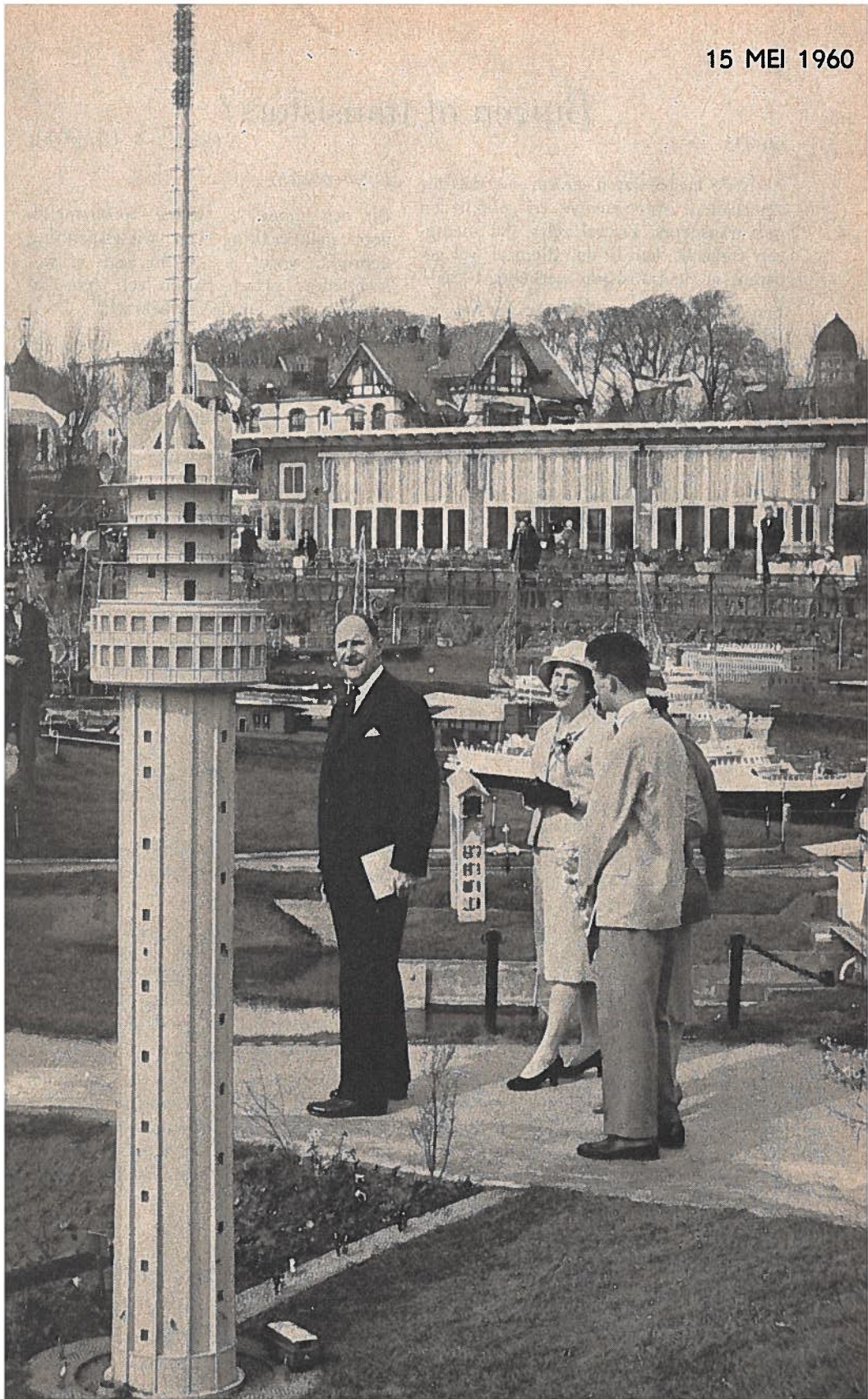


15 MEI 1960



Buizen of transistors?

60-033

door P. A. DE BOER

Er is de laatste jaren enorm veel lectuur verschenen over nieuwe mogelijkheden met transistors. Zoveel zelfs, dat menig- een verzucht: kan ik dat allemaal wel ge- loven, is de transistor werkelijk ideaal?

Het is namelijk een feit, dat bij het be- schrijven van een nieuw ontdekte toepas- sing op dit gebied vaak door een tikje „propaganda” (dikwijls onbewust) de indruk wordt gewekt, dat het binnenkort met de versterkerbuizen wel afgelopen is. We doen er daarom verstandig aan bij het bestuderen van als nieuw aangekon- digde toepassingen ons steeds af te vra- gen:

- a) is het inderdaad een volkomen nieuwe schakeling;
- b) zo ja, wat is dan het voordeel van de transistor boven een versterker- buis?

We kunnen er hierbij van uitgaan, dat wat met de transistor kan, ook met een buis mogelijk is; omgekeerd is dit lang niet altijd het geval.

Er zijn t.o.v. de transistor heus wel wat beperkingen op te sommen!

Het is de bedoeling van dit artikel vooral de specifieke voor- en nadelen van tran- sistors en buizen in praktische schake- lingen tegen elkaar af te wegen en hier- door de lezers zelfstandig oordelen mo- gelijk te maken. Ook zal aandacht wor- den besteed aan apparatuur waarmede de kwaliteit van buizen en transistors (veroudering) kan worden nagegaan.

Omdat bij het bespreken van transistor- schakelingen vaak vergelijkingen nodig zijn met versterkerbuizen is het gewenst eerst in het kort de eigenschappen van de diode-, triode- en schermroosterbuis door te nemen.

Diode-buizen.

Bij een diode — welke voornamelijk voor gelijkrichting van wisselspanning gebruikt wordt — is in een vrijwel luchtledige glazen ballon een zgn. ka- thode en een anode aangebracht.

De kathode is bedekt met een sterk elek- tronemitterende stof (bijv. barium- of strontium oxyde) en wordt door elek- trische energie zodanig verhit, dat door het oxyde negatief geladen elektronen worden uitgestoten, welke als een wolk om de kathode blijven zweven.

Omdat deze deeltjes een negatieve lading bezitten zal het duidelijk zijn, dat slechts op één manier een elektrische stroom kan vloeien tussen de kathode en de anode.

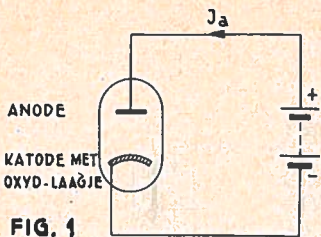
We moeten daarvoor een positieve span- ning op de anode aansluiten; de ne- gatief geladen elektronen zullen door de positieve ladingen van de anode wor- den aangetrokken.

Als dit in grote getale gebeurt, zal uit de batterij een aanvullende positieve la- ding naar de anode gaan vloeien.

Dus, hoe hoger de spanning op de anode, hoe groter de stroom van anode naar ka- thode in de buis.

Het is wel niet geheel logisch, maar een stroomrichting wordt als de richting van de pos. ladingen aangeduid. Er loopt dus een stroom vanaf de + pool van de batterij (over de anode naar de ka- thode) en terug naar de — batterij.

Een wisselspanning tussen de anode en kathode zal alleen in de positieve helften der perioden een stroom doen vloeien, in de negatieve helften gedraagt de dio- de zich als een volkomen isolator (geen lekstroom).



Van de diode moeten we 2 eigenschappen onthouden:

*De anodestroom is uitsluitend afhankelijk van de waarde en richting van de anodespanning.*¹⁾

*Bij negatieve spanning op de anode laat de diode geen stroom door.*²⁾

De weerstand van de diode in doorlaatrichting bedraagt ten hoogste enkele honderden ohms; bij een moderne enkelfazige gelijkrichter als de PY 82 is dit 75 ohm (15 volt bij 200 mA).

Trioden.

Wanneer tussen de anode en kathode een „rooster” wordt aangebracht, is het mogelijk de stroom door de buis hiermede ook te beïnvloeden.

Dit rooster bestaat uit een dunne metaaldraad, spiraalsgewijs gewikkeld op 2 verticale steundraden.

Het zal niet moeilijk zijn om in te zien dat een negatieve spanning op het stuurrooster (t.o.v. de kathode) de eveneens negatief geladen deeltjes, afkomstig van de kathode, zal afremmen op hun weg naar de positief geladen anode.

Op dit verschijnsel berust het versterkende effect dat met de elektronenbuis mogelijk is.

Stel, dat onder invloed van de anodespanning (250 V \Rightarrow) een stroom gaat

vloeien van bijv. 80 milli-A.; (het stuurrooster is niet aangesloten).

Deze stroom is — evenals bij de diode — uitsluitend afhankelijk van de anodespanning. Nu gaan we het stuurrooster inschakelen: we geven dit bijv. een negatieve spanning van 10 volt t.o.v. de kathode en constateren dan dat de anodestroom is gedaald tot 40 mA.

Met andere woorden: 10 volt spanning negatief op het stuurrooster geeft een anode stroomverandering (ΔI_a) van 40 mA²⁾.

Ofwel 1 volt roosterspanning verandering (ΔV_g) geeft een stroomverandering ΔI_a van 4 mA.

We zeggen dan, dat de steilheid van de buis 4 mA per volt bedraagt; in formule:

$$S = \frac{\Delta I_a}{\Delta V_g} = \frac{0,004}{1} = 4 \frac{\text{mA}}{\text{V}}$$

Nog één stapje en de triode is als versterker gereed: op het stuurrooster sluiten we — behalve de neg. spanning van

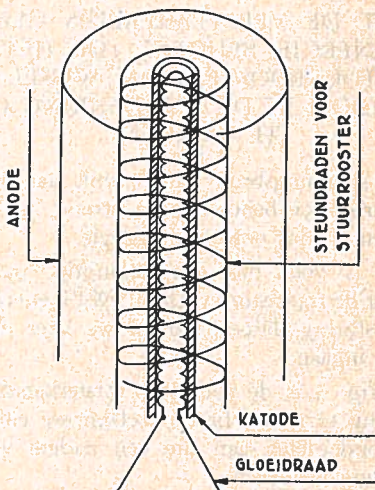


FIG. 2 OPBOUW TRIODE-BUIS

1) We nemen hierbij aan dat de gloei-spanning constant blijft en dat het emitterend vermogen van de kathode niet wordt overschreden.

2) Δ is de Griekse letter „delta” en betekent hier: kleine verandering.

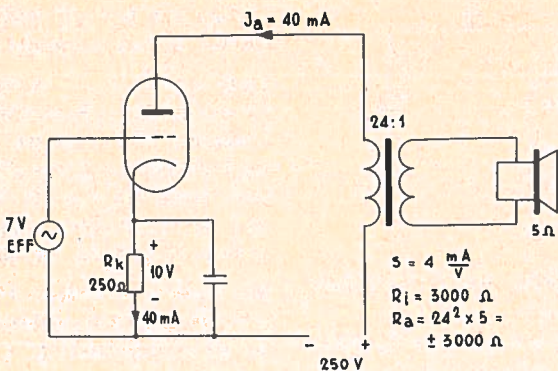


FIG. 3 SCHAKELING VAN EEN TRIODE-EINDBUIS

10 volt — een wisselspanning aan van ten hoogste 10 volt topspanning (7 volt effectief). De wisselspanning wordt gesuperponeert op de gelijkspanning. Er kan nu in de buis een anode wisselstroom worden opgewekt van roosterwisselspanning \times steilheid = $7 \times 4 = 28$ mA eff.

Hieruit blijkt een zeer belangrijke eigenschap nl.:

DAT DE VERSTERKERBUIS GEEN ENERGIE BEHOEFT (OP HET STUURROOSTER) OM WISSELSTROOM IN DE ANODEKRING OP TE WEKKEN. 3)

De spanningsbron van 7 volt aan het stuurrooster behoeft geen stroom te leveren en dus ook geen energie.

Dit is voor ons een belangrijk punt, want de transistor vraagt nl. WEL energie als sturing. Hierop zullen we later dieper ingaan.

In fig. 3 is de complete versterkerschakeling te zien. Hierbij treffen we enkele onderdelen aan die een nadere verklaring behoeven.

Het weerstandje R_k in serie met de kathode zorgt voor de negatieve rooster-spanning van 10 volt, t.o.v. de kathode. Deze neg. voorspanning moeten we altijd zien t.o.v. de kathode en niet t.o.v.

aarde of -anodespanning. Want de elektronen starten vanaf de kathode; de gelijkstroom door de buis vloeit ook door R_k van 250 ohm en veroorzaakt hierover een spanningsverlies van $E = 0,04 \times 250 = 10$ volt. Het stuurrooster is met de negatieve zijde van deze 10 volt verbonden; de kathode met de positieve zijde.

Verder zien we een transformator in de anodeketen. Dit onderdeel is erg belangrijk. De in de buis opgewekte anode-wisselstroom doorloopt de primaire wikkeling en wordt naar de luidspreker van 5 ohm omlaag getransformeerd.

Op het principe van deze aanpassings-transformator zullen we hier niet nader ingaan. We zullen ons trouwens zo weinig mogelijk op zijpaden begeven; alleen het strikt noodzakelijke zal worden behandeld om zo snel mogelijk tot het doel van deze artikelen serie te komen, nl. de overeenkomsten en verschillen tussen transistoren en versterkerbuizen.

Van de transformator in fig. 3 moet nog wel duidelijk zijn, dat hoewel de prim. wikkeling voor gelijkstroom een geringe weerstand heeft (ca. 50 ohm) de wisselstroomimpedantie Z veel groter is, nl. $n^2 \times R$ secundair, dus $24^2 \times 5 = \approx 3000$ ohm.

Deze impedantie is bij een goede transformator onafhankelijk van de frequentie welke op het stuurrooster wordt aangesloten. De prim. zelfinductie moet dan hoog en de eigen capaciteit van de prim. wikkeling laag zijn.

Gebruiken we bij eindbuizen een aanpassingstranf. om de wisselstroomenergie van de buis naar de luidspreker te brengen, bij de zgn. spannings- of versterkerbuizen nemen we hiervoor een weerstand.

Het verschil tussen eind- en voorversterkerbuizen kunnen we aldus aangeven: een eindbuis dient om energie te leveren aan de luidspreker; met een voor- of spanningsversterkerbuis wordt een kleine spanning, variërend van enkele milli-volts tot enkele tienden volts zodanig versterkt, dat hiermede een eindbuis kan worden uitgestuurd.

Volgens het voorbeeld van fig. 3 dus de roosterwisselspanning van 7 volt eff. Jammer genoeg heeft het aanbrengen van een anodeweerstand of uitgangstransformator een onaangename consequentie: de versterking vermindert nl. aanzienlijk.

We moeten hierin echter wel berusten, want de anode-impedantie (in het ver-

volg Ra of soms Za genaamd) is een noodzakelijk kwaad.

In fig. 4 is de schakeling getekend voor een triode-spanningsversterker.

Van deze schakeling zullen we trachten de versterking te berekenen.

Daarvoor moeten we eerst het begrip „inwendige weerstand” van een triode verklaren.

Hiermede wordt niet de gelijkstroomweerstand van de buis bedoeld.

anodespanning

anodestroom

Deze weerstand is voor berekening niet geschikt, omdat hij voor elke negatieve roosterspanning een andere waarde heeft, (waarom, geachte lezer?).

Onder de Ri van een buis verstaan we de anodestroomverandering, veroorzaakt door een bepaalde anodespanningverandering; in formule:

$$R_i = \frac{\Delta E_a}{\Delta I_a}$$

Bij de buis van fig. 4 is dit 25 k ohm.

Dit is te meten door bij de buis, (zonder Ra) de anodespanning van 250 volt te verlagen tot 200 volt. Hierdoor daalt de anodestroom in ons voorbeeld van 8 naar 6 mA.

Dus:

$$\frac{\Delta E_a}{\Delta I_a} = \frac{50}{0,002} = 25000 \text{ ohm.}$$

Als de lezer het bovenstaande erg moeilijk vindt, kan hij volstaan met stelregel 4 te onthouden:

Bij de triode is de anodestroom afhankelijk van stuurrooster en anodespanning. 4)

Nu komen we tot de kern van de zaak: hoe groot is eigenlijk de versterking die we met de schakeling van fig. 4 kunnen behalen?

We bedoelen hiermede de verhouding van de uitg. wisselspanning en de ing.

(rooster) wisselspanning $\frac{E_a}{E_g}$

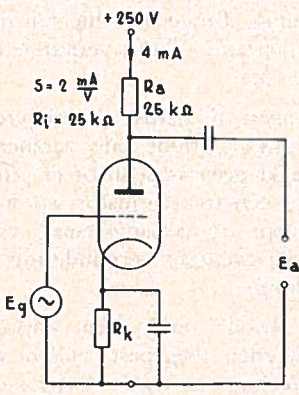


FIG. 4 SCHAKELING VAN TRIODE-SPANNINGS-VERSTERKER

Hiervoor is een gemakkelijke formule bekend: $\frac{E_a}{E_g} = S \times R_v^*$

*)

Deze formule wordt als volgt afgeleid: Tengevolge van de wisselspanning op het stuurrooster en afhankelijk van de steilheid zal er een wisselstroom willen vloeien van $S \times E_g$. Deze stroom vloeit ook door de anodeweerstand; er zal dan over deze weerstand een spanning komen te staan van $E_a = I_a \times R_a$.

Maar tengevolge van deze wisselspanning E_a zal de anodestroom aan veranderingen onderhevig zijn; zie stelregel 4. De beide stroomrichtingen werken elkaar tegen, dus de totale I_a zal zijn:

$$I_a = S \times E_g - \frac{E_a}{R_a}$$

(dit laatste lid van de vergelijking is verkregen door de uitdrukking $E_a =$

$$I_a \times R_a \text{ om te vormen tot } I_a = \frac{E_a}{R_a}).$$

Uit de definitie van de inw. weerstand weten we verder nog, dat

$$R_i = \frac{E_a}{I_a} \text{ of } I_a = \frac{E_a}{R_i}.$$

Deze uitdrukking gebruikende komen we tot de vergelijking: $\frac{E_a}{R_i} = S \times E_g - \frac{E_a}{R_a}$ of $\frac{E_a}{R_i} + \frac{E_a}{R_a} = S \times E_g$.

Hierin komen voor E_a en E_g , waarvan we de verhouding willen bepalen. Er resten hiertoe slechts enkele algebraïsche bewer-

$$\text{kingen: } \frac{E_a}{R_i} + \frac{E_a}{R_a} = S \times E_g \quad \text{of}$$

$$E_a \left(\frac{1}{R_i} + \frac{1}{R_a} \right) = S \times E_g.$$

$$\text{Hieruit volgt: } \frac{E_a}{E_g} = \frac{S}{\frac{1}{R_i} + \frac{1}{R_a}}$$

Uit de berekening van parallel geschakelde weerstanden weten we dat

$$\text{de uitdrukking } \frac{1}{R_i} + \frac{1}{R_a} \text{ betekent } \frac{1}{R_v}.$$

$$\text{Dus: } \frac{E_a}{E_g} = \frac{S}{\frac{1}{R_i} + \frac{1}{R_a}} = \frac{S}{\frac{1}{R_v}} \text{ ofwel:}$$

$$\frac{E_a}{E_g} = S \times R_v.$$

Hierin is S de steilheid van de buis en R_v de parallelweerstand van R_i en R_a .

De versterking van de schakeling is dan $0,002 \times 12,5 = 25$ voudig.

Dat wil zeggen, dat bij een spanning van 0,1 V op het stuurrooster de uitg. spanning 2,5 volt zal bedragen; bij 1 V ing. komt op de uitg. klemmen 25 V enz. Dit liniaire verband wordt begrensd door de buiseigenschappen en de aangelegde anodespanning. In fig. 4 zal E_a ten hoogste 35 volt kunnen worden; overigens meer dan voldoende voor het uitsturen van een eindbuis.

Het zal de aandachtige lezer opgevallen zijn, dat de bereikbare versterking wel wat tegenvalt: we meenden eigenlijk dat bij een steilheid van 2 mA en een R_a van 25 kohm de uitg. wisselspanning 50 volt zou worden, (bij $V_g = 1$ volt). Dit verlies in versterking wordt veroorzaakt door de anodeweerstand.

Lezen we stelregel 3 nog eens over. Als de anodespanning afneemt, zal ook de anodestroom dalen. Bij uitsturen van de triode gebeurt dit juist: want bij een positieve impuls op het stuurrooster neemt de I_a toe; maar over de R_a ontstaat dan een groter spanningsverlies, ofwel een daling van de werkzame anodespanning. Tengevolge hiervan daalt de I_a een bepaalde faktor; verminderde versterking dus.

We kunnen dit gerust als een groot bezwaar van de triode buis aanmerken.

Het maakt geen verschil of er een weerstand of een transformator wordt toegepast. Door de uitgangstranf. van fig. 3 ontstaat eveneens vermindering van de versterking.

Omdat triode eindbuizen vrijwel niet meer worden toegepast, zullen we aan de schakeling van fig. 3 verder niet meer rekenen. Bij de pentode eindbuis zullen we straks onderzoeken hoe groot

hierbij de bereikbare versterking bedraagt en tevens het rendement hiervan bespreken.

Schermroosterbuizen.

Hierbij is het gelukt het verschijnsel van verminderde versterking door de R_a (of Z_a) nagenoeg te elimineren.

Dit is bereikt door tussen het stuurrooster en de anode nog een rooster aan te brengen; net als het stuurrooster is dit gewikkeld van dun metaal draad op twee verticale steundraden.

Dit schermrooster wordt aangesloten op een constante spanning van ≈ 100 volt bij versterkerbuizen en 250 V bij eindbuizen.

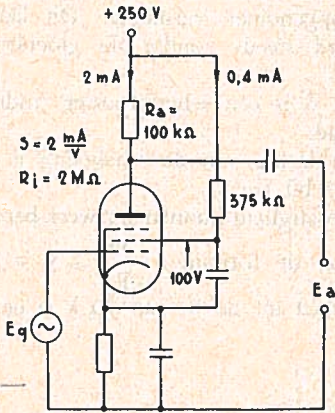


FIG. 5 SCHAKELING VAN SCHERMROOSTER-BUIS ALS SPANNINGSVERSTERKER

Deze spanning behoort ook tijdens de werking (uitsturing) van de buis goed constant te blijven.

We kunnen voor een goed begrip van de schermroosterbuis het eenvoudigst de combinatie van kathode, stuur- en schermrooster als een triode buis opvatten.

Hiervoor geldt dan weer stelregel 3: anodestroom is afhankelijk van stuurrooster- en anodespanning (in dit geval schermroosterspanning).

Dat achter het schermrooster nog een elektrode aanwezig is (en hiervan is tijdens de uitsturing v. d. buis de werk-

zame spanning niet constant) zal niet zoveel ter zake doen.

Wel zullen vele elektronen dank zij de aantrekking van het schermrooster en omdat dit erg grofmazig is geconstrueerd, hier doorheen naar de anode vliegen. Er vloeit dus wel anodestroom, maar de waarde hiervan is *nagenoeg alleen afhankelijk van stuurrooster- en schermroosterspanning.* 5)

Een schakeling met een schermroosterbuis is getekend als fig. 5.

De versterking hiervan laat zich nu eenvoudig berekenen, want ook thans gaan

we uit van de formule $\frac{E_a}{E_g} = S + R_v$.

Maar in fig. 5 zien we dat R_a 100 k ohm is geworden. En de R_i van de buis? Hiervoor denken we eens aan de definitie van de inwendige weerstand:

$$R_i = \frac{\Delta E_a}{\Delta I_a}$$

Maar deze R_i zal erg groot worden als ΔI_a klein is.

En dat is bij de schermroosterbuis inderdaad het geval: als de anodespanning varieert van 250 tot 150 volt, dan zal de I_a slechts 8,05 mA lager worden.

Volgens de formule $R_i = \frac{\Delta E_a}{\Delta I_a}$ wordt

$$\text{deze } \frac{100}{0,05 \times 10^{-3}} = 2 \text{ meg ohm.}$$

In de formule voor het berekenen van de versterking dienen we als R_v dus te berekenen wat de vervangingsweerstand is van 2 M Ω en 100 k Ω .

We maken echter slechts een fout van 5% als we ons hier wat gemakkelijk van af maken door te stellen.

$$\frac{E_a}{E_g} = S \times R_v$$

We vinden dan een versterking van 200×1 . Dat is hecl wat meer dan bij de triode ($25 \times$).

Het is heel begrijpelijk, dat in de meeste gevallen een schermroosterbuis verkozen

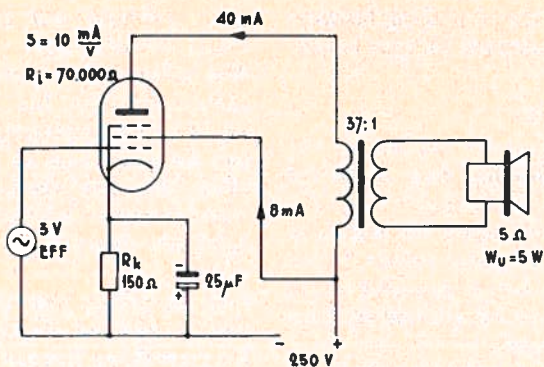


FIG. 6 SCHAKELING VAN SCHERMROOSTERBUIS ALS EINDVERSTERKER

wordt boven de triode. De triode moet trouwens op meerdere punten de eer aan de schermroosterbuis laten. Door zijn hogere R_i is de laatste veel beter geschikt voor hoogfrequent-versterking, terwijl door de veel geringere capaciteit tussen anode en stuurrooster ook minder kans is op terugkoppeling (genereren). Ook als eindbuis doet de schermroosterbuis het veel beter dan de triode.

De gevoeligheid is groter en de buis kan een rendement halen van 50%.

Bij eindbuizen verstaan we hieronder de

verhouding van het te leveren wisselstroomvermogen, t.o.v. het uit de voeding opgenomen vermogen. Dit laatste uiteraard steeds zonder de gloeidraad-energie.

In fig. 6 is een schermrooster eindtrap getekend.

De verklaring van de schakeling is geheel als bij fig 3.

De gevoeligheid kunnen we weer berekenen met de formule:

$$\frac{E_a}{E_g} = S \times R_v$$

R_v bestaat uit de R_i van 70 k Ω en de

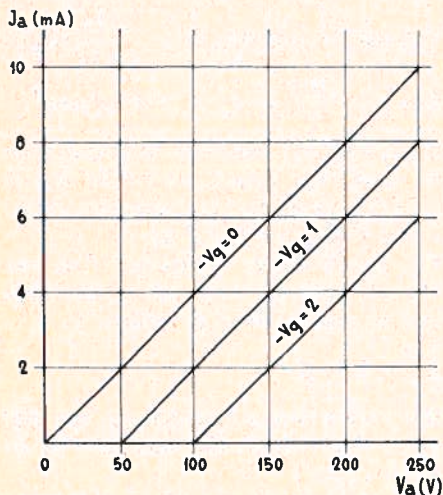


FIG. 7 $J_a - V_a$ KARAKTERISTIEKEN VAN EEN TRIODE BUIS

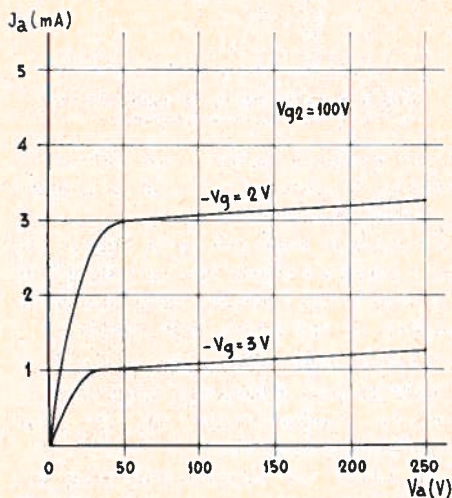


FIG. 8 $J_a - V_a$ KARAKTERISTIEKEN VAN EEN PENTODE BUIS

Z van de prim. transf. wikkeling van $n^2 \times R_{\text{sec}} = 37^2 \times 5 = \approx 7000 \Omega$.
 $S \times R_v = 0,01 \times 6300 = 63$ voudig.
Rekenen we van stuurrooster naar luidspreker, dan moeten we dit getal nog delen door de transf. verhouding. We vinden dan een faktor $\frac{63}{37} = 1,7$.

Bedenken we verder dat deze eindbuis ongeveer 5 watt energie aan de luidspreker kan leveren, dan is hiervoor een spanning E_g nodig van $\frac{5}{1,7} = 3$ volt. (de luidspreker heeft een weerstand van 5 ohm). Voor 5 watt is dus 3 volt nodig.

Tot nu toe is steeds gesproken over „schermrooster” buizen. Om precies te zijn moeten we onderscheid maken tussen tetrode en pentode buizen. In de laatste soort is nog een rooster aangebracht tussen schermrooster en anode. Dit 3e rooster, rem- of keerrooster genaamd, dient om secundaire elektronen,

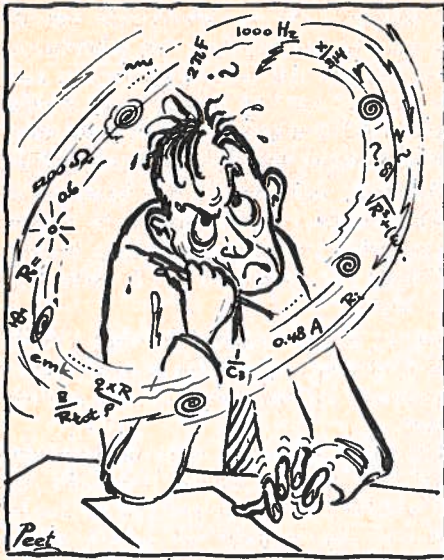
losgeslagen uit de oppervlakte van de anode, te beletten naar het schermrooster te gaan. Als het remrooster niet aanwezig is, kan de tetrode buis minder ver worden uitgestuurd. Het remrooster is verbonden met de katode aan de buis.

Alvorens ons nu in de werking en schakelingen van transistors te verdiepen is het voor een goed begrip hiervan gewenst de figuren 7 en 8 even door te nemen.

Hierin is het verloop getekend van de anodestroom, afhankelijk van de anodespanning bij een triode en een pentode buis.

Uit fig. 7 blijkt hoe sterk de I_a afhankelijk is van V_a bij een triode. In fig. 8 zien we, dat bij de pentode de anodestroom over vrijwel het gehele gebied onafhankelijk is van de anodespanning. Deze twee soorten grafieken, genaamd $I_a - V_a$ karakteristieken, zullen we ook bij de transistors tegenkomen, al heten ze dan anders.

(wordt vervolgd).



Examenantwoorden

60-034

$$1. R = \frac{E}{I} = \frac{220}{0,4} = 550 \Omega.$$

$$2. \cos \varphi = \frac{\text{werkelijk vermogen } P}{\text{schijnbaar vermogen } P_s} = \frac{P}{20}.$$

Het werkelijke vermogen $P = 20 \times 0,5 = 10$ watt.

3. Het nuttig afgegeven vermogen $P_n = 6000$ watt.
Het toegevoerde vermogen

$$P_t = \frac{6000}{0,8} = 7500 \text{ watt.}$$

$$P_t = E \times I$$

$$7500 = 220 \times I$$

$$I = \frac{7500}{220} = \approx 34 \text{ A.}$$

Het toegestane spanningsverlies is: 4% van $220 \text{ V} = 8,8 \text{ V}$.

De weerstand van de geleidingen is:

$$R = \frac{E_v}{I} = \frac{8,8}{34} = 0,26 \Omega.$$

De doorsnede van de geleidingen moet dan zijn:

$$0,26 = \frac{0,0175 \times 800}{0,26} = \approx 54 \text{ mm}^2.$$

4. De lengte van de toevoerleidingen is $2 \times 100 = 200$ m.

Het totale verbruik bedraagt:

$$10 \times 200 = 2000 \text{ watt}$$

$$6 \times 40 = 240 \text{ watt}$$

$$16 \times 25 = 400 \text{ watt}$$

$$2640 \text{ watt}$$

Het toegestane spanningsverlies is $1,5\%$ van $220 \text{ V} = 3,3 \text{ V}$.

$$\text{De totale stroom } I = \frac{W}{E} =$$

$$\frac{2640}{220} = 12 \text{ A.}$$

De weerstand van de toevoerleidingen is:

$$R = \frac{E_v}{I} = \frac{3,3}{12} = 0,275 \Omega.$$

De doorsnede van deze draden is dan:

$$q = \frac{0,0175 \times 200}{0,275} = 12,72 \text{ mm}^2.$$

5. Tijdens het laden en ontladen van accumulatoren verandert het volume van de actieve massa. Er bestaat dus kans, dat als deze volumeverandering niet gelijkmatig plaats vindt, de platen kromtrekken.

De volume verandering vertoont zich het sterkst bij de positieve platen. Wanneer er nu één positieve plaat tussen twee negatieve platen is aangebracht, is de kans op kromtrekken sterk verminderd.

Reeds eerder hebben we gezien, dat de kabeldemping wordt beïnvloed door de grondtemperatuur. De versterkers, welke de kabeldemping moeten compenseren, hebben een enigermate regelbare versterkingsgraad om deze dempingsvariatie op te kunnen vangen.

Hoe deze dempingvariatie gemeten wordt en hoe de versterkingsgraad van de lijnversterkers gewijzigd wordt, is besproken in het voorgaande artikel.

In principe wordt deze meet- en (hand)-regelmethode reeds ca. 20 jaar in de draaggolftransmissie-techniek toegepast.

Sinds enige jaren echter wordt er op een bepaalde draaggolfroute in het westen van ons land een proef genomen met automatisch geregelde lijnversterkers.

De grootte van de versterkingsgraad der op deze route toegepaste lijnversterkers wordt door de gebruikte automatische regelapparatuur direct afhankelijk gesteld van de grondtemperatuur en is dus niet afhankelijk van gemeten dempingsvariaties.

In dit artikel zal de bewerking van deze automatische regelaar („Centrale regelaar” genoemd bij de Centrale Afdeling Transmissie), welke binnen afzienbare tijd in Nederland op de belangrijkste transmissieroutes in bedrijf zullen worden gesteld, in principe uiteengezet worden.

Als de dempingsveranderingen van een kabelader het gevolg zijn van (grond)-temperatuurswijzigingen, dan zou het een goede oplossing zijn deze dempingsveranderingen dienstbaar te kunnen maken aan regelapparatuur, welke de versterkingsgraad van de lijnversterkers in overeenkomstige grootte zou beïnvloeden. In feite gebeurt dit dan ook.

We weten dat een ongepupiniseerde dub-

belader behalve ohmse weerstand ook capaciteit vertegenwoordigt. De beide andere kabelgrootheden, zelfinductie en geleidbaarheid tussen beide aders onderling, mogen we voor ons geval verwaarlozen, daar deze grootheden de werking van de centrale regelaar niet beïnvloeden. Aan de hand van berekeningen is te zien, dat de beide, eerstgenoemde grootheden (weerstand en capaciteit) bij temperatuursveranderingen zullen variëren. De weerstandsvariatie gaan we nu ten nutte maken in onze centrale regelaar-apparatuur.

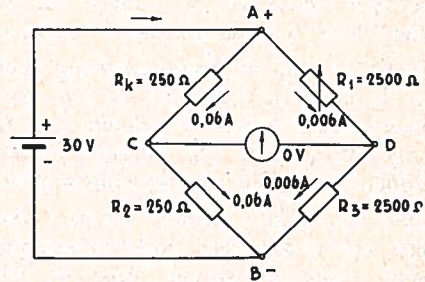


FIG. 72

Figuur 72 toont ons een brugschakeling van Wheatstone bestaande uit de weerstanden R_k , R_1 , R_2 en R_3 .

De weerstand R_k stelt de ohmse weerstand voor van een kabeldubbelader, welke aan het einde, niet op de brugschakeling, is kortgesloten.

Denken we ons het moment dat de grondtemperatuur juist $+ 10^\circ \text{C}$ is. Zoals reeds vroeger gezegd, varieert de grondtemperatuur op 75 cm diepte in ons land praktisch maximaal van 0°C tot $+20^\circ \text{C}$ zodat $+10^\circ \text{C}$ als gemiddelde genomen mag worden.

Bij de temperatuur van $+ 10^\circ \text{C}$ zal R_k een bepaalde ohmse weerstandswaar-

de vertegenwoordigen. De weerstand R_2 wordt gelijkgemaakt aan R_k (bij 10 °C). Verder worden de weerstanden R_1 en R_3 aan elkaar gelijkgemaakt.

Daar de brugschakeling in de geschetste situatie „in evenwicht” is, zal een tussen de punten C-D geschakeld meetinstrument geen uitslag vertonen, indien op de punten A-B van de schakeling een gelijkspanning is aangesloten.

Zal R_k nu in waarde toe-of afnemen als gevolg van temperatuurstijging of daling, dan zal het brugevenwicht verstoord worden met als gevolg dat de brugtak C-D niet meer stroomloos is en de meter een uitslag naar rechts of links aangeeft, afhankelijk van de stroomrichting door C-D. Met behulp van de regelbare weerstand R_1 kunnen we de brug echter weer in evenwicht brengen.

Figuur 72 geeft de stroomverdeling weer als de brug in *evenwicht* is. De voltmeter, welke tussen de punten C-D is aangesloten, heeft een nulpunt in het midden en is een draaispoelinstrument.

Voor ons gemak nemen we aan, dat deze meter een zeer hoge impedantie heeft, zodat de stroom door de tak C-D te verwaarlozen is. Zowel in C als in punt D zal t.o.v. punt B een potentiaal verschil van 15 V bestaan. De voltmeter zal in zijn midden nulstand staan. Figuur 73 geeft de stroomverdeling in de brug weer als de waarde van R_k is *toegenomen* van 250 ohm tot 350 ohm.

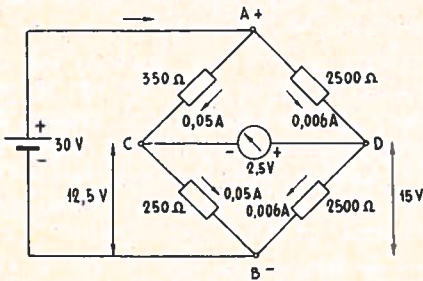


FIG. 73

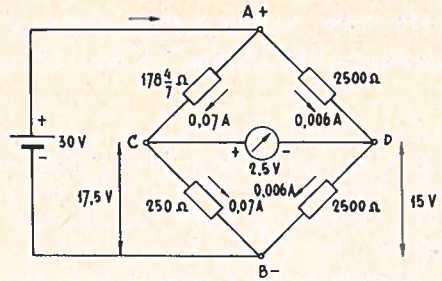


FIG. 74

Als gevolg van deze weerstandsverandering is er tussen de punten C en D nu wel een potentiaal verschil ontstaan van 2,5 V. De polariteit tussen deze punten is nu zodanig, dat punt D positief is t.o.v. punt C.

Figuur 74 geeft als derde geval de stroomverdeling weer als R_k in waarde is *afgenomen* van 250 ohm tot 178 4/7 ohm. Er is weer een potentiaal verschil van 2,5 volt tussen de punten C en D, doch de polariteit van deze twee punten t.o.v. elkaar is nu omgedraaid. In al deze drie genoemde gevallen is de polariteit van de voedingsspanning gelijk gebleven.

We vervangen de aangelegde gelijkspanning op de punten A-B nu door een wisselspanning, en het gelijkstroommeetinstrument door een wisselstroommeetinstrument. Beschouwen we nu weer de drie zojuist behandelde gevallen dan zal voor het eerste geval (brug in evenwicht) de meter weer niets aanwijzen.

Voor het tweede geval, als $R_k = 350$ ohm, ontstaat er ook nu tussen de punten C en D een potentiaal verschil, waarvan de polariteit zich wijzigd overeenkomstig die van de voedingsspanning tussen de punten A-B.

De wisselspanningsmeter zal ook nu een spanningsverschil van 2,5 V aanwijzen.

In het derde geval, als $R_k = 178$ 4/7 ohm, zal wederom de spanning aan de punten C-D 2,5 V bedragen.

Aan de hand van de voorbeelden met gelijkspanning kunnen we nu echter wel inzien, dat bij wisselspanningsvoeding de fase van de op de punten C-D aanwezige spanning voor het tweede en derde geval juist gedraaid is. We behoeven hiertoe maar een zodanige momentele waarde van de voedingswisselspanning te beschouwen dat punt A juist maximum positief is t.o.v. punt B, waardoor de vergelijking met de gelijkspanningsvoorbeelden makkelijk in te zien is.

We zagen reeds eerder, dat we een verstoord brucevenwicht, als gevolg van waarde-verandering van R_k , weer herstellen konden door de regelbare weerstand R_1 in waarde te wijzigen. Tot nu toe hebben we de kabelader-weerstand (van onze „meetlus”) als een ohmse weerstand voorgesteld. In werkelijkheid bestaat deze impedantie echter hoofdzakelijk uit een parallelschakeling van een weerstand en capaciteit, welke *beiden* onder invloed van temperatuurswijzigingen in waarde veranderen.

Willen we dus nu de brugschakeling in evenwicht hebben, dan moeten we de schakeling van figuur 75 toepassen.

Weer uitgaande van de gemiddelde grondtemperatuur ($+10^\circ\text{C}$), zullen R_k en C_k ieder een bepaalde waarde vertegenwoordigen.

R_2 maken we weer gelijk aan R_k en C_1 gelijk aan C_k .

Als $R_1 = R_3$, dan zal aan de punten

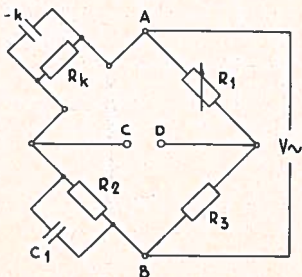


FIG. 75

C-D geen potentiaal verschil te meten zijn.

Onder invloed van temperatuurswijzigingen veranderen de waarden van C_k en R_k met als gevolg dat er een spanning op de punten C-D ontstaat.

Deze spanning kunnen we als het ware ontleden in een spanning met een ohmse component en een spanning met een capacatieve component, waartussen onderling een fase-verschuiving van 90° bestaat. Met behulp van de regelbare weerstand R_1 kunnen we de brug wel ohms in evenwicht brengen, doch blijft er toch over C-D een spanning bestaan als gevolg van het capacatief onevenwicht.

Na deze inleiding gaan we aan de hand van figuur 76 de principiële werking van de centrale regelaar onder de loupe nemen. Bij beschouwing van deze figuur zien we in de eerste plaats de Wheatstone brugschakeling, bestaande uit de brugtakken A-C, C-B, B-D en D-A.

De brugtak A-C bestaat uit de impedantie Z_k , welke wordt vertegenwoordigd door de als fantoom geschakelde meetlus, met in serie een kleine testweerstand, waarop later wordt teruggekomen.

De tak B-C bestaat uit de weerstand R_{2b} , welke in waarde gelijk is aan de ohmse weerstandwaarde van Z_k bij 10°C grondtemperatuur. De weerstand R_{2a} in dezelfde brugtak is eveneens een testweerstand.

In evenwichtstoestand van de brugschakeling bij 10°C grondtemperatuur moeten de brugtakken A-D en B-D aan elkaar gelijk zijn. De weerstanden R_{1a} en R_{3a} zijn altijd aan elkaar gelijk, terwijl de weerstandswaarde $R_{1b} + R_{1c}$ gelijk is aan R_{3b} in de zojuist genoemde evenwichtstoestand.

In deze toestand zullen de weerstandswaarden van de takken A-C en B-C zich verhouden tot de waarden van de takken A-D en B-D als 1 : ca. 20.

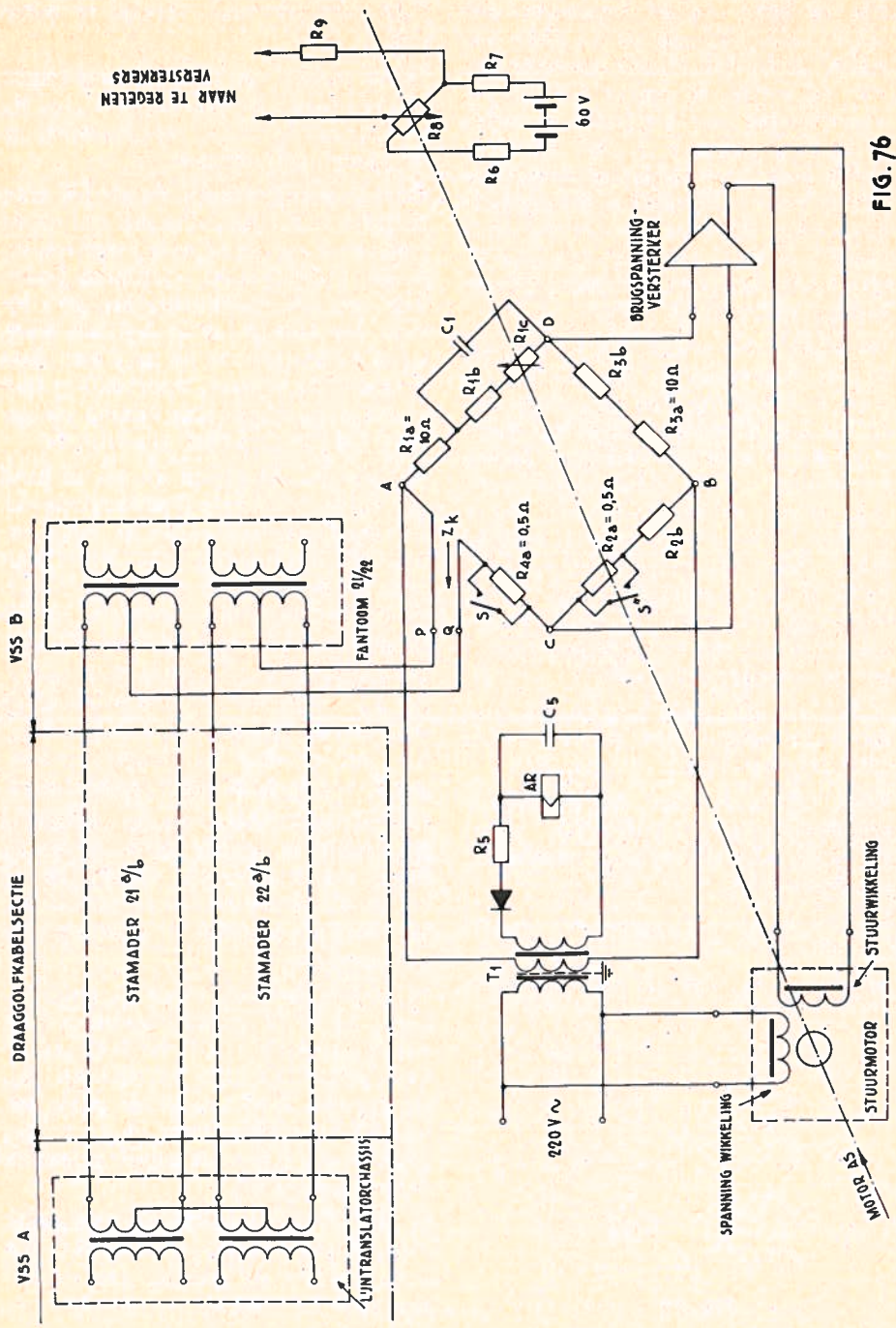


FIG. 76

Deze verhouding wordt o.a. bepaald door de lengte van de te regelen kabelsectie en de grondtemperatuursvariatiës.

De weerstand R_{1c} is variabel en is mechanisch gekoppeld met de as van de stuurmotor. Deze stuurmotor heeft twee (stator) wikkelingen. Eén van de wikkelingen, welke we de spanningswikkeling zullen noemen, staat constant aangesloten op de voor de brug benodigde voedingsspanning. De andere wikkeling, de zogenaamde stuurwikkeling, is verbonden met de uitgang van de „brug-spannings”versterker. Afhankelijk van de faserelatie tussen de spanningen op de spanningswikkeling en stuurwikkeling en de grootte van deze spanningen, zal het (kortsluit)anker van dit motortje rechts- of linksom gaan draaien en zal hiermede de waarde van R_{1c} bijvoorbeeld vergroten of verkleinen.

Het instellen van de centrale regelaarapparatuur geschiedt in principe als volgt, waarbij wij in de eerste instantie voor ons gemak uitgaan van een grondtemperatuur, welke juist 10°C bedraagt.

Met behulp van een „wisselstroom meetbrug”¹⁾ wordt van de meetlus der te regelen kabelsectie (dus de fantoomverbinding 21/22) zowel de ohmse weerstand R_k als de capaciteit C_k bepaald.

In deze meting is ook de binnenbekabeling tussen lijntranslatorchassis en de punten P-Q van de centrale regelaar opgenomen. Nu wordt de waarde van R_{2b}

gelijk gemaakt aan de ohmse waarde van de zojuist gemeten weerstandlus. Omdat de centrale regelaar bij 10°C grondtemperatuur in het midden van zijn regelmogelijkheid moet staan, wordt de weerstand R_{1c} op zijn halve totale waarde ingesteld.

Aan de hand van een berekening²⁾ kunnen we nu de waarde van $R_{1b} +$ (halve) R_{1c} bepalen, waaraan tevens R_{2b} gelijk gemaakt moet worden. Zoals reeds eerder gezegd, zijn de weerstandswaarden van de takken A-D en B-D ongeveer het 20-voudige van de waarden der takken A-C en B-C. Om de Wheatstone brug nu ook nog capaciteef in evenwicht te brengen, moeten we over de weerstand R_{2b} een condensator aanbrengen, waarvan de capaciteit gelijk is aan de gemeten capaciteit van onze meetlus (C_k).

In werkelijkheid wordt er echter over de weerstanden $R_{1b} - R_{1c}$ een capaciteit aangebracht, hetgeen tot voordeel heeft dat deze capaciteit (C_1) nu in de verhouding $\frac{R_k}{R_{1b} + R_{1c}}$

kleiner genomen kan worden, dus ongeveer $1/20$ van de gemeten meetluscapaciteit, welke in de grootte-orde van $0,5 \mu\text{F}$ ligt.

Nu we de brugtakken hebben ingesteld, sluiten we op de diagonaal A-B een voedingsspanning aan welke bijvoorbeeld 30 V bedraagt en via een trafo T_1 wordt betrokken uit de netvoeding. Op deze zelfde netspanning is de spanningswikkeling van de stuurmotor aangesloten.

Op de diagonaal C-D is de ingang van de brugspanningsversterker aangesloten, terwijl de uitgang van deze versterker wordt verbonden met de stuurwikkeling van de motor. Daar de brugschakeling

²⁾ In deze berekening komen de groottheden, „lengte kabel” en „weerstand-coëfficiënt” voor.

¹⁾ In figuur 77 wordt de meetopstelling weergegeven voor de bepaling van de meetlus weerstand en capaciteit.

Alhoewel we in dit artikel voor het gemak een grondtemperatuur hebben aangenomen van 10°C , zal in de praktijk de bepaling van de genoemde groottheden meestal bij afwijkende temperaturen dienen te geschieden. Aan de hand van enige berekeningen kunnen de gemeten waarden van C_k en R_k dan teruggerekend worden voor 10°C .

in evenwicht is, zal op de ingang van de versterker geen spanning aanwezig zijn en dus ook niet op de stuurwikkeling van de motor. Op de motor-as wordt geen koppel uitgeoefend, zodat de waarde van de regelbare weerstand R_{1c} (mechanisch met de motor gekoppeld) ongewijzigd blijft.

We nemen aan, dat de grondtemperatuur stijgt, waardoor zowel de meetluscapaciteit C_k als de meetlusweerstand R_k in grootte stijgen. Hierdoor wordt dus het brugevenwicht verstoord en zal er over de brugdiagonaal C-D een wisselspanning ontstaan. Via de brugspanningsversterker zal deze diagonaalspanning een stroom in de stuurwikkeling doen ontstaan, welke een zodanige fase-relatie met de stroom door de spanningswikkeling heeft, dat de motor-as een bepaalde richting zal gaan draaien. Deze richting is zodanig gekozen, dat de aan deze as gekoppelde weerstand R_{1c} in waarde toe gaat nemen. Dit heeft tot gevolg, dat de diagonaalspanning in waarde af gaat nemen.

De diagonaalspanning, welke zojuist beredeneert ontstond en door de toename van R_{1c} af gaat nemen, bestaat zoals reeds eerder gezegd, uit een „weerstandspanning” tengevolge van de wijziging in grootte van R_k en een „capaciteitspanning” tengevolge van de wijziging van C_k . Tussen beide componenten bestaat een faseverschuiving van 90° .

Nu zal door het toenemen van de weerstandswaarde van R_{1c} de „ohmse” spanningscomponent tot nul kunnen dalen, doch blijft er diagonaalspanning bestaan als gevolg van de praktisch ongewijzigde „capacitieve” spanningscomponent. Daar deze spanning echter 90° verschoven is t.o.v. de „weerstandspanning”, zal hierdoor geen koppel op de motor-as worden uitgeoefend.

Het regelmotortje reageert dus alleen op

de weerstandsverandering van de kabelmeetlus.³⁾

Uit het zojuist besprokene is aan de hand van de gelijkspanningsvoorbeelden wel in te zien, dat bij het dalen van de grondtemperatuur het regelmotortje juist in de andere richting zal gaan draaien, totdat de brug weer „ohms” in evenwicht is.

Er zal dus slechts bij 10°C grondtemperatuur een *volledig* brugevenwicht kunnen ontstaan, zodat op de uitgang van de brugspanningsversterker geen spanning aanwezig is. Bij alle daarvan afwijkende grondtemperaturen zal de brug zich alleen „ohms” in evenwicht brengen en zullen we in deze evenwichtstoestand toch een („capacitieve”) spanning aan de uitgang van de versterker meten.

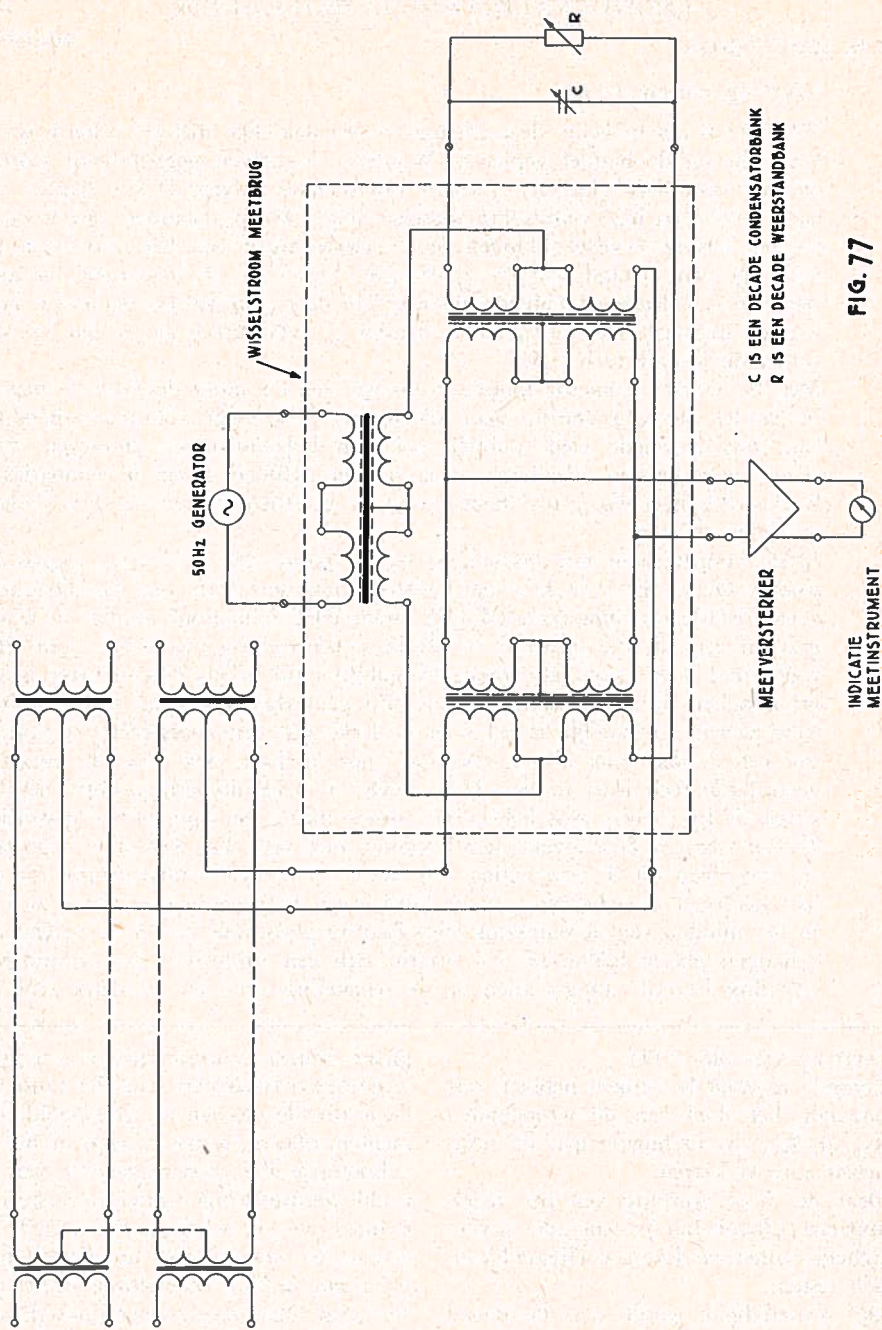
Nu we de beschikking hebben over een regelapparaat wat reageert op dezelfde grondtemperatuurswijzigingen ten gevolge waarvan de kabelader-transmissiedempingsveranderingen ontstaan, kunnen we met behulp van dit apparaat automatisch de versterkingsgraad van de betreffende lijnversterkers laten wijzigen.

Daartoe worden op de motor-as mechanisch enige variabele weerstanden gekoppeld, welke ieder een onderdeel vormen van even zo vele weerstandsnetwerkjes (zoals voorgesteld door de weerstanden R_6 , R_7 , R_8 en R_9). Enerzijds zijn deze netwerkjes aangesloten op de 60 V spanningsvoorziening van het versterkerstation, anderzijds zijn deze verbonden met de temperatuurcompensatiecircuits van de te regelen lijnversterkers, zodat de grootte van de temperatuurcompensatieregelspanning nu direct afhankelijk is van de grondtemperatuur.

Nu we in principe de werking van de

3) Deze beredenering gaat alleen op als de capacitieve waardeveranderingen relatief klein zijn t.o.v. de ohmse waardeveranderingen. In ons geval is dat ook inderdaad zo.

MEETLUS VAN DE CENTRALE REGELAAR



C IS EEN DECADE CONDENSATORBANK
R IS EEN DECADE WEERSTANDBANK

FIG. 77

DEMONSTRATIE-TOESTELLEN

J. H. SCHUILENGA

60-036

(Vervolg van blz. 93).

Tenslotte is het mogelijk de golflengte te bepalen. Een metalen scherm wordt loodrecht op de bundel geplaatst. Wanneer de golven gereflecteerd worden ontstaat vóór deze plaat een patroon van staande golven. D.w.z. punten van hoge golven en lage veldsterkte wisselen elkaar af op afstanden van $\frac{1}{4}$ golflengte. Tussen 2 verzwakkingen óf 2 versterkingen van het ontvangen geluid ligt een afstand van $\frac{1}{2}$ golflengte. Door nu de ontvanger te voorzien van een daartoe geëigende antenne kan de ruimte tussen zender en plaat worden afgetast. De ontvanger is daarbij te verschuiven langs een in cm's verdeelde lineaal (afb. 14).

Met dit uiterst ingenieuze toestel is dus wel een en ander duidelijk te maken. In handen van een vaardig man, die tevens over goede voordracht beschikt, kan men hiermede welk publiek ook een boeiend uurtje bezorgen. Niet alleen de technische scholieren, maar ook de HBS'ers B en de gymnasiasten B, die toch heel wat gehad hebben van de golftheorie, kunnen deze demonstratie waarderen.

In de voordrachten met betrekking tot de radio valt al spoedig ergens het woordt *kristal*. Er is in het voordrachtenprogramma zelfs een die uitsluitend over kristallen en hun vervaardiging (waar PTT zo'n groot aandeel in heeft) gaat en een filmpje daarover wordt in samenwerking met DNL door PPD voorbereid. Het kristal als frequentie-stabiliserend of als filterelement is van groot belang in de telecommunicatie. Zo gemakkelijk als het woord gehanteerd wordt, zo moeilijk is het voor de leek, zich een voorstelling te vormen van een *kristal*. Niet alleen trouwens voor de leek, ook voor de enigszins gevorderde technicus, in de HTS-, UTS- of LTS-uitvoering, blijft het iets vaags als hij er niet eens behoorlijk visueel mee geconfronteerd is geworden. *Trillen van een kristal* zegt hem voordien niet veel. Een kristal te exposeren en bovendien dit te *zien* trillen was het doel van een onderneming die geleid heeft tot de schepping (door DNL) van hetgeen in afb. 15 te zien is. In het midden van de enigszins merkwaardig gevormde kast is de verend opgehangen glazen ballon te zien waarin zich een ringkristal van formidabele afmeting bevindt. Opgenomen in de schakeling van een oscillator trilt het

(vervolg van blz. 144).

Centrale regelaar besproken hebben, rest ons nog het doel van de weerstanden R_{2a} en R_{4a} in combinatie met de schakelaar S te verklaren.

Daar de juiste werking van het regelapparaat afhankelijk is van zijn gevoeligheid, willen we deze gevoeligheid kunnen testen.

De gevoeligheid wordt o.a. beïnvloed door de teruggang van de versterkings-

graad (brugspanningsversterker), te grote wrijvingscoëfficiënten van de motor en de daarmede mechanisch gekoppelde elementen. Om nu te controleren of het regelmotortje nog goed reageert op een bepaalde geringe brug evenwichtsverstoring, kunnen we of schakelaar-contact S' of contact S'' sluiten. Zal de gevoeligheid goed zijn, dan zal de motor-as in het eerste geval bijvoorbeeld naar links draaien en in het tweede geval naar rechts.

(wordt vervolgd)

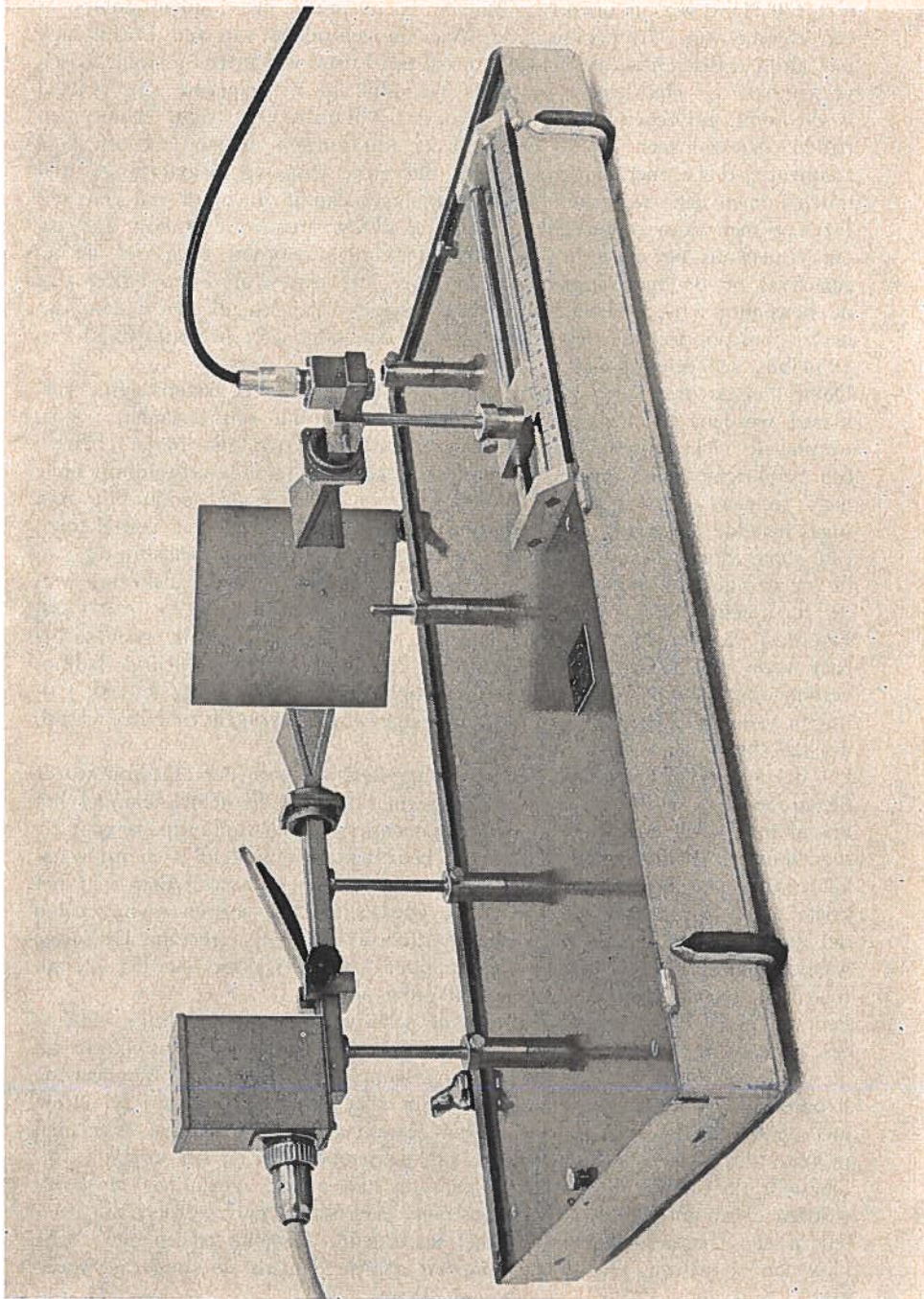


Fig. 14

met 370 Hz, d.w.z. de open ring buigt in en uit om de beide ophangpunten in een rythme van 370 per seconde. Wat de gebruikers van een kristal zich niet altijd realiseren is, dat het trillen van een kristal een mechanisch-elektrisch verschijnsel is. Het kristal *trilt* dus werkelijk in mechanische zin, ook al is dit soms miljoenen malen per seconde. Wil men een kristal echter *zien* trillen, dan zal men om te beginnen er een moeten nemen met een lage frequentie, d.w.z. met een grote massa, dus grote afmeting. Ringvormige kristallen komen deze wens het meest nabij; lager dan in de buurt van een 400 Hz kan men deze echter ook niet maken. Deze frequentie is nog te hoog om visueel als beweging waargenomen te kunnen worden; men ziet slechts een waas bij de open einden van de ring. Met een stroboscoop echter kan de beweging a.h.w. vertraagd zichtbaar gemaakt worden. Ik neem aan, dat het stroboscoopprincipe bekend is, zo niet, dan kunt u er het Studieblad van 1954 blz. 138 eens op naslaan.

De wat eigenwijze vorm van het apparaat kan nu uit het bovenstaande verklaard worden. In beginsel bestaat de constructie uit een (metalen) doos, waarin de elektronische bestanddelen van de oscillator zijn ondergebracht, een gelijkrichter inbegrepen. Uit de doos steken (achterzijde afbeelding, links naar rechts) een in-en-uit schakelaar, een neonlamp als aanduiding van ingeschakelde toestand, een carroussel-netspanningsschakelaar, 2 veiligheden, een contactdoos voor aansluiting van de stroboscoop en de aansluiting van de netspanning. Voorzijde links een volumeregeelaar en de aansluiting van de luidspreker; rechts een amplituderegeelaar en de aansluiting *meetpunt*. Een deel van de doos is in het midden weggenomen; daar is, goed zichtbaar voor het publiek, het ringvormige kristal, in een luchtledige ballon, verend opgehangen. Aan het trillingvrij ophangen is grote zorg besteed; trillingen van buiten af hebben al spoedig ongewenste gevolgen voor het kristal, dat dan klem raakt in de vassing.

Uit de doos is verder a.h.w. een V-vormig deel weggesneden. Daarop wordt de stroboscoop geplaatst onder zodanige helling, dat de lichtflitsbundel het kristal treft maar de lamp van de stroboscoop toch niet hinderlijk is voor de toeschouwer. Wanneer het apparaat nu bedrijfsklaar opgesteld is en ingeschakeld wordt, zal het ongeveer 10 minuten duren voordat het trillen van het kristal goed zichtbaar is. Dit moet nl. goed, om zo te zeggen *royaal* trillen wil de uitwijking — met hulp van de stroboscoop — te zien zijn. De lange wachttijd is mede een gevolg van de hoge kwaliteitsfaktor van het kristal, waardoor de inslingertijd aanmerkelijk groot wordt.

Een en ander is te vergelijken met de schommel uit de speeltuin: telkens een zetje op het goede moment zal deze geleidelijk een groter uitwijking uit de middenstand geven, tot de maximum amplitude bereikt is. Wanneer de stroboscoop passend wordt ingesteld, dus met een verschil van ≈ 1 Hz met de kristalfrequentie, is het trillen zeer fraai waar te nemen. Wat men in feite ziet is de verschilfrequentie van de stroboscoop en het kristal.

De door de oscillator opgewekte spanning kan op de aansluiting *meetpunt* worden afgenomen. Daarop kan dus bijv. een oscillograaf worden aangesloten of een frequentiedeler, zodat het uiteindelijk mogelijk is een elektrische klok aan te drijven. Het kristal fungeert daarbij dan als de slinger (kwartsklok).

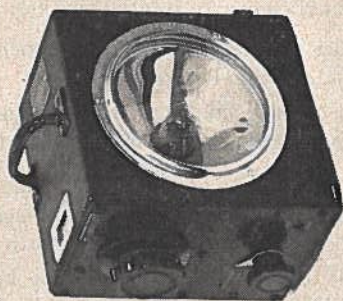
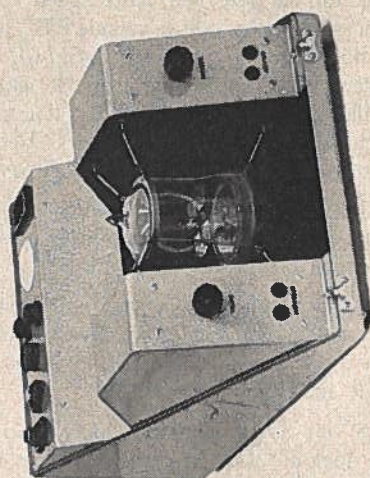
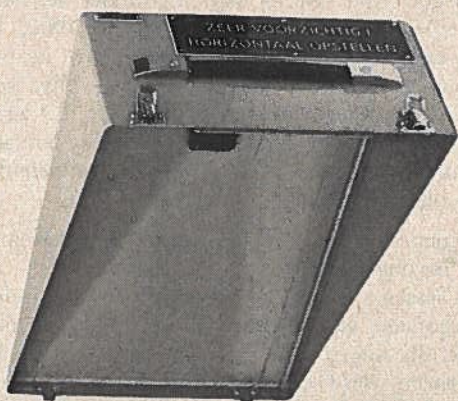


Fig. 15

Dit zijn dan, voorlopig, de grote stukken uit het arsenaal. Er is natuurlijk nog talrijk klein goed van velerlei aard waaronder het bekende telefoontoestel van Ericsson uit 1892 en de Strowgerkiezer uit 1902. Ik wil u verder wel verklappen, dat er nog een en ander in aanbouw is, o.a. een set voor het verklaren van enige verschijnselen bij de TV, bijv. schaduwbeelden, ruis, sneeuw, met tal van interessante snufjes en waar ik t.z.t. nog op terug kom. Een dergelijke installatie is van belang voor ons, omdat PTT belast is met de transmissiezaken van de TV. Zo werken we geleidelijk verder aan de uitbreiding van ons repertoire.

Ik heb reeds gememoreerd, dat enige automaatjes bestemd zijn, en deels hun bestemming al gevonden hebben, voor schoolgebruik, d.w.z. gebruik door docenten in hun lessen. Verstrekking is geschied als uitvloeisel van onze wens de scholen te voorzien van doelmatige leermiddelen met betrekking tot de telecommunicatie. In dit opzicht zijn we in de laatste 2 jaar een heel eind gevorderd. Voorheen werd ook, op verzoek van de docent, materiaal verstrekt. Van enige lijn in deze was echter geen sprake. Al naar de kennis van zaken van de docent zelve, vroeg deze aan PTT om materiaal, in omschrijving variërende van het ietwat vage: *enig materiaal*, tot zeer nauwkeurige gespecificeerde opgaven, die er op wezen, dat de aanvrager een oud-PTT'er was. Verstrekt werd dan overcompleet en oud materiaal. Een enkele maal ging ook een oude huistelefoonautomaat schoolwaarts. Veel zorg onzerzijds werd daar dus niet aan besteed. Dit is nu wel zeer veel anders geworden.

In de eerste plaats is een instantie aangewezen (ALP) om toe te zien dat aan de scholen, ruimer gezegd opleidingsinstituten, niet anders verstrekt wordt dan behoorlijk bruikbaar materiaal.

Aanvragen van de scholen worden na ontvangst kritisch bekeken, d.w.z. er wordt nagegaan of wat men vraagt wel in de lijn van de a.s. bestemming ligt. Vraagt bijv. een directeur van een HBS een *centraalpost*, dan vragen wij ons terecht af wat de man daar mee wil.

Vraagt een LTS om *enige aansluitstroken*, dan is het ook zaak om na te gaan voor welk doel die moeten dienen en wat men eigenlijk wil aansluiten. Er wordt derhalve bijna steeds contact opgenomen met de aanvrager, waardoor de aanvraag dan wordt herleid tot een wat meer reële zaak en de aanvrager in het bezit komt van iets wat hij werkelijk gebruiken kan. Intussen neemt het aantal aanvragen van dubieus karakter af, door 2 oorzaken:

- a. regelmatig contact met de scholen; wij vernemen wat hun behoeften zijn en kunnen hen ook direct adviseren;
- b. de inmiddels tot stand gekomen standaardisering van het voor verstrekking aan scholen bestemde materiaal, waarover hieronder meer.

In een bedrijf als het onze komt geregeld materiaal vrij dat niet meer gebruikt wordt of kan worden omdat het niet meer in bepaalde systemen past. Zo bijv. telefoontoestellen, relais, verbindingstroken van velerlei vorm enz. Dit materiaal wordt dan voor verkoop of sloop bestemd en opgeslagen in het Cmgz. Een deel echter, nl. dat wat nog voor schoolonderricht kan dienen, wordt niet verkocht, althans niet in deze vorm. Het gaat naar de CWP of

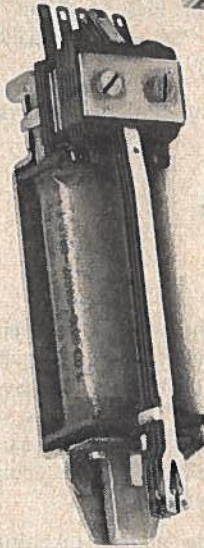
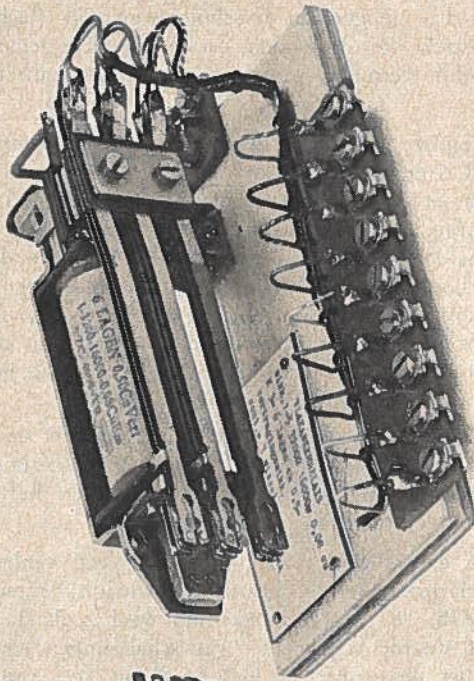


Fig. 16

naar Ptd Gv en hier wordt er door de leerlingen van het leerlingstelsel de vorm aan gegeven die het voor het doel zo geschikt maakt.

Afb. 16 toont links een relais, zoals het uit het bedrijf vrijkomt. In deze toestand werd het dus vroeger aan de scholen verstrekt. Rechts de huidige vorm, waarin het verstrekt wordt: schoon, op een plankje gemonteerd, gegevens op de spoel duidelijk vermeld, veren en spoelinden zijn op aansluitschroeven afgewerkt.

Dit geheel is onder nummer opgenomen in een *Naamlijst voor Schoolmateriaal*. Als regel is er voorraad van (hoewel de productie de vraag nauwelijks kan bijhouden); er is een constante productie. Daarom kunnen de aanvragen ook spoedig afgedaan worden. Van gratis verstrekking is geen sprake, er moet een bepaalde prijs betaald worden, een prijs die de kosten dekt. Deze kosten zijn in hoofdzaak die van opmaak, dus (leerling)loonkosten plus verwerkt (opmaak)materiaal. In vergelijking met hetgeen daarvoor geleverd wordt, is de prijs uitzonderlijk laag te noemen. Vandaar dan ook de grote belangstelling van de scholen voor dit materiaal, dat in de geëigende schoolvorm trouwens niet in de handel te krijgen is.

Het spreekt vanzelf dat het genoemde relais niet het enige artikel is. Dat is alleen maar als voorbeeld gegeven. Er zijn thans enige honderden voorwerpen, variërende van eenvoudige druktoetsjes tot complete hefdraaikiezers. Afb. 17 toont daarvan enige artikelen.

Daaruit ziet u dat alles de vorm heeft van een eenheid, een op zichzelf staand iets, waarmede echter, gezien de aansluitklemmen, iets ondernomen kan worden. Afb. 18 geeft een tekening weer zoals die aan gegadigde verstrekt wordt en waarop voorbeelden van schakelingen staan, die gemaakt kunnen worden met de eenheden. Het heeft nu veel van Meccano gekregen. De schakeling midden-boven bijv. kan gemaakt worden met de onderdelen (zie ook afb. 17 rechtsboven):

nr. 1200 Toets met vaste stand, 2 lamphouders en 2 weerstanden	gemonteerd 1 stuks
nr. 1202 Signaallamp 60 V	bedrijfsklaar 2 stuks
nr. 1801 Relais SH, vlakanker	gemonteerd 1 stuks
nr. 1802 Relais SH, thermo	gemonteerd 1 stuks
nr. 1910 Verbindingsstrook	bedrijfsklaar 1 stuks

De weerstanden van de eenheid 1200 worden in de voorbeeld-schakeling niet gebruikt, maar komen in een andere situatie weer aan de orde. Het is de bedoeling, dat de school over zoveel diverse eenheden beschikt, dat een aantal leerlingen gelijktijdig, bijv. in koppels van twee, met het maken van een schakeling bezig kunnen zijn. Zij moeten aan de hand van het schema dus zelf de bedrading uitzoeken en maken; de eenheden worden daartoe op een montageplank zgn. losvast bevestigd.

Bij elke bestelling worden de nodige tekeningen, beschrijvingen, schema's enz. medegeleverd. Bij trafo's, gelijkrichters en andere daarvoor in aanmerking komende apparaten bijv. ook de karakteristieken.

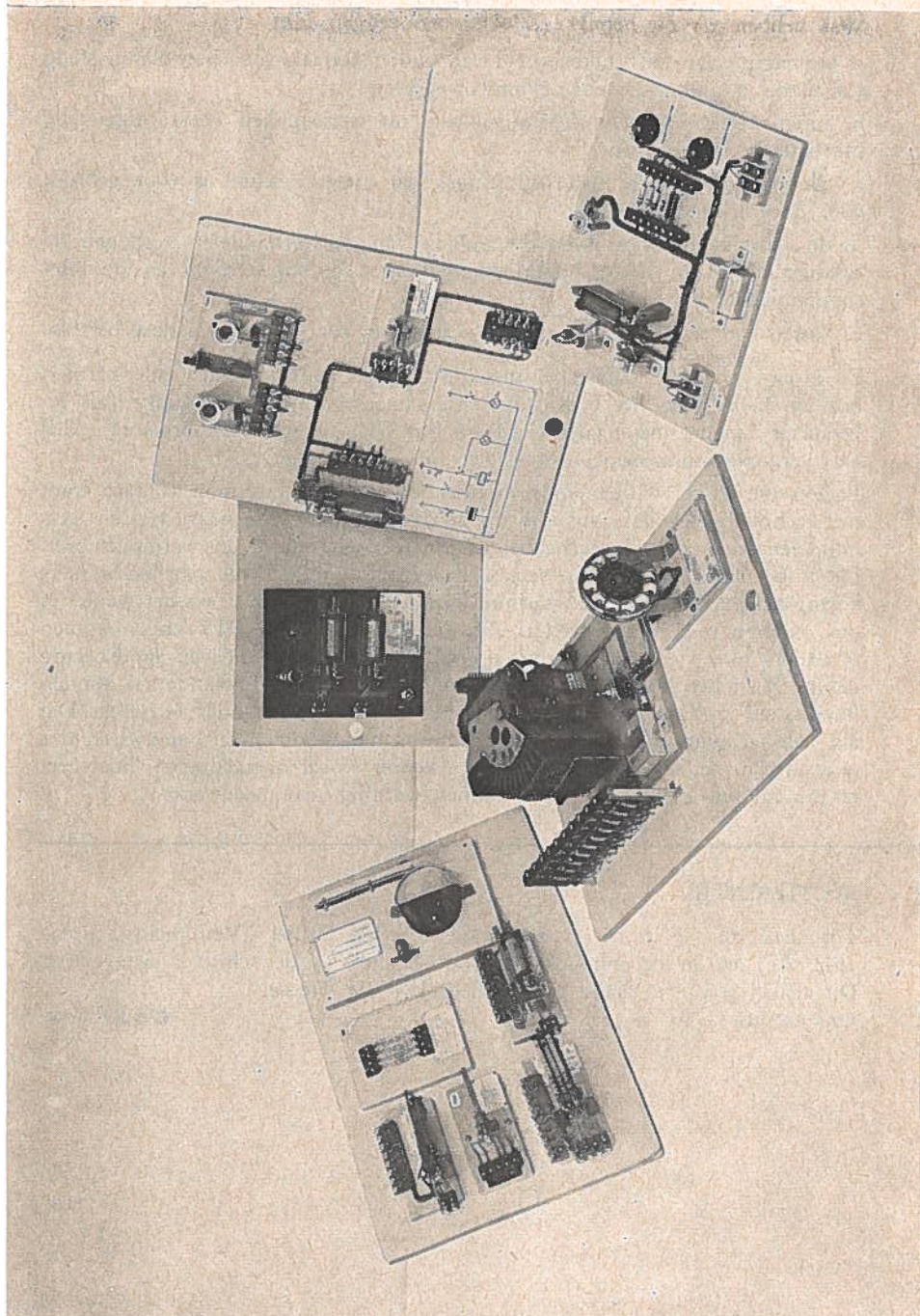


Fig. 17

Wat hebben we nu bereikt? We kunnen zeggen, dit:

- a. verlenging van de bruikbaarheid van oud materiaal, voor hetwelk in stede van sloop nog een schone toekomst weggelegd is;
- b. zinvol werk voor (ptt)leerlingen, die nu werkstukken vervaardigen die blijvende waarde hebben;
- c. de scholen kunnen materiaal krijgen dat direct geschikt is voor gebruik voor de opleiding;
- d. de aantrekkelijke vorm en de realiteit van de leermiddelen verhogen de belangstelling van de (school)leerlingen voor de zwakstroom en de telecommunicatie;
- e. kosten zijn er voor PTT niet aan verbonden, daar de scholen deze betalen.

Zo is er een aardig samenspel tussen school en bedrijf, waar beide partijen baat bij hebben. In het bedrijf is er de samenwerking tussen Cmgz (als leverancier van het materiaal), CWP en Ptd Gv (als inkoper-fabrikant), ALP (als verkoper-contactman) en tenslotte IMC (als kassier).

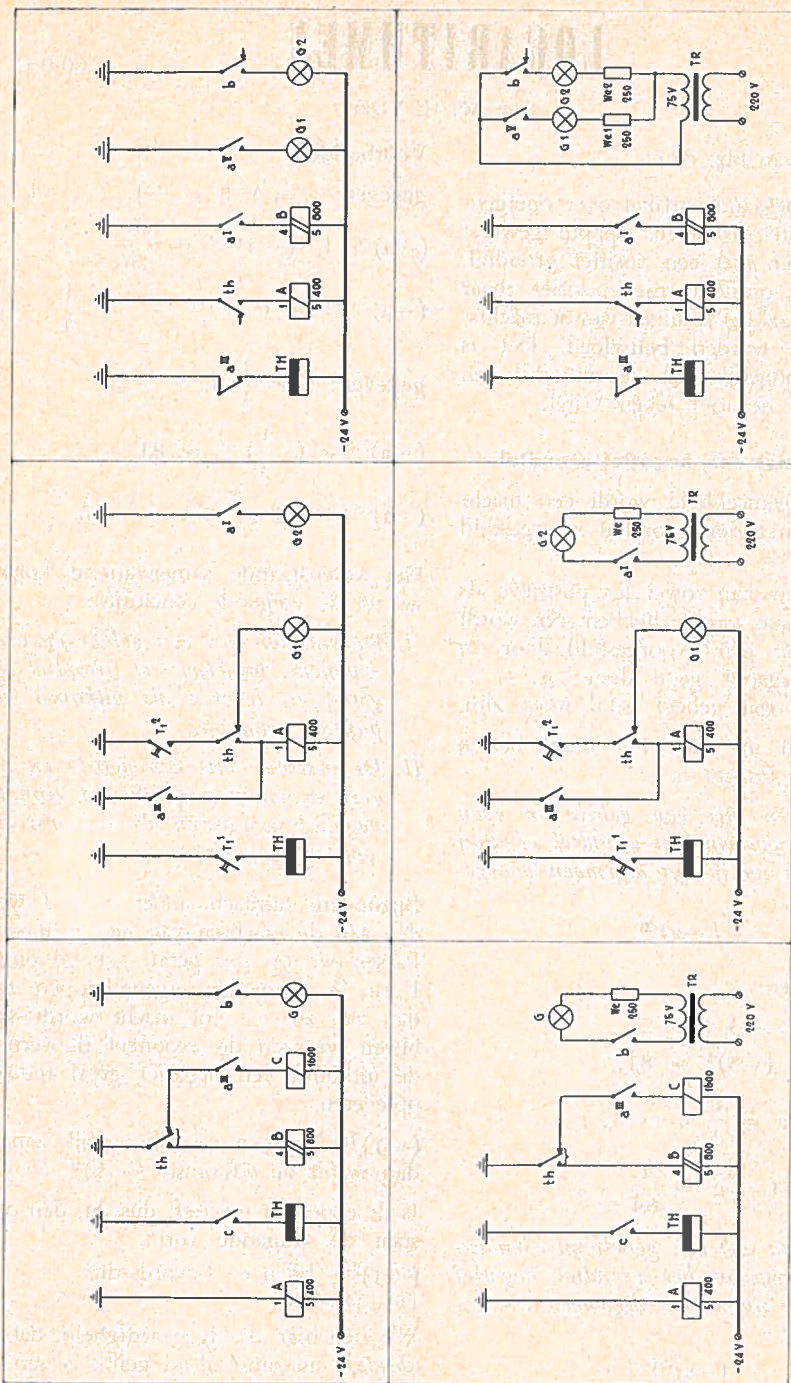
Ik zou dit artikel willen eindigen met het volgende: als u in contact komt met technische scholen, wijs dan op het belang van goede instructie- en leermiddelen. Zeg dat wij gaarne bereid zijn te doen wat in ons vermogen ligt. Dit is het belang zowel van school als bedrijf, omdat beide partijen immers belang hebben bij een goede vorming van de jongeren, die straks het werk van ons ouderen moeten voortzetten. Of die jongens nu bij PTT zullen komen of elders hun werk zullen zoeken, blijft uit een oogpunt van landsbelang gelijk. Waar het om gaat is of Nederland zich als geheel staande zal kunnen houden en mee zal kunnen blijven doen bij de opmars der techniek. Dat eist vele en kundige technici, mensen die op de schoolbanken hun basiskennis opdoen. En met hoe beter middelen de kennis wordt overgedragen, hoe meer er van zal blijven hangen. Daar kunnen we allen aan medewerken!

RECTIFICATIE.

Tot onze spijt is in het maartnummer bij het artikel „Veiligheidskleuren” (blz. 71) en in de inhoudsopgave de naam van de schrijver weggelaten. Dit artikel is van de hand van de heer J. J. W. Heese.

Ons excuus.

De Redactie.



TH = THERMO RELAIS
T = DRUKTOETS

C = BTM RELAIS
WE = WEERSTAND

B = HOEKANKER RELAIS
TR = TRANSFORMATOR

A = SIEMENS RELAIS
G = SIGNAALLAMP

Fig. 18

door W. H. YDO

(Vervolg van blz. 68)

In het voorgaande artikel over oneigenlijke machten is steeds sprake geweest van machten met een positief grondtal. Zodra het grondtal niet positief maar negatief is zal het resultaat van de machtsverheffing worden beïnvloed. Het is dan nl. mogelijk, dat de uitkomst een positief of negatief teken krijgt.

Machten met een negatief grondtal

In zijn algemeenheid wordt een macht van een negatief grondtal voorgesteld door $(-a)^p$.

De exponent kan zowel een positieve als een negatieve waarde hebben. Nu wordt een positief getal voorgesteld door $2n$ en een negatief getal door $2n + 1$, waarbij n een geheel getal moet zijn. We zullen nu eerst het geval bezien waarbij n positief is

De machten met een gehele en even exponent, waarvan het grondtal negatief is, worden nu in het algemeen voorgesteld door:

$$(-a)^{2n}$$

Voorbeelden:

gegeven: $a = 3, n = 2,$

$$(-a)^{2n} = (-3)^4 = 81,$$

gegeven: $a = \frac{1}{2}, n = 3,$

$$(-a)^{2n} = \left(-\frac{1}{2}\right)^6 = \frac{1}{64}.$$

De machten met een gehele en even exponent, waarvan het grondtal negatief is, worden nu in het algemeen voorgesteld door:

$$(-a)^{2n+1}$$

Voorbeelden:

gegeven: $a = 4, n = -1,$

$$(-a)^{2n} = (-4)^{-2} = \frac{1}{16}$$

$$(-a)^{2n+1} = (-4)^{-1} = -\frac{1}{4}$$

gegeven: $a = \frac{1}{3}, n = -2,$

$$(-a)^{2n} = \left(-\frac{1}{3}\right)^{-4} = 81$$

$$(-a)^{2n+1} = \left(-\frac{1}{3}\right)^{-3} = -27.$$

Het vorenstaande samenvattend komen we tot de volgende conclusies:

- I. *De machten met een gehele en even exponent, waarvan het grondtal negatief is, leveren als uitkomst een positief getal op.*
- II. *De machten met een gehele en oneven exponent, waarvan het grondtal negatief is, leveren als uitkomst een negatief getal op.*

Bijzondere aandacht moet besteed worden aan de machten van het getal -1 . Passen we op het getal -1 de onder I en II genoemde eigenschappen toe, dan zal, zo -1 tot macht wordt verheven waarvan de exponent oneven is, de uitkomst een negatief getal moeten opleveren.

$(-1)^{2n+1}$; is n nu bijv. gelijk aan 3 , dan wordt de uitkomst: $(-1)^7 = -1$.

Is de exponent positief, dus $2n$, dan ontstaat de volgende vorm:

$(-1)^{2n}$; bij $n = 2$ wordt dit:

$$(-1)^4 = 1.$$

We zien hier als eigenaardigheid, dat de absolute uitkomst altijd gelijk is aan de

absolute waarde van het grondtal. Dat wil zeggen dat, ongeacht de grootte van de exponent, de absolute waarde van de uitkomst hier het getal 1 oplevert. Alleen het teken wordt beïnvloed door het *even* of *oneven* zijn van de exponent.

Voorbeelden:

$$(-1)^{-4} = \frac{1}{(-1)^4} = \frac{1}{1} = 1.$$

$$(-1)^{-5} = \frac{1}{(-1)^5} = \frac{1}{-1} = -1.$$

$$(-1)^6 = 1; (-1)^7 = -1.$$

Is n dus een geheel en positief getal dan geldt:

$$(-1)^{-2n} = \frac{1}{(-1)^{2n}} = \frac{1}{1} = 1 \text{ en}$$

$$(-1)^{-(2n+1)} = \frac{1}{(-1)^{2n+1}} = \frac{1}{-1} = -1.$$

Gelet op $a^0 = 1$ wordt hier ook $(-1)^0 = 1$.

Imaginaire en complexe getallen

Voor we op deze materie ingaan, is het wel goed om ons de diverse bewerkingen met wortelvormen voor de geest te halen. Een wortelvorm kunnen we voorstellen door $\sqrt[n]{a}$.

Het teken $\sqrt{}$ is de eerste letter van het woord *radix*, dat *wortel* betekent.

Het cijfer, dat in het wortelteken is geplaatst, heet de *wortel exponent*. Hiermee wordt de wortel nader bepaald. In de algemene vorm wordt deze exponent aangegeven met de letter n en kan dus ieder getal voorstellen.

Is bijv. $n = 3$ en $a = 27$, dan noemt men de wortelvorm $\sqrt[3]{27}$ de *derdemachtswortel* uit 27.

Wij zijn gewend om bij een *tweede-*

machtswortel de exponent weg te laten. Deze wortelvorm wordt ook wel *vierkantswortel* genoemd.

Voor $\sqrt[2]{16}$ schrijft men dus gewoonlijk $\sqrt{16}$.

Werken we de als voorbeeld gekozen wortelvormen uit, dan is:

$$\sqrt[3]{27} = 3, \text{ omdat } 3^3 = 27 \text{ en}$$

$$\sqrt{16} = 4, \text{ omdat } 4^2 = 16.$$

Gelijknamige wortelvormen

Wortelvormen met gelijke wortel exponenten noemt men gelijknamig.

Bijv. \sqrt{a} en \sqrt{b} , $\sqrt[4]{4}$ en $\sqrt[4]{5}$.

Van deze gelijknamige wortelvormen mogen, zo ze een product vormen, de grondgetallen met elkaar worden vermenigvuldigd, terwijl het getal dat dit product oplevert onder hetzelfde wortelteken blijft staan.

Voorbeelden:

$$\sqrt{3} \times \sqrt{12} = \sqrt{36} = 6$$

$$3\sqrt{9} \times 5\sqrt{4} = 15\sqrt{36} = 90$$

$$\sqrt[3]{2,7} \times \sqrt[3]{10} = \sqrt[3]{27} = 3$$

$$3\sqrt[4]{16} \times 2\sqrt[4]{81} = 6\sqrt[4]{1296} = 36.$$

In het algemeen dus:

$$p\sqrt[n]{a} \times q\sqrt[n]{b} = pq\sqrt[n]{ab}.$$

Uit deze algemene eigenschap kunnen we afleiden:

$$\frac{p\sqrt[n]{ab}}{q\sqrt[n]{b}} = \frac{pq\sqrt[n]{a} \sqrt[n]{b}}{q\sqrt[n]{b}} = p\sqrt[n]{a}.$$

Hieruit volgt:

Het quotient van twee gelijknamige wortels is gelijk aan de gelijknamige wortels uit het quotient van de getallen onder het wortelteken.

Voorbeelden:

$$\sqrt[4]{16} = \sqrt{\sqrt{16}} = \sqrt{4} = 2$$

$$\sqrt[3]{\frac{1}{64}} = \sqrt[3]{\frac{1}{4^3}} = \frac{1}{4}$$

ook dit is mogelijk:

$$\sqrt[3]{\frac{1}{64}} = \frac{1}{4} \sqrt[3]{\frac{1}{4}} = \frac{1}{4} \sqrt[3]{\frac{1}{8}} = \frac{1}{4} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{8}$$

In het algemeen geldt dus:

$$\sqrt[n]{\frac{p}{q}} = \frac{p}{q} \sqrt[n]{\frac{1}{q}}$$

Gelijksoortige wortels

Dit zijn wortelvormen, welke behalve gelijknamige wortel exponenten ook gelijknamige grondgetallen bezitten.

Voorbeelden hiervan zijn: $\sqrt{2}$ en $3\sqrt{2}$, $5\sqrt[3]{4}$ en $6\sqrt[3]{4}$.

In het algemeen dus: $p\sqrt[n]{a}$ en $q\sqrt[n]{a}$.

Van gelijksoortige wortels kan men de som en het verschil door één wortel voorstellen.

In het algemeen:

$$p\sqrt[n]{a} + q\sqrt[n]{a} = (p + q)\sqrt[n]{a} \text{ en}$$

$$p\sqrt[n]{a} - q\sqrt[n]{a} = (p - q)\sqrt[n]{a}.$$

Voorbeelden:

$$3\sqrt[3]{5} + \sqrt[3]{5} = 4\sqrt[3]{5}; \text{ immers } \sqrt[3]{5} = 1\sqrt[3]{5}$$

$$3\sqrt[3]{7} + 4\sqrt[3]{7} = 7\sqrt[3]{7}$$

$$8\sqrt[3]{3} - 4\sqrt[3]{3} = 4\sqrt[3]{3}$$

$$9\sqrt[3]{4} - 2\sqrt[3]{4} = 7\sqrt[3]{4}.$$

Opmerking.

Volgens het besprokene op blz. 67 in het maantnummer, mogen al deze wortelvormen geschreven worden als machten met een gebroken exponent. Deze methode wordt dikwijls gevolgd om een gecompliceerde wortelvorm beter te begrijpen.

Verschillende soorten van getallen

Tot nu toe werkten we in het voorgaande alleen met zogenaamde *reële* getallen. Deze reële getallen kunnen we onderscheiden in:

- rationele* positieve en negatieve getallen.
- irrationele* positieve en negatieve getallen.

De groep rationele getallen wordt verdeeld in *gehele* en *gebroken* getallen. Tenslotte is er nog de waarde *nul*.

Voorbeelden:

Rationele getallen: 5, 8, 100 en $\frac{1}{2}$.

Het laatste getal is een zgn. gebroken rationeel getal; de overige zijn gehele rationele getallen.

Irrationele getallen:

$\sqrt{3}$, $\sqrt[3]{7}$, $\sqrt[3]{5}$, 0,3.

Deze getallen worden ook wel *onmeetbare* getallen genoemd.

Zoals de lezer bemerkt zal hebben, is het mogelijk met deze getallen dezelfde bewerkingen uit te voeren als met de rationele getallen.

De imaginaire eenheid

Bezien we de gelijkheid $x^2 = 9$, dan blijken er twee antwoorden te voldoen nl. $x_1 = 3$ en $x_2 = -3$.

Immers $3^2 = 9$ maar ook $(-3)^2 = 9$. Het is echter niet mogelijk om zonder

meer een antwoord te vinden voor de vergelijking:

$$x^2 = -1.$$

Noch $x_1 = 1$, noch $x_2 = -1$ voldoen.

Om toch tot een oplossing te komen stellen we nu als wortels voor de vergelijking $x^2 = -1$:

$$x_1 = +\sqrt{-1} \text{ en } x_2 = -\sqrt{-1}.$$

$\sqrt{-1}$ wordt nu vervangen door de letter i .

$$\text{Dus } i = \sqrt{-1}.$$

De letter i is de eerste letter van het woord *imaginair* (denkbeeldig).

We zijn nu in staat om ook wortelvormen met een negatief grondgetal in onze berekeningen te betrekken.

Gelet op het voorgaande is nu:

$$\sqrt{-3} = i\sqrt{3}, \text{ waarbij dus met } i \text{ aangegeven wordt de tweedemachtswortel uit } -1.$$

Dit is te controleren door $i\sqrt{3}$ tot de tweede macht te verheffen:

$$(i\sqrt{3})^2 = 3(i)^2 = 3(\sqrt{-1})^2 = 3 \times -1 = -3.$$

Voor wie dit laatste nog niet duidelijk is dient te worden opgemerkt, dat $\sqrt{-1}$ vervangen kan worden door:

$$(-1)^{\frac{1}{2}} \text{ en } (\sqrt{-1})^2 \text{ door } \left\{ (-1)^{\frac{1}{2}} \right\}^2 = (-1)^1 = 1.$$

Door de invoering van de imaginaire eenheid i is ons gezichtsveld uitgebreid met een tweede getallengroep, nl. de *imaginaire*.

De eerste groep bestond uit de reële getallen en we kunnen nu verwachten, dat er ook nog een combinatie van deze twee bestaat, waarbij dus een deel imaginair is.

Deze getallen worden de *complexe* ge-

tallen genoemd en kunnen uitgedrukt worden in de algemene vorm:

$$a + bi.$$

Hierbij kunnen a en/of b negatief zijn. In woorden uitgedrukt wil dit zeggen, dat een complex getal de som of het verschil is van een reëel getal en een imaginair getal.

Het zal u wellicht opgevallen zijn, dat tot nu toe steeds is gesproken van de *tweedemachtswortel* uit een negatief getal; de *onevenmachtswortel* uit een negatief getal levert zonder meer een negatieve uitkomst op; bijv.

$$\sqrt[3]{-8} = -2, \text{ omdat } (-2)^3 = -8.$$

Bij evenmachtswortels met een wortel-exponent groter dan twee, welke men uit een negatief grondtal moet trekken, ontstaat de volgende afwikkeling:

$$\sqrt{-16} = \sqrt{\sqrt{-16}} = \sqrt{i\sqrt{16}} = \sqrt{4i} = 2\sqrt{i}.$$

Het machtsverheffen van een imaginair getal gaat ook eenvoudig;

$$i^2 = -1,$$

$$i^3 = i \times i^2 = i \times -1 = -i,$$

$$i^4 = i^2 \times i^2 = -1 \times -1 = 1,$$

$$i^5 = i^2 \times i^3 = -1 \times -i = i.$$

Hierbij moeten we ons altijd goed realiseren, dat i het symbool is voor $\sqrt{-1}$.

Spraken we bij de reële getallen van negatieve en positieve grootheden, dit is, sprekend over imaginaire en complexe getallen niet mogelijk. Deze getallen zijn of imaginair of complex.

We hebben nu voldoende elementaire kennis opgedaan om in het volgende artikel ons bezig te gaan houden met het begrip logaritmie en de bewerking daarmee.

(wordt vervolgd).

NEDERLANDS

door P. v. d. LEEST

60-038

Vul in:

Zeg van hem geen kwaad; hij staat te goeder naam en ... bekend. Op zijn handel en ... is niets aan te merken.

Het zontje van de oplichter bleek lange vingers te hebben; het was een aardje naar zijn ... Hij heeft zijn reis in geuren en ... verteld. Elke avond nam Jantje levertraan in en elke avond was het tegen heug en ...

Vertel nu regelmatig en spring niet van de hak op de ... De kwakzalver had wijd en ... een goede naam.

Je dient te bezuinigen, nu je minder verdient: je moet de tering naar de ... zetten.

De zigeuners trokken met pak en ... de grens over.

We waren verdwaald en wisten weg noch ...

De arme vrouw moest met sloven en ... de kost verdienen.

Gijs mocht het kippenhok verven; dat was spekje voor zijn ...

Wij zullen alles op haren en ... zetten, om in de competitie te mogen meespeelen.

Het polshorloge was klein maar ...

De student zat hoog en ... te blokken op zijn kast.

Gepakt en ... trokken de wandelaars er op uit.

Voor *f* 50,000 verkoopt hij zijn winkel-inventaris, zoals die reilt en ...

De schilder, verhuisde met hutje en ... van het souterrain naar vier-hoog.

Herbaling: vul in:

Hij snij...; hij snee...

Wij antwoord...

Hij boor... een gat in de plank.

De meid schrob...

Hij stop... zijn zakken vol.

Gisteren bran... de kachel slecht.

Vandaag bran... ze beter.

De chauffeur rem...

Tegenstellingen.

Een *heldere* lucht.

Een *ondertekende* brief.

Een *beknopt* overzicht.

Een *oppervlakkige* kennis.

Een *openbare* verkoping.

Een *vertaalde* roman.

Een *veelbewogen* leven.

Een *nauwkeurige* correctie.

Vage beloften.

Een *vrijgevig* mens.