

4

*L. H. M. Huydts*

# DE ELECTRONICA ALS HULPVAK VOOR METINGEN EN WETENSCHAPPELIJKE ONDERZOEKINGEN.

REDE

UITGESPROKEN BIJ DE AANVAARDING  
VAN HET AMBT VAN GEWOON HOOG-  
LEERAAR IN DE ELECTROTECHNIEK AAN  
DE TECHNISCHE HOOGESCHOOL TE  
DELFT OP WOENSDAG 10 APRIL 1946

DOOR

IR. L. H. M. HUYDTS

DELFTSCHE UITGEVERS MAATSCHAPPIJ DELFT

1946

# DE ELECTRONICA ALS HULPVAK VOOR METINGEN EN WETENSCHAPPELIJKE ONDERZOEKINGEN.

REDE

UITGESPROKEN BIJ DE AANVAARDING  
VAN HET AMBT VAN GEWOON HOOG-  
LEERAAR IN DE ELECTROTECHNIEK AAN  
DE TECHNISCHE HOOGESCHOOL TE  
DELFT OP WOENSDAG 10 APRIL 1946

DOOR

IR. L. H. M. HUYDTS

DELFTSCHE UITGEVERS MAATSCHAPPIJ DELFT

1946

*Edelgrootachtbare Heeren, Leden van het College van Herstel, Hooggeleerde Heeren Professoren, Dames en Heeren Lectoren, Privaat-Docenten, Assistenten en Studenten der Technische Hoogeschool en voorts Gij allen, die van Uwe belangstelling in deze plechtigheid blijk geeft, door Uwe aanwezigheid alhier.*

*Zeer geachte Toehoorderessen en Toehoorders,*

Aan het begin van deze eeuw kwam het vrije electron door nieuw verworven inzicht in groote mate in de belangstelling te staan van physici en technici en dit had het gevolg dat in een relatief korten tijd een haast verbijsterenden vloed van toepassingen tot ontwikkeling werd gebracht.

Het geheel van toepassingen dat berust op apparatuur waarin electronen overgang, electronenstraling, aan de orde is wordt steeds meer aangeduid met den naam „electronica”.

Voor ik kom tot enkele beschouwingen over „de electronica als hulpvak voor metingen en wetenschappelijke onderzoekingen” lijkt het mij dienstig een schets te geven van de hoofdlijnen waarlangs de ontwikkeling van de electronenbuis met zijn entourage van schakelingen zich voltrok.

Ruim 40 jaar geleden publiceerde Fleming de constructie van een detector voor radiosignalen, die op het in 1884 door Edison aangegeven effect berustte, waarbij in een geëvacueerde lamp stroomovergang plaats vond van den gloeidraad, de kathode, naar een aparte electrode, de anode.

Deze detector volgens Fleming was een verbetering t.o.v. de toen gebruikte typen en werd door Marconi voor radio ontvangst geadopteerd.

Door Fleming zijn allerlei variaties op zijn detector geprobeerd; o.a. bracht hij twee anoden aan weerszijden van den gloeidraad aan, een stap die direct had kunnen leiden tot het ontstaan van de versterkerlamp. Een stuk nader hiertoe kwam

Lee de Forest, die in 1907 een constructie aangaf waarbij tusschen gloeidraad en anode een derde electrode, het z.g. rooster was geschoven, die bestond uit een zig-zag vormigen draad.

In de schakeling van Lee de Forest werd het te detecteeren radiosignaal tusschen gloeidraad en rooster aangebracht en de af luistertelefoon in serie met een batterij in de anodeketen opgenomen. Het op deze wijze verkregen resultaat was opmerkelijk goed.

Door de beide genoemde pioniers is er een felle strijd gevoerd over het al of niet principieele verschil in hun beider detectie methoden. Ondanks dezen strijd kwam het belangrijke feit, dat de bijzondere constructie met drie electroden in de schakeling van Lee de Forest in wezen een effectvolle versterker beduidde, aanvankelijk minder op den voorgrond.

Omstreeks 1912 was het versterkersbegrip in zijn eenvoudigsten vorm aan diverse eminente werkers duidelijk geworden en kwam op dit beginsel gebaseerd een lawine van octrooi-aanvragen aan het rollen, waardoor op radiogebied en min of meer op het geheele gebied der electrotechniek een nieuw tijdperk werd ingeleid, dat der electrotechnica!

Hiermede wil ik het woord electronica niet uitsluitend koppelen aan het electronisch relais. Ruimer genomen heeft het woord betrekking op die technische apparatuur, waarbij een stroom van vrije electronen op de een of andere wijze bestuurd wordt. Het omvat dan ook de kathodestraal-oscillograaf met zijn toepassingen voor televisie, radar en wetenschappelijk onderzoek, het magnetron en vele andere instrumenten.

De vrijmaking van de electronen uit vaste stoffen, die voor het transport dienen van b.v. de kathode naar een electrode met hooger potentiaal, kan verkregen worden door een electrisch veld met grooten gradiënt, door licht, door botsing van electronen of door warmte.

Deze diverse mogelijkheden hebben in de techniek tot velerlei uitvoeringen geleid. De bevrijding van electronen door botsing, de z.g. secundaire emissie, gaf het aanzien aan de multiplicatorbuis waarbij een meer dan honderdduizendvoudige versterking verkregen kan worden.

De meest voorkomende en bekende methode voor bevrijding van electronen is die door verhitting van de kathode; het emissie materiaal is vrijwel steeds wolfram of een laag van barium of een laag van strontium oxyde.

Stelt men zich de vraag waarom het electronentransport speciaal voor technische doeleinden zoo groote beteekenis heeft gekregen, waarom bij versterkerbuizen, na het door Langmuir gegeven inzicht, door het toepassen van een hoog vacuum van stroomovergang door ionen is afgezien of waarom na zijn ontstaan de electro-mechanische versterker vrijwel in vergetelheid verzonken is, dan is een kort antwoord daarop, dat bij het electron de verhouding van de electriche lading en de massa een extreem groote waarde heeft.

Een eerste gevolg van deze groote soortelijke lading is, dat met behulp van zwakke electrostatische of magnetische velden relatief groote invloed kan uitgeoefend worden op de intensiteit van de electronenstroom of op zijn richting. In de tweede plaats is het van belang, dat een versnellingsveld van de anode ook bij lage spanningen groote snelheden veroorzaakt, waardoor de looptijd van de electronen zeer klein blijft; hinder van looptijd effecten treedt pas bij zeer hooge frequentie op. Vergeleken bij andere stuurmethoden leerde men in het electronenrelais een type kennen dat practisch traagheidsloos functioneert met als resultaat een zeer uitgebreid toepassingsgebied.

Tenslotte hangt de bijzondere voorkeur voor zuiver electronentransport nog samen met de mogelijkheid om de besturing van den stroom vrijwel energieloos te maken. Past men n.l. electrostatische stuuerelectroden toe met een negatieve instelling t.o.v. de kathode, dan zullen door afwezigheid van ionisatie, dus bij hoogvacuum buizen, deze electroden bij beperkte opgelegde spanningswisselingen geen electronen opvangen. Er treden alleen laadstromen op, waarmede geen vermogen gemoeid is, en deze stroomen zijn door de geringe waarden van de capaciteit bovendien zeer klein.

De zeer groote versterkingsmogelijkheden die door de cascadeschakeling in meerdere trappen in het vooruitzicht waren gesteld, werden bij de toepassing zeer gehinderd door terug-

werking van de versterkte spanning op de voorafgaande keten. In de versterkerbuizen is er eenige capacatieve koppeling tusschen de ingaande en uitgaande keten, die in de schakeling aanleiding geeft tot ongewenscht genereeren.

Men kwam hieraan tegemoet door neutraliseering en door genoeg te nemen met beperkte versterking per trap.

Een principieele verbetering der buisconstructie loste deze kwestie grootendeels op door tusschen de ingaande keten, het stuurrooster, en de uitgaande keten, een schermrooster met positieve potentiaal aan te brengen, waardoor de gewraakte koppelcapaciteit met rond het duizendvoudige verlaagd werd. Op dit principe gebaseerd ontstonden de penthoden, waarbij nog een extra electrode met nulpotentiaal hinder door secundaire emissie voorkomt.

De versterkingsfactor van de penthodebuizen kan 5000 bedragen, de werkelijke versterking per trap is meestal niet meer dan het 200-voud; met twee spanningsversterkingstrappen in cascade is een 40.000-voudige versterking te bereiken en kan een ingaande spanning van 1 millivolt op 40 volt gebracht worden.

Zooals reeds terloops werd opgemerkt treedt een begrenzing van de gunstige eigenschappen der electronenbuizen op bij zéér hooge frequenties en wel bij dezulke, die overeenkomen met meter tot millimeter golflengten. In het laatste decennium is een verdere uitbreiding ook in deze gebieden verkregen.

Aanvankelijk gelukte dit door verkleining van de constructieafmetingen waardoor de loopweg van de electronen verkleind werd; hierdoor ontstonden electronenbuisjes met een volume in de grootte orde van  $\text{cm}^3$ , een afmeting die ook voor andere doeleinden aantrekkelijkheid bleek te hebben.

Uitbreiding der toepassingen tot in het c.m. en m.m. gebied is van recenten datum en heeft speciaal door oorlogsbehoefte een merkwaardig snelle ontwikkelingsgang doorlopen, waarbij o.a. voor het clistron en magneton verbluffend eenvoudige constructieve oplossingen zijn gevonden.

Alhoewel er uit combinaties van electronenbuizen en schakelingen legio toepassingen zijn gegroeid, zijn deze op slechts weinig nieuwe ideëen gebaseerd.

De kern van het nieuwe was het electronenrelais, dat een gelijkstroom energiebron beïnvloedde. Dit was reeds bij de detectie inrichtingen van Fleming en de Forest aanwezig, maar kwam als zoodanig niet duidelijk op den voorgrond. Aan de hand van de door deze pioniers gestelde voorbeelden groeide echter in een vijftal jaren het inzicht in het wezen van de relaisfunctie en dit kristalleerde uit in een aantal maatgevende vindingen.

Uitgaande van de relaisfunctie kwam men tot het versterkerprincipe in een schakeling, waarbij spanningsveranderingen in de stuurketen van het relais stroomveranderingen in de keten van de energiebron opleverden met groote winst aan vermogen bij de overbrenging. Deze vergrooting heeft in eerste benadering een liniair karakter.

Een verdere consequentie van de relaisfunctie leidde tot het generatorprincipe. Bij de schakelingen die hierop berusten wordt de energiebronketen van het electronenrelais op geschikte wijze met de stuurketen gekoppeld. Er kunnen dan continuë trillingen in het systeem ontstaan die sinusvormig, rechthoekig, zaagtandvormig, stootsgewijze of anderszins verlopen.

Beide typen van schakelingen hebben ieder een ongekend groot gebied voor technische toepassingen gevonden.

Een mechanische analogie voor de genoemde relaisfuncties kan men o.a. afleiden uit de constructie van den stoomhamer, waar de overeenkomstige elementen zijn het stuurhandle met de stoomschuif, de hamer en de stoomenergiebron. Ook hier kan men geringe verplaatsingen van het stuurhandle op ver-groote wijze door den hamer doen volgen; eveneens is het mogelijk door den hamer op bepaalde wijze met het handle te koppelen een automatisch heen en weer bewegen in te stellen. Aan de hand van vergelijkingen met mechanische of electro-mechanische relais is licht in te zien, dat het electronenrelais grootere perspectieven oplevert daar de eerste door traagheidswerking aan lage frequenties, aan beperkte snelheidsveranderingen gebonden zijn.

Vervolgen wij de verdere technische ontplooiing van de versterkerschakeling dan was de volgende stap vooruit, dat geringe spanningsveranderingen in opvolgende trappen door

het in cascade schakelen van meerdere buizen versterkt werden.

Diverse octrooien gaven een reeks geëigende middelen aan om cascadeversterking voor laag- en hoogfrequente trillingen in te richten. Over de prioriteit van de vindingen, die hierop betrekking hadden, en over de billijkheid van verleende octrooien, is veel te doen geweest.

Dat de octrooistrijd met groote felheid gestreden is houdt verband met de groote commercieele belangen, die voor opkomende en bestaande bedrijven op radio- en ander gebied in het geding waren. Deze strijd leidde er toe, dat in verscheidene landen sterke monopolistische situaties groeiden met het groote nadeel der exclusiviteit, waar tegenover staat dat een aantal grootindustrieën ontstonden, die uitgerust met imponeerende laboratoria, een snelle en rationeele ontwikkeling van de buizen- en radiotechniek hebben mogelijk gemaakt.

Het opvoeren van de grootte van de versterking door de cascadeschakeling leek aanvankelijk onbeperkt en daadwerkelijk is daarin ook het verbazingwekkende bereikt, zóó dat het profetisch woord van Barkhausen, dat met versterkerbuizen de groei van het gras zou kunnen hoorbaar gemaakt worden, met moderne apparatuur gemakkelijk waar te maken is. Uiteindelijk is gebleken, dat door de natuur een benedenste grens bepaald is voor de grootte van spanningsveranderingen, die nog goed waarneembaar kunnen gemaakt worden. In de geleiders treden ladingsverschijnselen op van een onregelmatig karakter, die samenhangen met de warmte beweging en verder speelt de discontinuë aard van het electronentransport in de buizen zelve een rol.

Hoe beperkter het frequentiegebied van het te versterken signaal is, des te grooter is de versterking die kan toegepast worden.

Bij het opvoeren van de amplitude van de te versterken grootheden of ook bij vaak herhaalde versterking, zooals voorkomt bij telefonie over groote afstanden, moet aandacht geschonken worden aan het probleem der conformiteit.

De electronenbuizen werken slechts in beperkte mate lineair, afgezien nog van de toegepaste schakelementen, die ook aan-



leiding tot vervorming kunnen geven. Aan den eisch van vormgetrouwe weergave kwam men o.a. tegemoet door bijzondere constructies van eindbuizen en door het toepassen van in balansgeschakelde versterkertrappen.

Uiteindelijk is het probleem op meer principieele wijze opgelost. In 1926 duidde n.l. een Fransch octrooischrift en kort nadien een Nederlandsch, van ir Posthumus, op de beteekenis van het gedeeltelijk terugvoeren van de versterkte spanning in z.g. tegenkoppeling naar de ingaande keten.

In den versterker ontstane vervorming kan men op deze wijze rigoureuus onderdrukken, zij het, dat het op kosten van de grootte van de versterking geschiedt. Een bezwaar behoeft dit niet te zijn, daar men het in de hand heeft een extra versterkertrap in te lasschen om het gestelde doel te bereiken. Het principe van den tegengekoppelden versterker is omstreeks 1930 in Amerika door Black op fraaie wijze in een aantal octrooien nader uitgewerkt en door Nyquist werd het inzicht in deze materie verruimd door het stellen van een criterium waaruit volgde, onder welke voorwaarden teruggekoppelde versterkerschakelingen stabiel zijn.

De toepassing van tegenkoppeling bij versterkers leidde praktisch niet alleen tot de oplossing van het liniariteitsprobleem doch tevens tot vèrgaande stabilisatie van buisschakelingen, die zoo effectief kan wezen dat ze bij precise meetapparatuur bruikbaar is.

Door terugkoppeling in een versterker wordt een in zich gesloten relais circuit gevormd en dit was, maar dan met z.g. meekoppeling, het uitgangspunt van de generatoren voor continuë trillingen

De ontwikkeling van toepassingen, die op het generatorprincipe berusten valt vrijwel samen met die van de versterkers. Het was de Oostenrijker Siegmund Strauss, die in 1912 een octrooi indiende, waarin het voortbrengen van electrische trillingen met een drie-electrodenbuis geclaimd werd, dezelfde Strauss die met Lieben en Reisz de cascadenversterking pousseerde.

De buisgenerator bleek in vergelijking met de toen bestaande

lichtbooggenerator en andere typen, een groote vooruitgang te zijn. De frequentie was verrassend constant en kon op eenvoudige wijze door variatie der schakelementen zoowel op lage als zéér hooge frequenties ingesteld worden. Het meerendeel der zenders werd dientengevolge met buisgeneratoren uitgevoerd; slechts gedurende een beperkten tijd zijn hoogfrequente wisselstroommachines gebouwd om met groote golflengten lange afstanden te overbruggen, zooals wij ze te Kootwijk gekend hebben voor de verbinding met Indië.

Buisgeneratoren zijn voor velerlei doeleinden een onontbeerlijk hulpmiddel geworden en in milioenen talen in ontvangers verwerkt. Door toepassing n.l. van frequentie transformatie ter plaatse van de radio-ontvangst is daartoe in de moderne ontvangers een klein type buisgenerator ingebouwd. Deze wordt tegelijkertijd met de afstemkringen ingesteld en levert door vernuftige methoden met diverse zenderfrequenties dezelfde verschilfrequentie op, waarvan de amplitude op eenvoudige en selectieve wijze verder versterkt wordt.

Bij buisgeneratoren voor energieomzetting wordt in de schakeling uitgegaan van een weinig gedempte elektrische trillingskring. Hierdoor ontstaan practisch sinusvormige trillingen. De sinusvorm heeft voor energie overbrenging in de electrotechniek gelijke beteekenis als de roteerende beweging in de werktuigtechniek. Voor de roteerende massa heeft de electrotechniek geen bruikbaar equivalent, waar tegenover staat dat de elektrische condensator in velerlei opzicht een meer hanteerbaar element vormt dan de veer van den werktuigkundige. Behalve de sinustrilling kunnen in een relaisschakeling sterk ervan afwijkende trillingsvormen gegeneerd worden z.g. relaxatie- of kieptrillingen. De multivibrator van Abraham en Bloch dateerend van 1919, was een eerste dergelijke generator; het was een schakeling met twee buizen die onderling gekoppeld waren door weerstanden en capaciteiten. Door het ontbreken van zelfinductie verdwijnt in iedere periode de in den condensator opgehoopte energie volledig in de weerstanden. Het principe van de werking van den kiepgenerator en het verschil met den kringgenerator is door Van der Pol onderzocht en tot klaarheid gebracht.

Het markante onderscheid der beide typen is, dat een geringe frequentieverandering bij den kringgenerator een groote faseverandering van de stroomen en spanningen teweeg brengt, terwijl deze bij de kiepgenerator klein is. Hierin ligt de reden, waarom de frequentie van den kringgenerator stabiel is en wel des te stabielier naarmate de kringdemping geringer is.

De kiepgenerator is .t.o.v. de frequentie zeer onstabiel. Hierin ligt voor een deel zijn technische bruikbaarheid, daar zijn frequentie door die van een anderen generator gemakkelijk te synchroniseeren is zoowel met dezelfde frequentie als in veelvouden naar boven of naar beneden. Op deze eigenschap berusten belangrijke toepassingen van de tijdliniaire zaagtandtrilling o.a. bij de kathodestraaloscillograaf, bij de zend- en ontvangapparatuur voor televisie en bij microtijd-metingen.

Het is moeilijk te overzien, hoever het terrein zich uitstrekt, dat opengesteld is door de ontdekking en ontwikkeling van het electronenrelais, door de versterking in de opvolgende trappen, door de buisgenerator in diverse functies.

Het fantastische van wat er door aan mogelijkheden geboden wordt is eenigszins te realiseeren, indien men in 't kort den gang van zaken bij een omroepzender weergeeft.

Eén uitgangspunt is de kristalgestuurde generator, waarvan de frequentie een stabiliteit heeft van één op één millioenn hertz. De geringe spanning van dezen generator wordt in meerdere trappen versterkt en opgevoerd tot amplituden, waarmee in de eindtrap een hoogfrequent wisselstroom vermogen van vaak 100 kilowatt wordt opgewekt, dat door de antenne uitgestraald tot in de grootste afstanden werkzaam is. Een ander uitgangspunt is de microfoon, die door spraak of muziek een spanning produceert van enkele millivolt. Ook deze kleine spanning wordt, en wel zeer vormgetrouw, in een aantal trappen achtereenvolgens vergroot tot op een waarde waardoor de 100 kilowatt hoogfrequent vermogen ermede gemoduleerd kan worden.

Van een energie standpunt bezien wordt er met het uitgestraalde vermogen sterk gemorst en komt er wel zeer weinig in de gezamenlijke afgestemde ontvangers terecht, nauwelijks 1 watt op honderdduizend watt! Maar geen nood. Dank

zij de groote versterking, die in den omroepontvanger beschikbaar is, zou rond een biljoenste van een watt voldoende zijn om het toestel te doen functioneeren.

Rekent men in verband met ter plaatse aanwezige storingen voor goede ontvangst met een vermogen van een millioenste watt, dan groeit daar uit na hoogfrequentversterking, frequentie transformatie, middel- en laagfrequentversterking tenslotte 5 watt aan vermogen in den luidspreker.

In de voorafgegane zeer summiere schets van de ontwikkeling en beteekenis van het electronenrelais kwam vanzelf naar voren het belang van de electronica voor de groote vlucht, die de radiotechniek heeft genomen.

De uitgebreide radio verkeerstechniek, de omroep, peilinstallaties voor schepen en vliegtuigen, de ultrakorte golftechniek waaruit de radar apparatuur voortkwam, de televisie, dit alles werd een sterke stimulans voor de radio industrie welke tot massaproductie heeft gevoerd.

Kort voor den oorlog werden per jaar ettelijke millioenen ontvangers en een aanzienlijk veelvoud daarvan aan versterkerbuizen gefabriceerd.

Zooals vaker in de industrie gezien werd, bleek ook hier een wisselwerking te bestaan tusschen de stijging van de commercieele beteekenis en de vervolmaking van de producten. Groote moeite, kosten en vindingrijkheid werd besteed aan grotere betrouwbaarheid en aan het acheveeren van de talloze onderdeelen, die in de schakelingen verwerkt werden.

Van de buizen en hun fabricatie kan men zeggen, dat er wonderen van techniek aan vast zitten. Teekenend is b.v. dat om de gloeikathode op een afstand van 0,2 m.m. een metaaldraad van 40 micron dikte gewikkeld wordt met een tolerantie van enkele procenten.

Draaicondensatoren van kleine afmeting en groote capaciteit werden als precise werk en toch in massa gefabriceerd. Nieuwe verliesvrije isolatie materialen werden gevonden. De vele weerstandjes, spoeltjes, papier- en electrolytische condensatoren, waarmede schakelingen worden samengesteld voldoen aan eischen, waaraan voor twee decennien niet gedacht kon

worden. Typeerend is, dat de constructie van de gecompliceerde schakelaars van ontvangers voor de gezamenlijke behoefte in Amerika door coördinatie van een respectabele groep researchwerkers, waaronder physici, chemici, constructeurs en anderen, grondig bestudeerd werd; het resultaat was, dat het benodigde materiaal en de fabricatiekosten tot een onwaarschijnlijk minimum reduceerden en de betrouwbaarheid van functioneeren een maximum werd.

Deze en vele andere materialen, voortspruitend uit het radio-milieu, zijn een verrijking voor de electrotechniek geworden. Het gebruik van de electronenbuis als versterker en generator is niet beperkt gebleven tot de radio apparatuur. Beschouwt men de radiotechniek als het eigenlijke domein van de electronica dan zijn toch talrijke toepassingen er uit ontstaan die tot ver en verschillend terrein in de techniek zijn doorgedrongen. Zoo is o.a. de versterkerbuis het uitgangspunt van een reeks van apparaten, die in de laboratoria voor onderzoekingen en controle onontbeerlijk zijn geworden. De verbreiding van dergelijke apparaten werd aanvankelijk geremd door onbetrouwbaar functioneeren van batterijen, moeilijke hanteering, kinderziekten, die mettertijd werden overwonnen. Van fundamentele beteekenis voor commercieele ontplooiing was, dat de voeding van de buizen uit het lichtnet werd verkregen en dat door stabilisatie de instellingen zoodanig gefixeerd werden, dat correctie en verificatie niet meer noodig was.

Met voorbijgaan van speciale meetapparaten voor radiobedrijven zijn een aantal instrumenten te noemen, die voor den researchwerker in industriele bedrijven van uiteenloopenden aard zeer dienstig zijn, doch nog steeds niet in die mate zich konden inburgeren als in overeenstemming is met hun belangrijkheid.

De buisvoltmeter is een indicatieinstrument waarvan de nauwkeurigheid der aanwijzing niet minder is dan die van de gebruikelijke voltmeters. Het bijzondere voordeel van de buisvoltmeter is gelegen in het uiterst geringe vermogen dat aan de ingangsklemmen wordt verbruikt.

Het diode-triodetype heeft als laagste meetbereik 1.5 Volt

over de geheele schaal en is geschikt voor frequenties tot meerdere megahertz. De z.g. versterker-voltmeter heeft als laagste meetbereik slechts 1 millivolt, maar het te gebruiken frequentiegebied is aan de hooge zijde beperkt tot de ultra-acoustische frequenties.

In de kathodestraal oscillograaf, voorzien van ingebouwde versterkers en met een tijdslijnschakeling waarvan de frequentie te regelen is, heeft de techniek een veelzins gewaardeerd hulpinstrument gevonden. De visuele afbeelding van rythmische of enkelvoudige verschijnselen komt niet alleen zeer tegemoet aan de behoefte der voorstelling, maar er komen vaak bij eerste onderzoek van problemen begeleidende nevenverschijnselen te voorschijn, die men anders slechts door moeizaam speuren achterhaalt.

Met de electronenschakelaar, een elektrische wissel voor hooge frequentie, is het mogelijk om meerdere verschijnselen gelijktijdig op het fluoresceerend scherm van de oscillograaf af te beelden.

De toongenerator levert wisselspanningen met een vermogen van de grootte orde van 1 watt in een frequentiegebied vanaf enkele hertz tot 20 kilohertz.

De stemvorkgenerator levert spanningen van een enkele frequentie met zeer groote constantheid, welke o.a. voor tijdmarkeering en meting toepassing vindt.

De directe ontleding van trillingsvormen in haar Fowier-componenten kan met de frequentie analysator snel en met groote nauwgezetheid worden uitgevoerd.

De trillingsopnemer ten dienste van den werktuigkundige wordt gebruikt voor het localiseeren van ongewenschte trillingen in machines en als contrôle bij nauwkeurige bewerkingen.

Het electronisch gestabiliseerd plaatsspanningsapparaat levert gelijkspanningen tot 300 volt bij een stroombelasting van 200 milli ampère met een constantheid, storingsvrijheid en inwendigen weerstand, die aanzienlijk beter zijn dan bij de gebruikelijke batterijen voor klein vermogen; tevens is men af van de last van opladen en onderhoud.

Dit is een kleine greep uit de veelheid van instrumenten, die

met electronenbuizen zijn uitgerust en in gesloten vorm als commercieel object op de markt zijn gebracht.

Van vele zijden in ons land wordt de industrie opgewekt tot researchwerk op ruime schaal, tot verdere ontwikkeling van de producten, om bij eventueele export in kwaliteit en prijs niet achter te staan bij het buitenland. Maar dan mag men ook niet zuinig zijn, wanneer het gaat om de laboratoria op moderne wijze te outilleeren, dan geve men de jonge speurders de beste meetapparatuur in handen.

Voor zoover het de boven aangeduide instrumenten betreft, die door de electronica naar voren zijn gekomen, moet mij van het hart dat het een slechten vorm van amateurisme is om apparatuur die te koop is, in een ongeschikte omgeving incidenteel zelf te vervaardigen. Voor den ernstigen ingenieur of physicus is dit veelal kostbaar door tijdverlies, afgezien van de kans op desillusie.

Uit het geheel der nieuwe middelen en methoden, die de electronica biedt wordt in groeiende mate geput door de laboratoria voor ontwikkelingswerk en wetenschappelijke onderzoekingen.

Men kan daarbij niet volstaan met het gebruiken van bestaande apparatuur, daar nieuwe onderzoekingsgebieden bijzondere eischen stellen aan de toepassingen van de electronenbuizen.

De ontwikkeling van nieuwe meetmethoden is sterk geremd geweest door de omstandigheid, dat de onderzoekers de routine misten om versterkerbuizen op geschikte wijze aan te wenden. Het heeft geruimen tijd geduurd voordat er geregelde samenwerking ontstond tusschen onderzoeker en radio vakkundige, doch in diverse gevallen waar dit tot stand kwam leidde het tot vaak animeerende resultaten. Een vruchtbaar samengaan van deskundigheid op verschillend terrein als hier aan de orde was, bleek alleen mogelijk wanneer participanten elkaars kennis uitwisselden; althans is het voor den wetenschappelijken onderzoeker noodig, dat hij een goed overzicht heeft van de mogelijkheden, die de electronica biedt en tevens van de grenzen en de bezwaren, die door de schakelingen ontstaan.

Dat die behoefte gevoeld wordt hebben we ook in Delft ervaren, waar in het radiolaboratorium aan een aantal onderzoekers van andere laboratoria de gelegenheid is geboden om zich in de electronica nader in te werken of om er de experimenteële deelen van een promotie of ander werk te verrichten. Bij het verder voortschrijden van wetenschappelijk onderzoek is de uitbreiding van de waarnemings- en meetgrenzen tot in het extreme een probleem, waar voortdurend en met hardnekkigheid naar gestreefd wordt.

Voor het meten van electriche spanningen, stroomen en ladingen zijn zeer gevoelige physische meetinstrumenten bekend, waarvan enkele bezwaren zijn, dat ze deels traag reageeren, zeer kwetsbaar zijn en vaak met veel voorzorgen moeten gehanteerd worden.

Door toepassing van de versterkerbuis gelukte het de gevoeligheid enkele orden te verhoogen, terwijl tevens het meten minder omslachtig werd.

De gewone versterkerbuis is voor bedoelde gevoelige metingen meestal niet geschikt omdat de ingaande keten eenigen stroom opneemt, die wel voor technische doeleinden verwaarloosbaar klein, doch voor physische metingen niet toelaatbaar is.

In de zgn. electrometerbuis zijn te dien opzichte aanzienlijke verbeteringen aangebracht door het stuurrooster bijzonder hoog te isoleeren t.o.v. de andere electroden en door de instelspanningen van de buis te verlagen tot beneden de ionisatiegrens. Door de genomen maatregelen is de versterkingsfactor en de stroomafzetting van de electrometerbuis wel gering, doch daarvoor wordt gewonnen dat de stroom en de differentiaal weerstand van de ingaande roosterketen beiden meer dan het  $10^4$ -voud gunstiger zijn dan bij de gewone versterkerbuis. Deze voordeelen komen o.a. tot uiting in de electrochemie. Bij het meten van kleine potentiaalverschillen voor het bepalen van  $pH$  waarden van een oplossing worden speciale glas-electroden toegepast met 100 Megohm weerstand. De toelaatbare stroom is in dat geval zoo gering, dat alleen de electrometerbuis hier te gebruiken is. Hetzelfde doet zich voor



bij spanningsmetingen van micro-elementen, die bij corrosie-verschijnselen een rol spelen.

Een andere toepassing van de electrometerbuis is de directe meting van uiterst kleine stroomen, die optreden bij het fotometreeren van sterren of spectrallijnen met behulp van de fotocel, bij de bepaling van zeer zwakke radio-actieve straling of van de hoogtestraling met de ionisatiekamer.

Bij het meten van uiterst kleine ladingen is het nut van de electrometerbuis gelegen in de extreme gevoeligheid en den bijzonder kleinen insteltijd. Snel opvolgende ladingsstooten, zooals met de ionisatiekamer optreden bij onderzoekingen in de kernphysica, kunnen worden aangetoond en geregistreerd. Bij het vastleggen van het aantal ladingsstooten worden mechanische tellers toegepast, die uiteraard door hun traagheid in snelheid beperkt zijn t.o.v. de versterkerschakelingen. Op vernuftige wijze is deze moeilijkheid overwonnen door het arrangeeren van een soort elektrische wissels, waardoor wordt verkregen, dat van de aankomende ladingsstooten alleen iedere vierde of achtste stoot de stroomketen van den teller doet functioneeren.

Bij het onderzoeken van mechanische grootheden, verplaatsing, snelheid, versnelling, neemt men zijn toevlucht tot het omzetten van deze in elektrische grootheden. Hiervoor zijn vele methoden bekend.

Zijn de te meten veranderingen zeer klein, dan komt men daaraan tegemoet door elektrische versterking; zijn de veranderingen klein en verlopen ze zeer langzaam dan moeten speciale schakelingen met kunstgrepen uitgezocht worden, daar z.g. gelijkspanningsversterking slechts in beperkte mate is door te voeren. Omgekeerd kan men bij snelverlopende mechanische verschijnselen na elektrische omzetting en versterking op de moeilijkheid stuiten dat het beeld van de weergave niet meer vormgetrouw is door phaseafhankelijkheid.

Het invoeren van mechanische trillingen voor het varieeren van capaciteiten, zelfinducties of weerstanden in een elektrische schakeling komt ook voor. Met een trillende condensator is de moeilijkheid, verbonden aan het meten van kleine gelijk-

spanningen te ontgaan, daar deze in een wisselspanning worden omgezet, die gemakkelijker te versterken is. Op deze methode berust een  $p^u$  apparaat, ontwikkeld door ir Dorsman. Voor het bepalen van de diëlectrische constante van chemische stoffen, die tot de kennis voeren van de electriciteitsverdeeling in moleculen, zijn methoden ontwikkeld, die berusten op het meten van uiterst kleine capaciteiten door vergelijking met standaarden. Bij de meting hiervan wordt o.a. gebruik gemaakt van een kring met sterk doorgevoerde dempingsreductie, van het kritisch punt van genereeren van een schakeling met een kwartsplaatje, of van een heterodyneschakeling. De meetgrens bij deze methoden hangt nauw samen met de stabiliteit, die door zorgvuldige opstelling en bijzondere inrichting van de schakeling bereikt wordt.

Voor onderzoekingen aan paramagnetische stoffen, zooals onder leiding van Prof. Gorter zijn uitgevoerd, worden extreem kleine veranderingen in de zelfinductie van een generatorsysteem bepaald door interferentie met een hulpgenerator. Ook hier is stabiliteit o.a. van de generatorfrequenties, belangrijk.

Op medisch gebied doen zich een groot aantal problemen voor, waaronder gehooroverbrenging, electrodiathermische inwerking, inwendige temperatuurregeling en in 't algemeen de invloed van microstroom in het lichaam.

Bij het meten van electriche spanningen van physiologischen oorsprong, corresponderend met hartslag of met geleiding langs zenuwbanen, heeft men weer te maken met het meten van kleine spanningen die in een langzaam tempo veranderen. Tracht men bij dit soort onderzoekingen op verschillende plaatsen van hetzelfde lichaam gelijktijdig waarnemingen te verrichten, dan stuit men op het bezwaar dat tusschen de verschillende meetplaatsen onderlinge potentiaalverschillen optreden die relatief groot zijn en het resultaat van de aansluiting van meerdere versterkers oneffectief maakt. Aan dit probleem is de laatste jaren in verschillende laboratoria gewerkt; de oplossing, die door bijzondere uitvoering van versterkers gevonden werd, bleek tevens ook voor andere toepassingen zeer nuttig te zijn.

Een methode voor het verkrijgen van meervoudige electrocardiogrammen op één kathodestraalbuis is onlangs door ir Fiket en medewerkers beschreven. <sup>1)</sup>

De hiervoor aangeduide gebieden van wetenschappelijk werk, waar de electronica hulp verleent, zijn slechts een deel van het totale exploratieterrein. Toepassingen bij experimenteel onderzoek in de aerodynamica, de geologie, bij beton en andere bouwconstructies en verdere vakken zijn voorzeker van gelijk belang.

Het vergt meer tijd dan waarover nu beschikt kan worden om een redelijk beeld te ontwerpen van de veelsoortige metingen, die met behulp van meer of minder ingewikkelde electronenbuischakelingen zijn uit te voeren; een vluchtige indruk ervan moge gegeven worden door nader in te gaan op enkele voorbeelden, die door de researchgroep van het radiolaboratorium van de Afdeeling voor Electrotechniek zijn uitgewerkt. Vooraf moge ik opmerken, dat sedert 1939 op regelmatige wijze in het radiolaboratorium researchwerk kon verricht worden dank zij den financieëlen steun, die door het Delftsche Hoogeschoolfonds verleend werd. Voordien was er wel steeds contact met andere researchmilieu's en werd onzerzijds de toepassing van de electronica voor wetenschappelijk onderzoek met beperkte middelen en tijd gepousseerd, doch voor beteekenisvolwerk was coördinatie en concentratie ten zeerste gewenscht. De aanstelling hiervoor van een assistent, die vrij was van onderwijstaken, maakte dit mogelijk en ir Bourgonjon is de juiste persoon en goede gangmaker gebleken, die vele Afdeelingen in Delft en ook laboratoria elders in het onderhanden zijnde speurwerk vakkundig wist te stimuleeren. Dank zij deze regeling ontstond een vruchtbare samenwerking met verschillende hoogleraren.

Teneinde het bestaande researchwerk op verschillend gebied aan de T.H. een grootere uitbreiding te kunnen geven, werd in 1941 door het Delftsch Hoogeschoolfonds een beroep gedaan op de industrie om dit Fonds van de hiervoor noodige

<sup>1)</sup> Zie „De Ingenieur” 22<sup>o</sup> Februari 1946 No. 2.

middelen te voorzien. Slechts daardoor zou het mogelijk zijn op ruime schaal speurwerkassistenten aan te stellen en hulpmiddelen te verschaffen om het wetenschappelijk werk aan de T. H. te bevorderen.

Dit beroep op de industrie had een royalen weerklank en leverde dank zij het initiatief van ir F. Philips een verblijvend gunstig resultaat op. Uit het sprongsgewijs verhoogde budget van het Fonds konden tientallen speurwerkassistenten aan de T. H. worden aangesteld, die onder leiding van actieve hoogleeraren nieuwe fleur in den gang van zaken brachten. Ondanks steeds moeilijker omstandigheden in den bezettingstijd werden allerwege onderzoekingen begonnen. Te verwachten is, dat het doorzetten van dit werk, in komende gunstiger tijden, zijn vruchten zal afwerpen en dat deze nieuw oriëntatie aan de T.H. een gelukkigen invloed zal hebben op de researchinstelling van jonge ingenieurs.

Na deze uitwijding overgaande tot de bespreking der voorbeelden van uitgevoerd researchwerk, was in een geval het onderwerp het meten van mechanische grootheden langs electrischen weg. Hiermede waren Prof. Biezeno en zijn medewerker Dr Koch reeds geruimen tijd bezig in het Laboratorium voor toegepaste Mechanica te Delft en er werd behoefte gevoeld aan meetmethoden, waarbij aan hogere eischen dan voorheen werd voldaan. De weg daarvoor werd gezocht in toepassingen van de electronica.

In hoofdzaak waren de eischen, dat voor verplaatsingsmetingen de gevoeligheid aanzienlijk zou worden verhoogd en dat de aanwijzing een getrouwe afbeelding van het te onderzoeken verschijnsel zou zijn. Zoowel snel- als langzaam verloopende verschijnselen moesten met geheel dezelfde maat worden weergegeven om een statische ijking mogelijk te maken.

Uit de nauwe samenwerking tusschen het Laboratorium voor Toegepaste Mechanica en het Radio Laboratorium groeide een apparatuur, die zeer hanteerbaar was en waarmee de laatste jaren interessante onderzoekingen zijn uitgevoerd.

De gevoeligheid van de vervaardigde\* apparaten kan het

beste op deze wijze worden aangeduid, dat een mechanische verplaatsing met een vergroting van het 200.000-voud op het scherm van een electronenstraalbuis kon worden afgebeeld. Deze gevoeligheid voldeed ruimschoots voor de geprojecteerde metingen, doch is op lange na niet de grens, die met de ontwikkelde methode is te bereiken.

Uitgegaan is van een bekend systeem, dat berust op capaciteitsverandering, veroorzaakt door een kleine verplaatsing van de plaatjes van een electrischen condensator. De condensator is opgenomen in een capacitiieve wisselstroombrug, die gevoed wordt door een generator met een frequentie, die groot is t.o.v. de frequenties die bij de mechanische verschijnselen optreden. De mechanische varieerende condensator maakt, dat de hoogfrequent spanning in de brugtak in amplitude gemoduleerd wordt met het laagfrequent rythme van de mechanische veranderingen. Bij juiste instelling van de brugcapaciteiten is de verkregen modulatie practisch lineair.

Door het omzetten van het te onderzoeken laagfrequent verschijnsel in een amplitudemodulatie van een hoogfrequente trilling krijgen wij den kans met een eenvoudige schakeling aanzienlijke versterking toe te passen, waarbij ook zeer langzaam verloopende veranderingen en zelfs een blijvende verplaatsing even goed worden doorgegeven. De efficientie van de omzetting wordt bepaald door de verhouding van de amplitude van de hoogfrequent spanning, die de generator levert en den afstand van de plaatjes van de te varieren condensator. Dit quotient kan bijzonder groot gemaakt worden.

Na de hoogfrequentversterking wordt lineaire gelijkrichting toegepast, waardoor het mechanisch verschijnsel vormgetrouw, doch als electrische verandering te voorschijn komt. Een verdere vergroting geschiedt met een gelijkspanningsversterker, waarna een visueel beeld van de oorspronkelijke minimale mechanische verandering op een oscillograaf wordt weergegeven. Van principieele beteekenis is, dat de gekozen methode voor het vergroot meten van zeer langzaam varieerende verplaatsingen of van een blijvende afstandsverandering geen moeilijkheid biedt. Voor snelle wisselingen neemt de versterking iets af, terwijl tevens een faseafhankelijkheid optreedt, die afbreuk doet aan de vormgetrouwheid van het

visuele beeld. Ook de gelijkrichting, verkregen door diode-detectie, brengt een aanzienlijke faseafhankelijkheid in de schakeling, waarvan de oorzaak aanvankelijk een puzzle was. Na onderzoek en analyse bleek, dat de detectorketen bij gelijkrichting van een gemoduleerde trilling een schijnbare dempingsverlaging van de voorafgaande hoogfrequentkring veroorzaakt, waardoor de hogere frequenties, die in het mechanische verschijnsel voorkomen, sterk fase verschoven worden. Door het aanbrengen van fase-compensaties was het mogelijk voor een frequentiegebied van 0 tot 3000 Hz een lineair en vormgetrouw beeld op de oscillograaf te krijgen. Een dergelijk frequentiegebied is voor mechanische veranderingen als behoorlijk groot aan te merken.

De beschreven meetmethode leent zich voor legio gevallen waar het van belang is om ultra kleine veranderingen experimenteel vast te stellen.

Voor onderzoekingen, die betrekking hebben op het meten van wegverandering, versnelling, kracht, momenten of andere mechanische grootheden, moeten speciale uitvoeringen van de elektrische opnemers ontworpen worden. Met de juiste constructie van dergelijke opnemers is dikwijls groote vindingrijkheid gemoeid.

Wij willen ons nog een oogenblik interesseeren voor de kleinste verandering, die op de besproken methode kan worden waargenomen.

Van invloed op de gevoeligheid van de meetapparatuur is: de grootte van de hoogfrequentspanning, die aan de meetbrug gelegd wordt, de afstand van de condensatorplaatjes van den opnemer, de afbuig-gevoeligheid van de electronenstraalbuis en de grootte van de totale elektrische versterking.

Het quotient van de eerste twee grootheden is practisch aan een maximum gebonden; bij te kleine platenafstand en te groote hoogfrequentspanning treedt er storing op in de schakeling of zelfs overslag in den opnemer. De gevoeligheid van de straalbuis is gebonden aan het type. De elektrische versterking moet beperkt worden in verband met de storingen van physischen aard; de maximum toelaatbare bruikbare versterking is vooruit te berekenen.

Voorts is van belang de storing, die als modulatie aanwezig is in de hoogfrequentspanning; bij zorgvuldige inrichting van de generator is deze storing zeer klein te houden.

Met dit alles rekening houdende en veronderstellende, dat bij vele metingen met een zeer beperkt frequentiegebied kan volstaan worden, komt men tot een maximale vergrooting, die van de orde is van een miljardvoud. Een mechanische verandering van  $10^{-6}$   $\mu$  zou op de straalbuis corresponderen met een uitwijking van 1 m.m.

Om een dergelijke fabelachtige vergrooting op een plastischer wijze uit te drukken zij aangegeven, dat een verplaatsing ter grootte van  $\frac{1}{4}$  van de diameter van een waterstofmolecule op het scherm een uitwijking van 6 cm zou veroorzaken.

Ik ben mij bewust, dat ik mij bij het noemen van deze getallen op speculatief terrein begeef, daar onze onderzoekingen slechts uitsluitsel geven voor vergrootingen van een miljoenvoud. Bij de verhooging hiervan met nog eens een duizendvoud is niet moeilijk te voorspellen, dat verschijnselen van microfonischen aard tot trillingsvrije opstellingen zouden moeten leiden, die waarschijnlijk zeer moeilijk te verwezenlijken zijn.

Een suggestie voor een meting, die met de bestaande apparatuur kan uitgevoerd worden, is de volgende. Uitgaande van de aantrekkingskracht van twee massa's, is door Cavandish als eerste op fraaie wijze de gravitatieconstante van Newton bepaald. De opstelling bij deze soort metingen, die door hem en anderen zijn verricht, vereischt zeer veel voorzorgen en tijd.

Met behulp van de behandelde methode zou een zeer aanzienlijke vereenvoudiging kunnen worden bereikt, wellicht zoodanig, dat het meten van de gravitatie-constante als proef in het onderwijs zou kunnen worden ingelascht.

Hiermede afstappend van het onderwerp verplaatsingsmetingen, zal als tweede concrete voorbeeld van de toepassing van de electronica bij wetenschappelijk onderzoek iets medege-deeld worden over metingen, die betrekking hebben op het voortgeleiden van „prikkel” in zenuwbanen van levende

dieren en menschen en die kunnen bijdragen om eenige klaarheid te brengen in de onderlinge samenhang van neuronengebieden. Door Professor Bok van het histologisch laboratorium te Leiden is op dit terrein een onderzoek ingesteld, waarbij in samenwerking met de electronicagroep in Delft gestreefd is naar ontwikkeling van meetmethoden, die aan bepaalde voorwaarden voldoen. Om iets van de sfeer van dit onderwerp weer te geven en om het aanknooppingspunt van het milieu der biologen en dat der electrotechnici nader aan te wijzen, is het wenschelijk enkele bijzonderheden van neuronen naar voren te brengen.

Een van de algemeene eigenschappen van levend weefsel is de prikkelbaarheid door aanraking, belichting, geluid, reukstoffen e.d. Deze prikkels brengen het levend organisme tot een reactie, d.w.z. tot een beweging of een secretie, waarvan de sterkte veel grooter is dan met het origineel overeenkomt. Men zou hier van een relaisfunctie kunnen spreken tusschen prikkel en effect, waarvan de geaardheid in het levend organisme zelf nog uiterst weinig bekend is.

De zichtbare reactie behoeft niet op te treden vlak bij de plaats van prikkeling. Dit duidt op een prikkelgeleiding in het levend weefsel. In het zenuwstelsel zijn het speciaal de neuronen, die deze functie uitoefenen, groote cellen met talrijke en vaak vertakte uitloopers. Bij elk neuron is één van die uitloopers anders dan de overige, tot duizend maal langer, minder vertakt en bij het cellichaam dunner. Deze bijzondere uitlooper heet de neuriet, de anderen heeten dendrieten.

In de hooger ontwikkelde zenuwstelsels geleidt het neuron de natuurlijke prikkel in één richting en wel in de dendrieten naar het cellichaam toe, in de neuriet daarvan af.

Reflexwegen bestaan uit een reeks van neuronen, die na elkaar door de prikkel worden doorlopen op hun tocht van het zintuig, den receptor, naar den effector, de spier of de klier waarin de contractie of de secretie optreedt. De plaatsen waar de prikkel van het eene neuron op het andere overgaat zijn verschillend van aard; zoo kan bijv. een neuriet de dendrieten van het volgend wegdeel eenvoudig op korten afstand kruisen. Deze overgangsplaatsen kunnen als excitatiegebieden be-



schouwd worden in de ketting van opvolgende impulsbereidheid. Kan de prikkel dezen overgang passeeren, dan wordt het volgende neuron tot aan het einde van diens neuriet doorloopen. Het is alsof een neuron klaar staat om een excitatie te beantwoorden met een impuls. Kort na het afvuren van zoo een impuls is het onwerkzaam. Geen aankomende prikkel is dan sterk genoeg om het tot een nieuwe impuls te exciteeren. De impulsbereidheid neemt daarna geleidelijk toe om tot een normale waarde op te loopen, waarbij het weer kan reageeren. Blijvende excitatie van eenzelfde neuron heeft dus tot gevolg, dat regelmatig impulsen worden uitgestuurd, waarvan de frequentie voor verschillende neuronen anders is.

Het ligt voor de hand, hier de frappante overeenstemming met de bekende elektrische impuls generator te constateeren. De begrippen oplaadtijd en ontlading zijn ingevoerd, doch naast duidelijk vastgestelde elektrische verschijnselen treden biochemische reacties op. Passeert een impuls de dwarsdoorsnede van een neuriet, dan wordt de elektrische potentiaal van die neuriet lager, zelfs enkele honderdsten volts, om na het passeeren weer normaal te worden.

Omgekeerd wekt een kunstmatig aangebracht potentiaalverschil in een neurietbundel impulsen op.

De potentiaal verandering, die een prikkel begeleidt kan op verschillende manieren worden gebruikt om de werking van het zenuwstelsel te bestudeeren. Nagegaan kan worden b.v. op welke plaatsen van het zenuwweefsel prikkels passeeren, nadat bepaalde andere plaatsen zijn geëxciteerd, hetzij op natuurlijke wijze door het toedienen van adaequate zintuigprikkel of op kunstmatige wijze door het aanbrengen van plaatselijke elektrische stooten in het zenuwstelsel.

Het was voor zulk onderzoek dat meetmethoden, liefst ondergebracht in gemakkelijk te bedienen en te onderhouden apparatuur, gewenscht werden.

In het bijzonder was het de bedoeling om de prikkelbaarheid en de geleiding in de schors van de groote hersenen te bestudeeren. Deze schors is enkele m.m. dik en er liggen milliarden zenuwcellen in, waartusschen zich een wirwar bevindt van neurieten en dendrieten. De geleidingswegen door dit neuro-

nenapparaat zijn waarschijnlijk nog maar zeer weinig vastgelegd.

Het uitgangspunt voor de ontwikkelde meetmethoden was de eisch om een aantal waarnemingen op verschillende plaatsen tegelijk te registreeren, ondanks dat de potentiaalverschillen tusschen die plaatsen meer dan het duizendvoud de gezochte waarden kunnen overtreffen. Deze eisch leverde een groote moeilijkheid op voor het gelijktijdig toepassen van meerdere versterkers. Daar deze, om stabiel te kunnen functioneeren, ieder aan een nulpotentiaal, aan aarde, moeten gelegd worden, zouden de meetplaatsen onderling worden kortgesloten, hetgeen voor het bedoelde onderzoek niet gewenscht is.

Dit eerste probleem is in 1939 met de medewerking van ir M. Breedveld tot oplossing gebracht door bij de balansversterkers in de beide kathodeketens van de buizen van de eerste balanstrap een gemeenschappelijke zeer groote weerstand aan te brengen. De spanning van de twee electroden van iedere meetplaats wordt aangesloten tusschen de twee roosters der ingaande buizen en wordt ongehinderd versterkt. Het spanningsverschil tusschen de meetplaats en aarde wordt in de schakeling door den gemeenschappelijken kathodeweerstand sterk onderdrukt.

Toepassing van een pentodebuis met een differentiaal weerstand van enkele megohms als kathodeweerstand reduceerde de onbalans meer dan duizendvoudig.

Andere eischen aan de methoden gesteld, hadden betrekking op de gevoeligheid, storingsvrijheid en de versterking van spanningsveranderingen van zeer lage frequentie. Versterkers met goote tijdconstante, die hiervoor geschikt zijn, hebben het bezwaar dat ze door een spanningsstoot tijdelijk geblokkeerd worden. Speciale gelijkspanningsversterkers, waarbij capacatieve overbrenging in de cascadeschakeling vermeden is, hebben onbeperkt groote tijdconstante en raken niet geblokkeerd, evenwel kleeft aan deze versterkers groote moeilijkheid met de potentiaal verschillen der buizen.

De oplossing is gezocht en redelijk gevonden in semi-gelijkspanningsversterkers met één enkele koppelcapaciteit, die de schakeling rustig maakt zonder dat blokkeering bij een toeval-

lige spanningsstoot in de schakeling nog hinderlijk is. Het frequentiegebied van de versterkers strekt zich naar beneden tot lager dan een tiende hertz uit, wat voor physiologische verschijnselen ruimschoots voldoende is.

Typeerend voor den achter ons liggenden tijd is dat de vrij omvangrijke apparatuur in bezettingstijd van Delft naar Vught verhuisde, waar ze na manipulaties van Philips' ingenieurs „siegeswichtig” werd verklaard en Prof. Bok als gijzelaar er mee moest experimenteeren.

Onlangs is ons gebleken, dat de versterkermethoden voor physiologische metingen in Engeland gedurende den oorlog zich op vrijwel gelijke wijze hebben ontwikkeld als ten onzent; in sommige details zelfs opvallend gelijk.

De electronica, die de grondslag is voor radiowereldverkeer, omroep, televisie, radar en telefonie op grooten afstand, wekt groote bekoring en spreekt zeer tot de fantasie van leek en vakman.

In de gehouden beschouwingen heb ik mij in hoofdzaak beperkt tot dat gedeelte van de electronica, waar ze een dienende functie heeft en hulpvak is voor meten en wetenschappelijk onderzoek. Maar voor wie weet en meewerkt is de bekoring daarvan niet minder, al is de inzet een bescheiden bijdrage in het streven naar nieuw weten, naar verruiming van inzicht!

\* \* \*

*Hare Majesteit de Koningin,*

Wie het behaagde mij te benoemen tot Hoogleraar, ben ik eerbiedigen dank verschuldigd.

*Edelgrootachtbare Heeren Leden van het College van Herstel,*

Het vertrouwen, dat U in mij gesteld heeft door mij te willen voordragen voor mijn benoeming, stel ik op hoogen prijs. Ik hoor Uw vertrouwen niet te kort te doen.

Uw steun en Uw raad zal ik niet kunnen ontberen om tot herstel te komen van datgene wat de vijand op zoo brute en

zinneloze wijze in het radiolaboratorium roofde en vernielde. Daarenboven is ook een achterstand in te halen aan de T.H. door de Electronica een outillage te verschaffen, die aangepast is aan dit vak en die voorziet in een degelijke opleiding.

Mijnheer de Secretaris van het College van Herstel, ik hoop op Uwe bereidwilligheid te mogen rekenen om met mij overleg te plegen in vele vraagstukken, waarin Uw advies voor mij groote waarde heeft.

*Mijne Heeren Hoogleraren,*

Door veeljarige werkzaamheden aan deze Hoogeschool kwam ik met velen van U in aanraking. De hartelijkheid en vriendschap daarbij ondervonden, heb ik steeds als een voorrecht genoten en waren voor mij een bron van opwekking. Ik hoop ten zeerste, dat dit contact zich op gelijke wijze zal mogen uitbreiden.

Het vak, waarin ik doceerde en experimenteerde leent zich bij uitstek tot samenwerking met de leiders van verschillende laboratoria. De poging, die ondernomen is tot coördinatie van onderzoekingswerk heeft goede vruchten opgeleverd.

Van belang is m.i. dat de excursies van Afdeling tot Afdeling, die door omstandigheden zijn gestopt, weer worden hervat. Deze excursies hebben het groote nut dat de deelnemers, assistenten en afstudeerenden, kennis krijgen van belangrijk werk, dat in de laboratoria der Hoogeschool verricht wordt. Ze bevorderen het noodzakelijke gevoel van saamhorigheid en heffen op uit den vaak te nauwen gezichtskring die, het eigen vak omsluit.

*Hooggeleerde Biezeno,*

Van deze plaats wil ik gaarne mijn dank betuigen voor de belangstelling, die Gij voor mijn werk en persoon getoond hebt en die geleid heeft tot een zoo vruchtbare en vriendschappelijke samenwerking met U en Uw medewerker Dr Koch.

*Hooggeleerde leden van de Afdeeling voor Electrotechniek,*

De taak, die ik tot nu toe vervuld heb aan Uwe Afdeeling is mij zeer verlicht door den steun en de waardeering die ik steeds van U daarbij heb ondervonden en door den hartelijken omgang, die ik met U gehad heb.

Reeds jaren heb ik Uwe Afdeelingsvergaderingen als gast mogen bijwonen en daardoor heb ik kunnen medewerken aan de uitbreiding van de gespecialiseerde opleiding van hen, die zich meer tot de richting van verbindingstechniek en de radio voelden aangetrokken. Uit de nauwere samenwerking met de docenten van deze studierichting groeide nadere vriendschap.

*Waarde Elias,*

Uw zorgvuldige wijze van werken op theoretisch gebied heb ik mij steeds gaarne voor oogen gehouden en tot voorbeeld gesteld.

De vriendschap, die ge mij hebt geboden was in de jaren van geregelden omgang voor mij van de grootste waarde. Ik prijs me gelukkig, als ik in de toekomst op de voortduring van deze vriendschap zal mogen rekenen.

*Waarde Bähler,*

Onze vriendschap gaat terug tot den studententijd. Je komt als hoogleeraar aan onze Afdeeling heb ik zeer toegejuicht en met reden.

Er was een stormachtige ontwikkeling in de electrotechniek; de verbindingstechniek en de radio eischten voor de industrie en staatsbedrijven zeer vele jonge bekwame ingenieurs. Dat onze Afdeeling zich in deze richting op vlotte wijze heeft aangepast, is voor een groot deel jouw verdienste. Naast elkaar hebben wij de vaak te groote onderwijstaak naar beste weten en steeds in nauwste samenwerking gedragen.

Ik weet, hoezeer je ervan bezield bent om, als het kan, je nog meer te geven nu de nieuwe tijd opnieuw groote vraagstukken aan dit deel van het onderwijs voorlegt. Je enthousiasme blijft voor mij een aansporing.

*Hooggeleerde Bok,*

U heeft de uitstekende gave bij anderen groote belangstelling te wekken voor de wonderlijke problemen van Uw vak. Dat de radio researchgroep met groote animo en toewijding werkte aan de ingewikkelde apparatuur voor Uw physiologische metingen, is te danken aan Uw stimuleerende activiteit.

Op eminente wijze heeft U ons iets doen verstaan van de moeilijkheden van een wetenschap, waarbij het speculatieve element sterk naar voren komt.

Een genoegen was het om te zien, hoe gemakkelijk U onze werkwijzen en schakelingen in U opnam en er zelfstandigheid in bereikte.

Nog langen tijd met U op de bestaande zeer aangename wijze te kunnen samenwerken is mijn innigste wensch!

*Waarde Dr Koerts,*

Met genoegen denk ik terug aan de week-ends in 't Gooi doorgebracht in je gastvrije huis, waar ernst en scherts een welkome afwisseling waren in tijden van soms te groote belasting en zorg.

Vele discussies hebben we in den loop der jaren gevoerd over wetenschappelijk technische vraagstukken.

Je gave om de kern van een mathematisch probleem te belichten hebben mij veelal gevoerd tot een eenvoudige interpretatie van dikwijls ingewikkeld schijnende vertolkingen.

*Heeren assistenten,* die in het radiolaboratorium mij behulpzaam waart bij de leiding der practica en het uitvoeren van researchwerk, ik ben U allen zeer verplicht. In den besten zin van het woord vond ik in U getrouwe medewerkers, vervuld van een geestdriftige instelling, die stimuleerend werkte. Van het verdienstelijke, dat in onze subafdeeling tot stand kwam, komt U een zeer groot deel toe.

Cij Breedveld, Pringgoadisoerjo, Bourgonjon, de Waard; de oorlog bond ons langer dan gewoonlijk bij een assistentschap het geval was. Moeilijke en ook risicovolle omstandig-

heden brachten ons nauw tot elkander en leidden tot vriendschap, die na Uw afscheid van Delft ons blijvend zal binden.

*Heeren Ingenieurs*, die als vak de radiorichting kozen en hun eindstudie en experimenteele werk in overleg met mij verrichtet. Met bijzonder genoegen neem ik steeds kennis van resultaten van Uw werk in het maatschappelijk leven, mijn belangstelling gaat met voorkeur naar U uit. Een groot deel van de apparatuur in het radiolaboratorium is door U vervaardigd, daarmede zorgde U voor een blijvende herinnering bij ons.

Amanuensis Koster. De uitbreiding van werkzaamheden door de ontplooiing van de radiotechniek ging niet gepaard met een evenredige toename van hulp. Uw constante toewijding en voortdurende zorg kwam hieraan op gelukkige wijze tegemoet.

Van het Personeel aan de Afdeling voor Electrotechniek en in 't bijzonder van dat van de werkplaats, hoop ik in de toekomst evenveel steun te mogen ontvangen als voordien het geval was. Mijn bijzondere wensch is het, dat de bestaande ongedwongen verhouding ten voordeele van persoon en werk onverkort voortgezet worden.

*Dames en Heeren studenten*. Bij bijna alles waarover hedenmiddag gesproken werd zijt gij op een of andere wijze betrokken.

Is er gestreefd naar een milieu voor studie en wetenschappelijk onderzoek; straks zijt gij het, die er de levende kern van vormt. Een programma behoef ik niet te ontvouwen, het is in feiten gesteld. Gaaf zal het voorzeker niet wezen, doch ik trachte daarnaar en zal dit blijven doen.

De grootste voldoening in mijn werk was voor mij het zeer persoonlijk contact met U, wanneer we samen iets nieuws op het spoor waren en van beide zijden vol verwachting waren wat er uit zou kunnen groeien. Uit dat samengaan sproot vaak een vertrouwelijkheid voort, die den schroom overwon en die voerde tot beschouwingen met ruimeren horizon dan toegepaste wetenschap alleen kan bieden.

De zorgen van velen uwer die in moeilijkheden waart, heb ik mogen deelen en kon soms daarbij van nut voor U zijn. Het zou mij spijten, als ik door mijn benoeming tot hoogleeraar tegenover U een verlies zou lijden. Ik heb het gaarne gezien, dat ge vrijmoedig en op gemoedelijke wijze uwe vragen, plannen of belangen mij voorlegde; van harte hoop ik dat dit zoo zal blijven.

Ik heb gezegd.