlek geregistreerd, waarbij het licht van de vlek nog een voldoende zwarting van het negatief ten gevolge heeft. Daar men echter de fotografische omstandigheden zo moet kiezen, dat de baan tijdens de sterkste belichting precies goed (dus zonder overbelichting) wordt geregistreerd, kunnen deze opnamen geen bijzonderheden over het verloop van het openen en sluiten geven.

Zodra het openen en sluiten van de sluiters geschiedt in een tijd die zo kort is, dat hij in de orde van grootte van deze tijden komt, verschijnen ook de punten niet plotseling, maar geleidelijk, en verdwijnen op dezelfde wijze. Men kan er dan over aan het twijfelen raken, van welk tot welk punt men de eigenlijke openingstijd moet tellen. Zie hiervoor *fig. 5b*, *fig. 8* „1/400” sec, en in *fig. 11* de beide opnamen „1/400” sec.

Dergelijke methodes zijn vooral dan doeltreffend, wanneer het openen snel genoeg verloopt. Een duidelijk overzicht over de gehele werking van een sluiters geeft de hierna beschreven methode.

B. Meting met een lichtbron en een fotocel

In tegenstelling tot de vorige werkwijze kan men hier het best electronenstraalbuizen met een zo lang mogelijke nalichtperiode gebruiken (DN 9-3, DN 9-5, DN 10-3, DN 10-5 of DR 10-6). De totale schakeling van de hiervoor vereiste meetopstelling is in *fig. 12* te vinden; als oscillograaf werd weer de GM 3156 gebruikt.

Het licht van een met gelijkstroom gevoede autolamp (6 V, 30 W) L valt bij openen van de sluiters in de camera K op de fotocel P_h . De daardoor vrijgekomen fotostroom wekt in de anodeweerstand R_a een spanningsverschil op, die (aan de achterzijde van de oscillograaf GM 3156) aan de afbuigplaat van de electronenstraalbuis, wordt aangesloten. Als fotocel werd de hoogvacuumcel 3520 gebruikt, die een electrostatische electronenmultiplicator bevat. De afbuigspanning is hierbij zonder verdere versterking voldoende.

Omdat het hier een slechts éénmaal voorkomend verloop betreft, moet men ook een *enkelvoudige tijdafbuiging* toepassen. Hierbij is van de tweede in de gebruiksaanwijzing aangegeven mogelijkheid geprofiteerd, omdat een herhaling van de afbuiging niet wenselijk is.

Om de enkelvoudige tijdafbuiging zo vaak en snel mogelijk achtereenvolgend te

*) Door een kleine koppelcondensator tussen de electronenschakelaar en de aansluitbus voor de intensiteitsregeling kan men echter ook een differentiatie van de rechthoekspanning en daardoor *tijdpunten* verkrijgen.

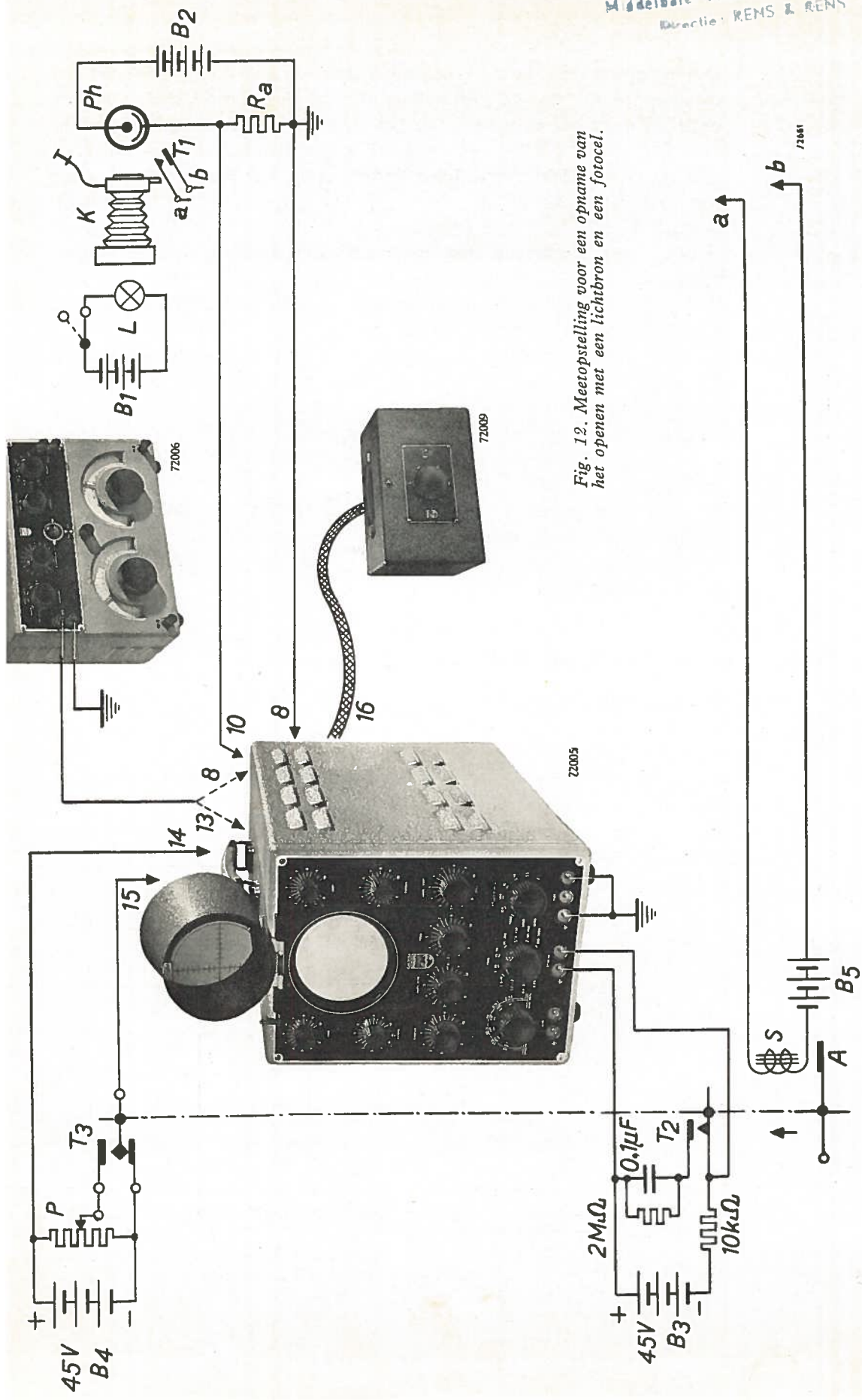


Fig. 12. Meetopstelling voor een opname van
 het openen met een lichtbron en een fotocel.

kunnen opwekken, zijn de synchronisatiebussen niet direct, maar via een condensator van $0,1 \mu\text{F}$ kortgesloten. Opdat deze condensator zich kan ontladen moet een weerstand van 1-2 megohm ermee parallel geschakeld zijn. Om verder bij het opnemen een voorafgaande belichting door de stilstaande lichtvlek te vermijden, is het nodig, dat men deze vlek door een extra spanning op de wehneltcilinder van de electronenstraalbuis onderdrukt. Pas kort voor de opname geeft men de lichtvlek de vereiste sterkte, zoals beschreven staat in de gebruiksaanwijzing van de oscillograaf.

Bij een juiste instelling van de afzonderlijke contacten moet bij het openen van de sluiters het volgende geschieden:

T_1 sluit — het relaisanker A komt op — T_3 veroorzaakt de lichtvlek — T_2 schakelt de tijdbasis in — en ten slotte wordt de sluiters geopend en begint de registratie van het beeld op het scherm. Zou er op het einde van de baan van de lichtvlek toch nog een ongewenste heldere punt ontstaan, dan kan men dit verhinderen door op het scherm een klein stukje papier te plakken.

Voor de juiste instelling van de relaiscontacten zijn overeenkomstig fijne regelmogelijkheden gewenst, omdat het anders moeilijk zou zijn, het beeld in het midden te plaatsen en ten behoeve van een nauwkeurige aflezing zo breed mogelijk te maken.

TABEL

Nominale sluitertijd		1		$\frac{1}{2}$		$\frac{1}{5}$	
Tijdbasisfrequentie		$f_z^*)$	$f_z^{**})$	$f_z^*)$	$f_z^{**})$	$f_z^*)$	$f_z^*)$
		25	30	50	60	125	10
Perioden aantal resp. punten gedurende de volle opening		28	36	25	34	32	22
Nominale openingstijd		1000 .		500		200	
Meetresultaat		1120	1200	500	567	256	22
Opname-gegevens	Naversnelingsspanning.	1	1	1	1	1	1
	Diaphragma opname-camera	16	11	16	11	11	4,5

*) Bij fig. 14 — Materiaal Agfa-Superpan 20/10° DIN } Ontwikkeling: 4 Min. A
 **) Bij fig. 16 — Materiaal Agfa-Ultra-Rapid 23/10° DIN } Röntgen-ontwikkelaar

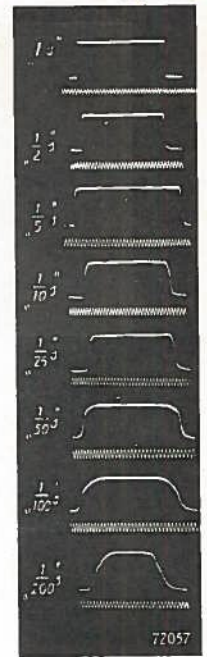
Fig. 13. Schermbeelden van het verloop van de opening met tijdlijnalen.

De sluiters van de registreercamera wordt op B gezet. Bij de opname wordt met de ontspanner van deze camera de sluiters geopend en dan bedient men de ontspanner van de registreercamera los, waarna de sluiters weer dicht gaat. In fig. 13 zijn op deze wijze verkregen opnamen van het openen gedurende verschillende tijden van de Compur sluiters van een vrij oude 9×12 cm Voigtlander camera weergegeven.

Dat de vorm van de openings- en sluitingskrommen afhankelijk is van de individuele eigenschappen van de sluiters, moge nog uit fig. 14 blijken. Hiervoor werd het openen bij een nominale belichtingstijd van 1/50 sec bij vrij sterke diafragmering opgenomen.

Samenvatting

In het eerste gedeelte van dit artikel zijn verschillende mogelijkheden aangegeven om door fotografische opname van een zo lang mogelijke



72057

etresultaten met Lichtbron en Fotocel

	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{25}$		$\frac{1}{50}$		$\frac{1}{100}$		$\frac{1}{200}$		sec
*)	$f_z^{**})$	$f_z^*)$	$f_z^{**})$	$f_z^*)$	$f_z^{**})$	$f_z^*)$	$f_z^{**})$	$f_z^*)$	$f_z^{**})$	Hz
0	250	625	600	1000	1000	2000	1500	2000	2000	
7	25	27	23	$25\frac{1}{2}$	24	26	18	18	21	—
	100	40		20		10		5		msec
8	100	43	38	$25\frac{1}{2}$	24	13	12	9	10,5	
	1	1	2	1	2	1	2	1	2	kV
	2,8	8	2,8	5,6	2,8	5,6	2,0	4,0	2,0	

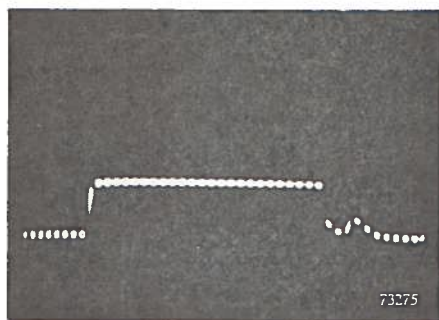


Fig. 14. Verloop van de opening met tijdmarkering voor „1/50” sec, gediafragmeerd.

baan van de lichtvlek op het beeldscherm van een electronenstraalbuis de werkelijke belichtingstijd zo nauwkeurig mogelijk te bepalen.

De in het tweede deel beschreven methode geeft een volledig overzicht van de werking van sluiters, waarbij men vooral ook een goed beeld krijgt van wat er gebeurt bij het openen en sluiten en in geval van onregelmatigheden. De meetnauwkeurigheid ter bepaling van de belichtingstijd is hierbij iets geringer dan bij de methodes die in het eerste gedeelte zijn aangegeven.

LITERATUUROVERZICHT

- (1) E. v. Angerer, *Wissenschaftliche Photographie*, derde druk, Akad. Verlagsgesellschaft, Leipzig 1943, pag. 98, *Zur Messung der Öffnungsdauer von Zentralverschlüssen*.
 - (2) W. Wilson, *The Cathode-Ray Oscillograph in Industry*, Chapman & Hall Ltd., London, *Timepieces*, pag. 112-113. Deze publicatie kwam de auteur van dit artikel pas kort voor de verschijning van dit nummer onder ogen. Naar zijn mening kan men hierbij geen al te hoge eisen stellen aan de practisch bruikbare nauwkeurigheid.
 - (3) G. A. Davies, *A Suggestion for an RC Audio-Oscillator*, R.S.G.B., Januari 1947.
 - (4) B. H. Briggs, *The Miller Integrator*, *Electronic Engineering*, Aug. Sept. Oct. 1948, pag. 243-247, 279-284 en 325-329. Bovendien: *Funk und Ton*, Nr. 12/1948, pag. 653-655.
 - (5) L. Blok, *Ein Gerät zur Messung der Schreibgeschwindigkeit von Kathodenstrahlröhren*, *Philips Technische Rundschau*, Juli 1938, pag. 221-224.
 - (6) J. Czech, *Darstellung abklingender Schwingungen als stehendes Bild auf der Kathodenstrahlröhre*, *VDI Zeitschrift*, 1940 (Bd. 84), nr. 5, pag. 83-85.
- Verder ook:
 Electronisch meten
 R. H. Papet, *De synchroon ontketende tijdasspanning van kathodestraaloscillografen en in het bijzonder:*
Over het oscillografieren van eenmalige verschijnselen, Jaarg. 2, nr. 3, pag. 2-16.

Middelbare Technische Radioschool
Directie: RENS & RENS

ELECTRONISCH METEN

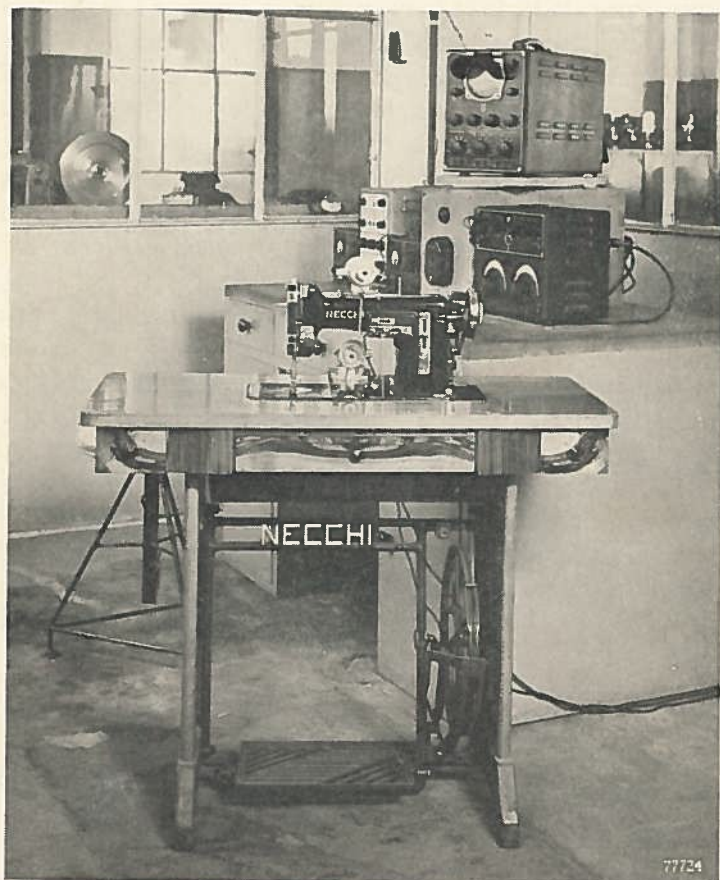
Middelbare Technische Radioschool
Directie: RENS & RENS

**HET GEBRUIK DER MODERNE
ELECTRONISCHE MEETAPPARATEN
IN LABORATORIA EN BEDRIJVEN**



JAARGANG 3

NUMMER 12



**Trillingsopnemer GM 5520, electronenschakelaar
GM 4580, electronenstraaloscillograaf GM 3156,
LF Generator GM 2307 voor het meten van tril-
lingen veroorzaakt door een draaiende machine.**

Door V. NECCHI S.T.C., Italië

Wat wordt verstaan onder balanceren

In elke machine waarin bewegende delen voorkomen treden trillingen op. In constructies streeft men er steeds naar deze trillingen tot een minimum te beperken enerzijds omdat zij onplezierige effecten veroorzaken (auto's, treinen, stoomschepen, vliegtuigen, naaimachines enz.), anderzijds omdat zij een storende invloed kunnen hebben op de werking. Zo kunnen bijv. bij snel-lopende machines (turbines, elektrische motoren, omvormers, vliegtuigmotoren) versnellingen optreden tengevolge van trillingen welke zulke hoge waarden aannemen dat zij de veiligheid in gevaar brengen. De studie van mechanische trillingen heeft een grote belangrijkheid gekregen en de stoot gegeven tot een uitgebreide ontwikkeling op dit gebied. Alhoewel, zoals gezegd, bewegende delen trillingen veroorzaken, is het bij vele constructies mogelijk deze delen zo te construeren dat de trillingen minimaal blijven.

Als door b.v. constructiefouten toch te grote trillingen optreden, dan is het mogelijk door het aanbrengen van extra massa's op de roterende delen de schadelijke invloed op de constructie te elimineren. Dit laatste noemt men balanceren en van het onderhavige geval nl. dat van een stijve rotor draaiende met constant toerental, zijn speciale machines ontworpen om dit snel en accuraat uit te voeren.

Om te begrijpen hoe dit mogelijk is zijn in Fig. 1a en 1b schijven afgebeeld, waarvan de draaiingsassen niet samenvallen met de geometrische assen. Men zal gemakkelijk kunnen begrijpen, dat door de ronddraaiende centrifugale krachten trillingen worden opgewekt in de lagers.

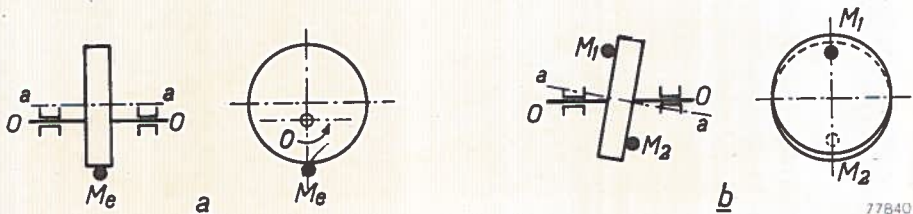


Fig. 1. Het balanceren van een roterende schijf welke onbalans vertoont.

Fig. 1a.

Schijf excentrisch draaiend om as $O-O$ parallel aan de symmetrie as $a-a$; M_e is de massa die moet worden toegevoegd voor het juiste balanceren.

Fig. 1b.

Schijf roterende om een as welke verdraaid is ten opzichte van de symmetrie as. Om te balanceren moeten de 2 massa's M_1 en M_2 worden toegevoegd.

Het is nu begrijpelijk dat men door het plaatsen van de juiste massa's op de juiste plaatsen de trillende krachten kan compenseren en een soepel lopen kan verkrijgen. In fig. 1 zijn de posities van de balanceer-gewichten aangegeven. In dit eenvoudige geval blijkt uit de berekening dat voor volledig balanceren het voldoende is slechts 2 massa's in de juiste positie te plaatsen. Balanceermachines voor stijve rotoren geven de plaats en het gewicht van de massa's die moeten worden toegevoegd.

Technische Radioschool
RENS & RENS

De meting van trillingen in naaimachines

Bij naaimachines en vooral die welke voorzien zijn van een centraal heen en weer gaand schietspoeltje, treden trillingen veroorzakende krachten op. Het is noodzakelijk elk mechanisme dat deze veroorzaakt te beschouwen. Zo kan b.v. gemakkelijk worden ingezien dat bij een naaimachine het mechanische van de spoeldrager, de naaldhouder, de draad wegnemer enz. bronnen kunnen zijn van belangrijke trillingen welke niet gebalanceerd kunnen worden op de eenvoudige wijze van fig. 1.

Dit probleem is van groot belang omdat deze trillingen onplezierig zijn voor degene die de machine hanteert terwijl hetgeen erger is — ook de kwaliteit van het naaiwerk erdoor wordt beïnvloed.

De technische literatuur is wat mechanische trillingen betreft zeer overvloedig, het bijzondere geval van het elimineren van trillingen in naaimachines wordt echter nooit genoemd. Dit probleem wordt hier aan een nadere beschouwing onderworpen.

In de eerste plaats is een electronische opstelling gemaakt voor het meten van de trillingen.

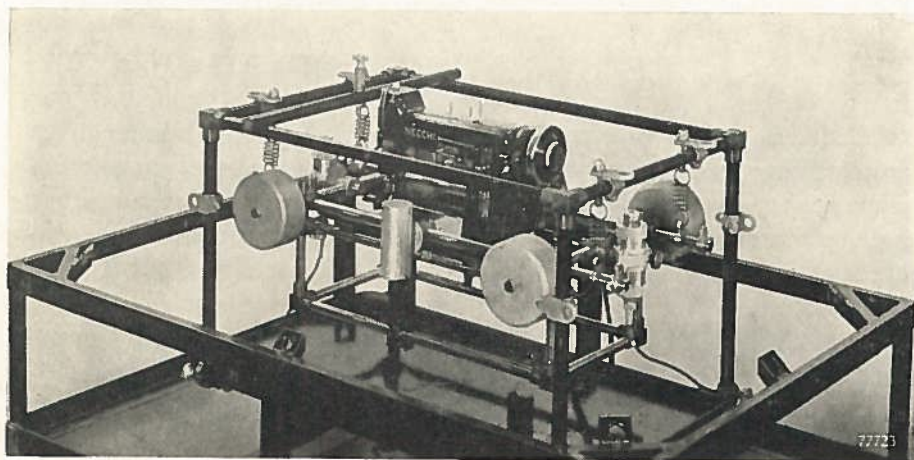


Fig. 2. Normaal frame en elektrische trillingsopnemer voor het meten van trillingen op een naaimachine.

Van technisch standpunt bekeken is het interessant de trillingen van een in normale omstandigheden werkende machine te meten (b.v. op een tafel), terwijl het theoretisch gezien noodzakelijk is de trillingen van de machine te kennen, onafhankelijk van de versterking verkregen door de tafel. Er is daarom op twee manieren gemeten, eenmaal rechtstreeks op de machine en een andere keer via de tafel.

De opstelling voor trillingsmetingen op de machine, in het vervolg steeds normale opstelling genoemd is de meest ingewikkelde. Hij bestaat (fig. 2) in principe uit een frame waarop de verschillende machines kunnen worden vastgezet. Het frame is voorzien van balansgewichten welke kunnen worden verschoven om er zeker van te zijn dat het systeem altijd dezelfde geometrische vorm en dezelfde technische eigenschappen behoudt, ondanks het onvermijdelijke verschil in de machines, die getest worden.

De theorie van de opstelling is in een ander artikel beschreven (1). Het is echter voldoende eraan te herinneren dat deze opstelling bedoeld is om trillingen aan de machine te meten welke opgewekt worden door de bewegende delen.

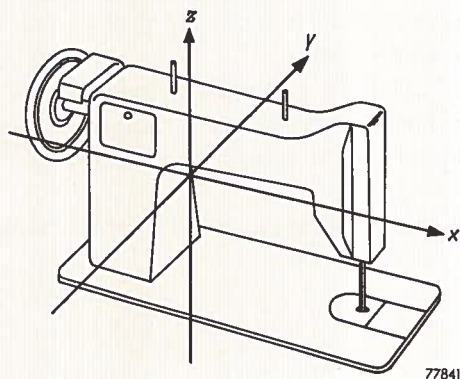


Fig. 3.

Bij huishoudelijke naaimachines van goede constructie (met uitzondering van zig-zag naaimachines), zijn de krachten in de richting parallel aan de as van het schietspoeltje (dus parallel aan as x van fig. 3) te verwaarlozen; de machines worden dus gekarakteriseerd door de trillende krachten in richtingen loodrecht op de genoemde as. Om een beeld van de trillingskrachten te krijgen is het

in zulk een geval aan te bevelen de krachten bij dezelfde snelheid in verschillende richtingen in het vlak $y-z$ te meten en deze op te tekenen in een polair trillingsdiagram. Bestudering van het trillingsdiagram van een machine geeft voldoende bijzonderheden om zijn gedrag te leren kennen en, hetgeen belangrijker is, het opent de mogelijkheid te onderzoeken hoe de machine veranderd zou moeten worden om eventuele schadelijke eigenschappen te elimineren.

De opstelling voor studie van een machine in normaal bedrijf is eenvoudiger. In principe is het noodzakelijk op de machine en op de tafel elektrische opnemers te plaatsen die de mechanische trillingen omvormen in elektrische spanningen die kunnen worden versterkt en zichtbaar gemaakt op het scherm van de electronenstraaloscillograaf.

¹⁾ Zie P. Sillano: Dispositivo aperiodico di misura degli squilibri di massa Rendiconte A.E.I. 1950. Nr. 137

Middelbare Technische Radioschool
Directie RENS & ZNNS

Electrische opnemers zoals deze door Philips op de markt worden gebracht zijn ontworpen en beschreven door J. Severs (2).

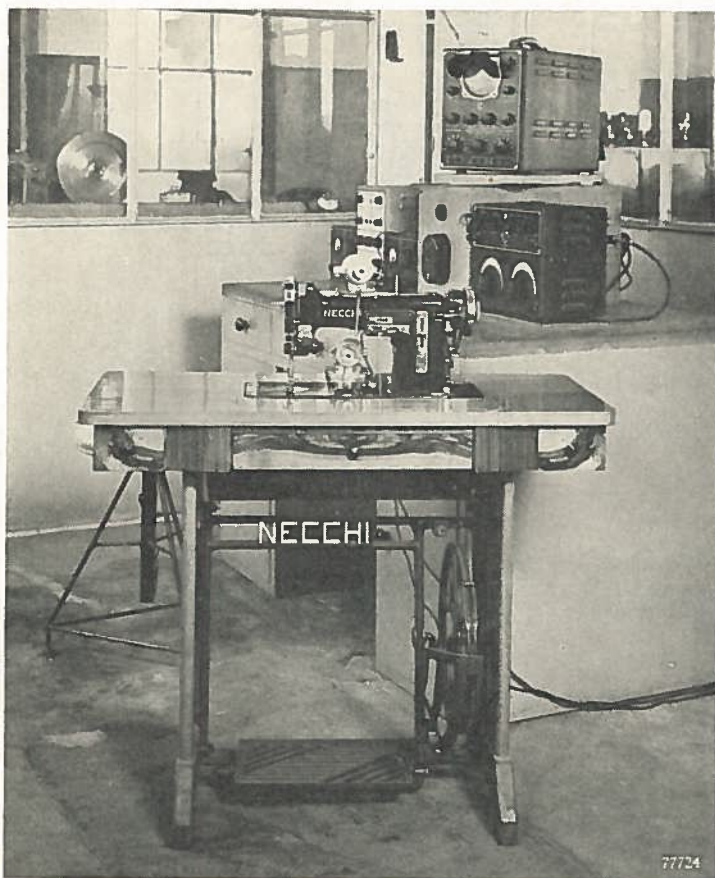


Fig. 4. Trillingsopnemer GM 5520, electronenschakelaar GM 4580, electronenstraal-oscillograaf GM 3156, LF Generator GM 2307 voor het meten van trillingen veroorzaakt door een draaiende machine.

Fig. 4 geeft een beeld van de meting op een trapnaaimachine in bedrijf. Er worden twee trillingsopnemers gebruikt, één op de machine en één op de tafel. De beelden van de trillingen van tafel en naaimachine kunnen nu via een electronenschakelaar tegelijkertijd op het scherm van één oscillograaf worden waargenomen. In fig. 5 is een blokschema van de meetopstelling getekend.

Het balanceren van naaimachines

In de eerste plaats is getracht de maximaal toelaatbare trillingsamplitude vast te stellen van tafels en de machines die hierop geplaatst worden. Boven deze limiet wordt het werken moeilijk.

²⁾ Philips Technisch Tijdschrift Aug. 1940, Art. J. Severs.

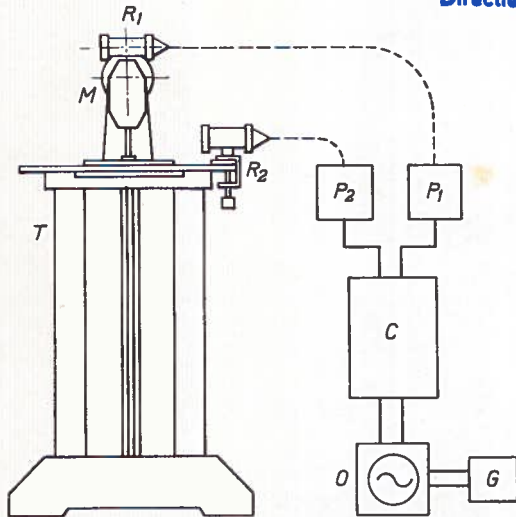


Fig. 5. Blokschema van de meetopstelling voor trillingsmeting voor de machine en tafel tegelijkertijd. R_1 en R_2 zijn de trillingsopnemers type GM 5520 bevestigd op de machine M en op de tafel T, deze opnemers kunnen in elke richting gedraaid worden. P_1 en P_2 zijn amplitudemeetkastjes type GM 5522, waarmee de amplitudes van de trillingen in micron bepaald kunnen worden. C is een electronenschakelaar (type GM 4580) met behulp waarvan op het scherm van de oscillograaf O tegelijkertijd het beeld van de trillingen van de tafel en de machine zichtbaar gemaakt kunnen worden. G is een nauwkeurige toongenerator bestemd voor de meting van de frequentie van de trillingen.

Daar de naaimachine zoals bekend, niet direct op de tafel wordt gemoniteerd, maar altijd via rubber ondersteuningsstukken, kan een grotere amplitude voor de machine worden verwacht.

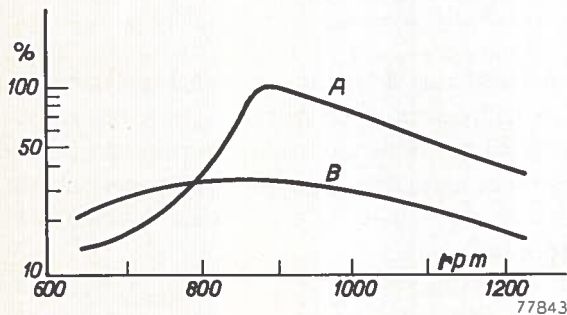
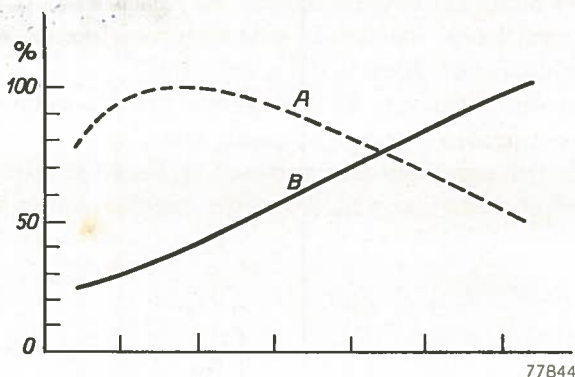


Fig. 6. Amplitude van de trilling als functie van de snelheid van dezelfde machine op twee verschillende tafels. Kromme A toont hoe een tafel de trilling versterkt. Kromme B toont het verloop van de trillingen op dezelfde tafel na correctie met trillingsdempende materialen.



Middelbare Technische Radioschool
Directie: RENS & RENS

Fig. 7. Kromme A toont de amplitude van de trilling van de machine, kromme B de amplitude van de trilling van de tafel bij verschillende hardheden van het rubber dat gebruikt werd voor ondersteuning van de machine.

Omdat anders het werken ongemakkelijker wordt mag de tafel nergens een grotere trillingsamplitude vertonen dan 0,25 mm terwijl de machine, in het midden van de arm op de plaats waar in fig. 4 de opnamer is aangebracht in alle richtingen geen grotere trilling mag hebben dan de dubbele amplitude (0,50 mm)

Er dient opgemerkt te worden dat op de plaats waar genaaid wordt de trillingsamplitude van de machine bijna dezelfde is als die van de tafel. Ten tweede is er een trillingsniveau vastgesteld als norm voor de gefabriceerde machines. Dit mag niet worden overschreden en hiervan is ongeveer de helft van de genoemde waarde genomen b.v. 0,15 mm voor de tafel en 0,30 mm voor de machine.

Om dit uitstekende resultaat te bereiken is het noodzakelijk op twee punten te letten:

a) De tafel. Vermeden zal moeten worden, dat deze de trillingen van de machine kan versterken.

Het is duidelijk dat de vorm van de tafel hierbij een belangrijke rol speelt. Resonanties kunnen optreden met de trillingsbewegingen van de machine.

In fig. 6 is de trillingsamplitude als functie van de snelheid van dezelfde machine uitgezet op twee verschillende tafels. Het is duidelijk dat er in een van de tafels resonanties optreden die de trilling buiten de toelaatbare grens brengen.

Belangrijk is de keuze van de rubbersteunen. Een voorbeeld is gegeven in fig. 7 waarin een grafiek de maximale trillingsamplitude is uitgezet van dezelfde machine bij dezelfde vorm van de rubbersteunen, terwijl alleen de hardheid van de rubber gewijzigd is.

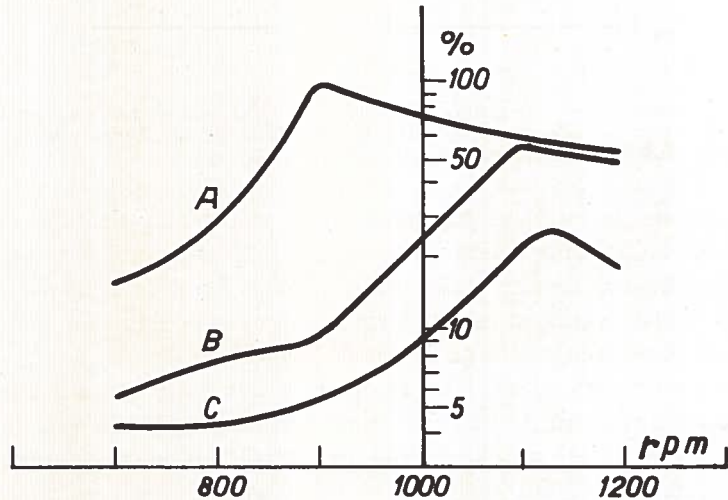
De tafel mag dus nooit de bewegingen door de machine opgewekt versterken doch indien mogelijk moeten deze trillingen door de tafel verzwakt worden.

b) Trillingen veroorzaakt door de machine.

Hiervoor is het nodig het trillingsdiagram op te stellen en indien dat niet de gewenste vorm heeft, moeten de balancergewichten op de berekende plaatsen op de draaiende delen worden bevestigd.

De waarde en de plaats van de bewegende massa's kunnen eenvoudig uit de gemeten waarden worden berekend (zie (1)).

Fig. 8 geeft de trillingsamplitudes gemeten op dezelfde tafel (uit de normale standaardproductie) en van eenzelfde machine echter voorzien van



77845

Fig. 8. Amplitude bij verschillende snelheden van dezelfde machine: A voor het balanceren, B gedeeltelijk gebalanceerd, C geheel gebalanceerd.

verschillende balancermassa's. De kromme A is gemeten aan een machine die nog niet is gebalanceerd, de kromme B heeft betrekking op dezelfde machine voldoende gebalanceerd om de trilling tot op een acceptabele grens te verminderen, de kromme C is die van een machine welke zeer goed is gebalanceerd.

Conclusie

De beschreven opstellingen veroorloven elk trillings-probleem bij naai-machines op te lossen en zijn daarom kostbare en niet te vervangen hulpmiddelen. Elk prototype kan nauwkeurig uitgebalanceerd worden.

Daar de meting in een zeer korte tijd kan worden uitgevoerd is deze methode zeer geschikt om systematische steekproeven van machines en tafels uit te voeren.

Dit waarborgt dus dat de normale productie dezelfde goede eigenschappen bereikt als de betreffende prototypes welke uitstekend gebalanceerd zijn.

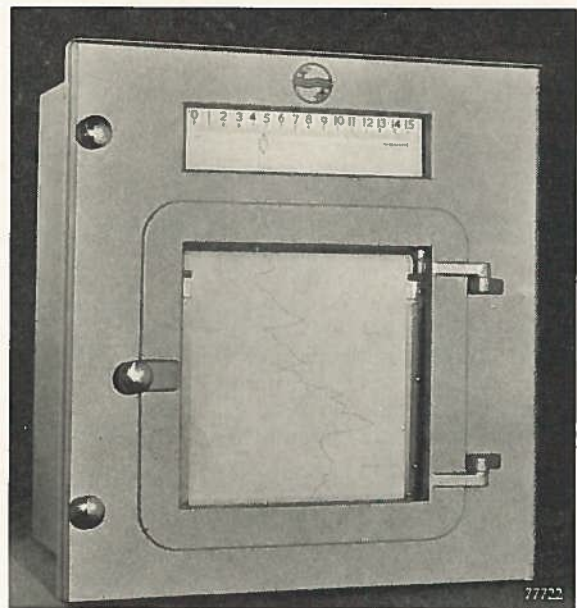


Fig. 1

Algemeen principe

De nieuwe Philips registrerende mV-meter (fig. 1) is een compensator, die met behulp van een electronisch servosysteem automatisch in evenwicht wordt gebracht en gehouden.

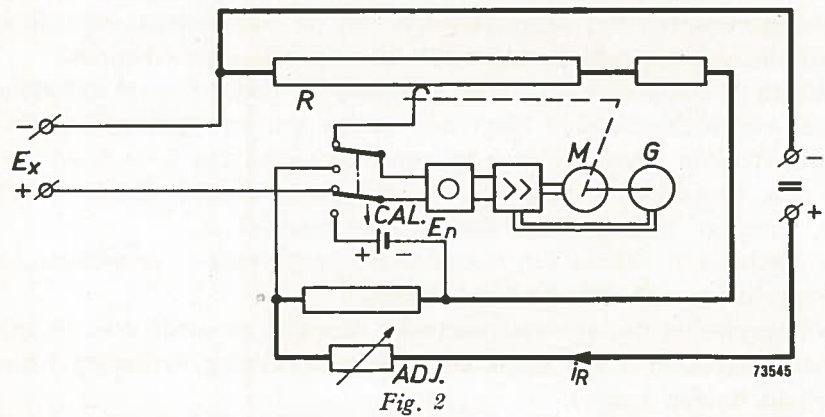


Fig. 2

In fig. 2 is een prinsipeschema van het apparaat getekend. De onbekende spanning E_x wordt vergeleken met de bekende spanningsval over de rechte staafpotentiometer R . De eventueel aanwezige verschillingspanning wordt door de robuuste trilleromvormer O omgezet in een wisselspanning, die door de electronische versterker vele malen wordt versterkt en dan toegevoerd aan de servomotor M . Het schuifcontact van de potentiometer R is mechanisch gekoppeld met de servomotor M , die dit schuifcontact in een

zodanige richting zal verplaatsen, dat de beide spanningen gelijk aan elkaar worden. De staafpotentiometer R_s die nauwkeurig lineair gewikkeld is, wordt gevoed met een kleine gestabiliseerde gelijkstroom i_R . De stroom kan met behulp van het normaal element E_n geijkt worden. De spanningsval over de meetpotentiometer is dus steeds nauwkeurig bekend en kan op een rechte lineair verdeelde schaal er boven afgelezen worden.

De damping van het meetsysteem wordt tot stand gebracht met behulp van een tachogenerator G , die gekoppeld is met de servomotor. De opgewekte, met de snelheid evenredige spanning wordt teruggevoerd naar de ingang van de versterker. Door de regeling van de versterkingsfactor van de versterker kan de juiste instelling van de damping bereikt worden, waardoor de verplaatsing van de wijzer kritisch gedempt wordt. Met deze methode is een buitengewoon hoge aanwijssnelheid verkregen, namelijk 1 seconde over de gehele schaallengte van 25 cm.

Het meetgebied wordt bepaald door de waarden van de weerstanden R (zie fig. 2). Hierdoor kan ook gemakkelijk een onderdrukt nulpunt worden verkregen met behoud van de lineaire schaal. Het kleinst mogelijke meetgebied wordt bepaald door de aanspreekgevoeligheid van het servosysteem. De eis wordt namelijk gesteld, dat bij een miswijzing van 1% van de volle schaal de verschilspanning voldoende is om na versterking de motor te doen draaien. Hieruit volgt dat het kleinste meetgebied $1000 \times$ de aanspreekgevoeligheid van het servosysteem bedraagt.

Eigenschappen

Door het toepassen van het boven beschreven meetprincipe en door het volledig benutten der mogelijkheden van de electronische versterkers, heeft de registrerende compensator de volgende eigenschappen:

Dank zij de compensatie methode geschiedt de meting vrijwel stroomloos. In de evenwichtstoestand loopt nog slechts een zeer geringe stroom in het meetcircuit (circa $5 \cdot 10^{-9}$ A bij een meetgebied van 0 — 5 mV).

Bij deze stroomloze meting zijn de leidingsweerstand en minder belangrijk, waardoor meting op geruime afstand mogelijk is.

Door gebruik te maken van electronische versterking is de aanspreekgevoeligheid van het servosysteem maximaal 5 μ V.

Door toepassing van electrodynamische damping en mede door de grote versterkingsfactor is een snelle en stabiele aanwijzing verkregen (instelsnelheid binnen 1 sec.).

Een hoge meetnauwkeurigheid kan gerealiseerd worden, daar deze groten-deels bepaald wordt door de nauwkeurigheid en stabiliteit van de precisie-weerstanden. Deze meetnauwkeurigheid bedraagt dan ook $\frac{1}{4}\%$ van de volle schaal.

Daar de meetwijzer door het servosysteem met grote kracht (300 g) in de evenwichtsstand wordt gehouden, is het apparaat ongevoelig voor mechanische schokken en trillingen.

Direct boven de rechte, 25 cm lange potentiometer kan een grote duidelijk afleesbare schaal aangebracht worden.

De registratie vindt plaats op een 25 cm brede papierstrook, die door een glazen venster goed zichtbaar is.

Door middel van wisselwielen kan men 4 verschillende papiersnelheden instellen (20, 80, 240 en 1200 mm/h).

Middelbare Technische Radioschool
Directie: RENS & RENS

Toepassingsgebieden

Met deze elektronische registrerende compensator is het mogelijk om naast kleine gelijkspanningen ook gelijkstroompjes te meten en te registreren. In dit laatste geval meet men de spanningsval over een nauwkeurig bekende weerstand.

Op de volgende gebieden heeft de PR 2000 M/00 zich al doen kennen als een uitstekend hulpinstrument om de uiteindelijke resultaten te meten en op papier vast te leggen:

Lichtintensiteitsmetingen, Photospectrografie,
Infrarood spectrografie, Polarografie,
Differential Thermo Analyse, Radio-astronomie,
Massaspectrografie.

Hiernaast bestaan er nog talloze problemen in laboratoria en ziekenhuizen waarbij gelijkspanningen en gelijkstromen optreden en de mV-recorder onschatbare diensten kan bewijzen.

Beschrijving van een toepassing

Als voorbeeld van een toepassing volgt hieronder een beschrijving van het principe van de aanpassing van een mV-recorder aan een spectrograaf waarin een photo-multiplier gebruikt wordt als detectie-element (fig. 3).

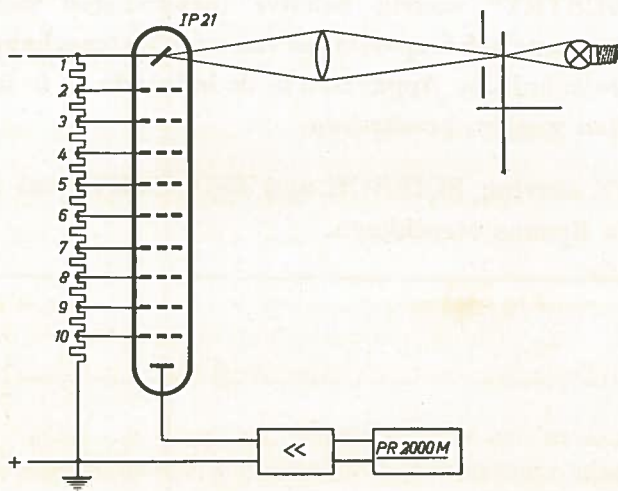


Fig. 3

De lichtenergie, die op de kathode valt maakt hier enige electronen vrij. Door middel van secundaire emissie wordt deze stroom in IP 21 $2.000.000 \times$ versterkt in de volgende 9 dynode-trappen en vervolgens aan de anode toegevoerd.

De afgifte van de anode ligt meestal in het gebied $10^{-9} - 10^{-6}$ A. In verband met de reststroom van de mV-recorder in de evenwichtsstand, kan deze dus niet direct aangesloten worden op de photo-multiplier. Bovendien moeten meestal bijzondere maatregelen genomen worden om een gunstige signaal-ruis-verhouding te verkrijgen.

Men bereikt dit meestal op de volgende wijze. Door middel van een getande roterende schijf wordt de lichtstroom periodiek onderbroken, hierdoor geeft de photo-multiplier een wisselstroom af (bv. met een frequentie van 800 Hz). In een speciale selectieve versterker wordt deze stroom 100 — 1000 maal versterkt en na gelijkrichting toegevoerd aan de mV-recorder. Door de selectieve versterker is de op de recorder geregistreerde ruis tot een minimum beperkt.

De geregistreerde curve geeft meestal het beeld van een frequentie spectrum. Een aanduiding van de frequentie-verdeling in het spectrum kan men bereiken door periodiek korte spanningsimpulsen toe te voeren aan de ingang van de mV-recorder. Deze spanningsimpulsen kunnen b.v. verwezenlijkt worden doordat de as waarmede het prisma van de spectrograaf wordt versteld, periodiek een contact sluit. Hierdoor verkrijgt men periodieke referentiepunten in de geregistreerde kromme.

Wij berichten onze lezers, dat dit nummer van „ELECTRONISCH METEN” het laatste is, dat in deze vorm verschijnt.

Beschrijvingen van toepassingen van onze Meetapparaten zullen voortaan worden opgenomen in onze uitgave „NIEUWS VOOR DE BEDRIJVEN”.

INHOUD

Het balanceren van naaimachines	2
Electronische registrerende compensator PR 2000 M/00	9