



15 FEBRUARI 1962

Stroomvoorziening voor versterkerstations

62-010

door D. H. van Eck en J. Berendes

Inleiding.

Met de ontwikkeling van de telefonie over lange afstand deden ook de versterkerstations hun intrede, met de daaraan verbonden problemen van de stroomvoorziening.

Werden de eerste versterkers gevoed vanuit een gelijkspanningsbron, omdat op dat moment de direct verhitte elektronenbuizen slechts geschikt waren voor gelijkspanning, de komst van de indirect verhitte buizen maakte het mogelijk de gloeispanning via transformatoren uit het openbare wisselstroomnet te betrekken. De anodespanning bleef uiteraard gelijkspanning, welke eerst nog werd betrokken via gelijkrichters, met in enkele gevallen een accubatterij.

Al gauw werden door toename van het aantal versterkers, deze vervangen door anodeomzetters met condensatorenafvlakking. De anodespanning bedroeg 250 volt. De omzetter bestond uit een gelijkstroom-compounddynamo aangedreven door een asynchroon motor met kortsluitanker. De gelijkspanning werd constant gehouden door een BBC snelregelaar.

Elke installatie bestond uit twee gelijke omzetters, waarvan er één in bedrijf was, de andere als reserve klaar stond.

Een voorkeurschakelaar zorgde ervoor, dat bij terugkeer van de spanning na het uitvallen van het openbare net, de in dienst zijnde machine weer opnieuw werd gestart.

Bij storing in deze machine werd automatisch overgeschakeld op de reserve. Een dergelijke installatie is tot op heden in gebruik in het versterkerstation Kootwijk. (zie ook Beschrijving vss nr. 4).

De signaleringsspanning werd evenals nu betrokken van de 60 V (48V) voorziening van de telefooncentrale.

Het nadeel van de boven omschreven installatie was, dat bij het uitvallen van het openbare net, de gloeispanning, zowel als de anodespanning werd onderbroken, tot het noodstroomaggregaat de energievoorziening had overgenomen.

Gezien de starttijd van het noodstroomaggregaat moest met een onderbreking van enkele minuten worden gerekend, terwijl een mislukte start van het noodstroomaggregaat, met als gevolg een onderbreking van enkele uren, niet tot de uitzonderingen behoorde.

Er werd daarom gezocht naar een betere oplossing en deze werd gevonden door het plaatsen van een accubatterij van 100 loodcellen — in normaal bedrijf gebufferd door de anodeomzetters — welke een ononderbroken anodespanningsvoorziening waarborgde.

Voor het overbruggen van de onderbrekingstijd in de gloeistroomvoorziening werd op dezelfde batterij een snel startende gloeistroomomzetter geschakeld.

De onderbreking in de gloeispanning werd hierdoor teruggebracht tot maximaal 5 seconden.

Gedurende deze 5 seconden blijft het kathodelichaam van een elektronenbuis emitteren en ontstaat dus geen stagnatie in het telefoonverkeer.

Bovengenoemd principe wordt tot op heden in de versterkerstations toegepast en voldoet uitstekend.

Opgemerkt dient nog te worden, dat door het plaatsen van de batterij van 100 loodcellen de spanning van de omzetters moest worden teruggebracht tot 220 V en van de omzetters de compoundwikkeling buiten werking werd gesteld, omdat de compoundmachine niet geschikt is voor bufferbedrijf. (Onstabiel bij paral-

lel draaiende machines en gevaar voor ompolen bij terugstroom).

De nieuwe ontwikkelingen in de transmissie, waarbij straalzenderverbindingen zullen worden toegepast en ook de ontwikkeling van draaggolfapparatuur met

werkzaamheden te kunnen verrichten.

Extra voorzieningen om het overgaan van de ene op de andere machine zonder onderbrekingen mogelijk te maken, zijn noodzakelijk.

De grote investeringen en onderhouds-

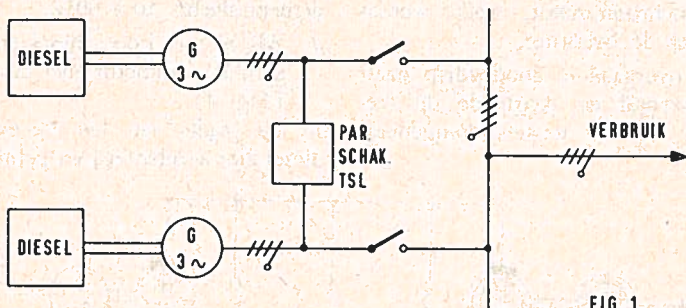


FIG. 1

transistoren maken het noodzakelijk het huidige systeem te verlaten en over te gaan op een stroomvoorziening geheel zonder onderbrekingen.

Hiervoor zijn verschillende oplossingen mogelijk:

a. Eigen stroomvoorziening. (Fig. 1).

Een eigen energievoorziening door mid-

kosten maken deze oplossing minder aantrekkelijk.

b. Machine met vliegwiel en snel startende diesel, (fig. 2).

Dit systeem bestaat uit een wisselstroom-generator aangedreven door een asynchroon-motor, welke op het openbare net is aangesloten. Tevens wordt op zelf-

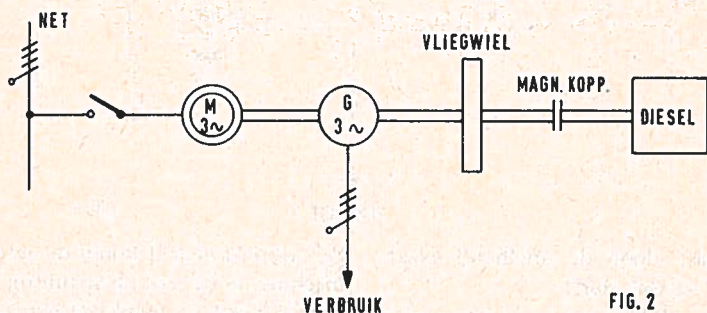


FIG. 2

del van dieselaggregaten biedt de mogelijkheid volkomen onafhankelijk te zijn van het openbare net.

Deze oplossing vraagt evenwel de opstelling van minstens twee dieselaggregaten, welke afwisselend in bedrijf worden genomen, om regelmatig onderhouds-

de as een vliegwiel aangedreven.

Bij uitval van het openbare net moet de energie, opgezameld in het vliegwiel, voldoende zijn om de wisselstroomgenerator aan te drijven en bovendien de diesel te starten. Een voordeel is, dat de energielevering door de generator, bij

uitval van het openbare net, onaangetast blijft.

De nadelen van dit systeem zijn echter:

1. Bij normaal bedrijf blijft de frequentie van de wisselstroomgenerator achter bij de frequentie van het openbare net, afhankelijk van de slip van de asynchroon-motor, welke verandert met de belasting;
2. bij het overgaan in noodbedrijf daalt het toerental en daarmee de frequentie van de wisselstroomgenerator.

stroomomzetter en gelijkstroom wisselstroomomzetter. (Fig. 3).

Dit berust op het huidige toegepaste systeem, met dit verschil, dat ook de gelijkstroom-wisselstroomomzetter continu draait. Door het twee maal omzetten van de energie bedraagt het rendement slechts 50 à 60%.

d. Als b, met i.p.v. diesel en vliegwiel, gelijkstroommotor met accubatterij.

(Fig. 4).

In de plaats van het vliegwiel en de diesel zijn accubatterij en gelijkstroomma-

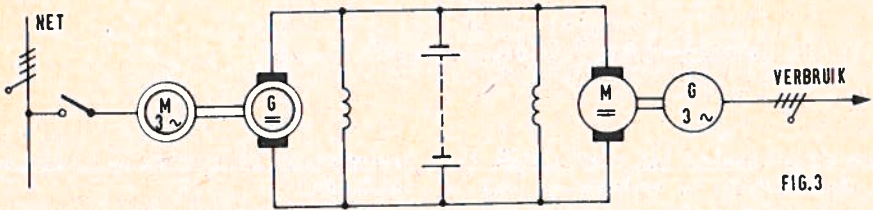


FIG. 3

De grootte van de frequentieafwijking wordt in eerste instantie bepaald door de afmetingen van het vliegwiel.

chine gekomen.

De drie machines zijn gekoppeld op één as.

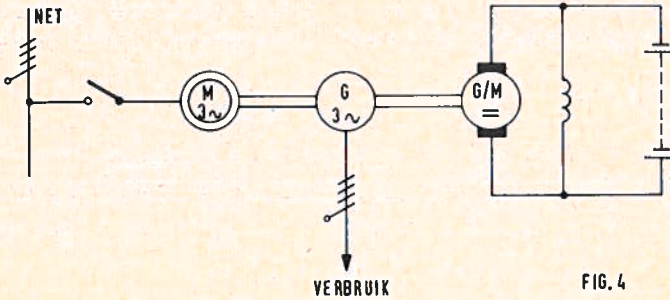


FIG. 4

Daarnaast door de snelheid, waarmee de diesel start;

3. bij een mislukte start t.g.v. een storing in de diesel wordt de energie van het vliegwiel verbruikt, waarna een onderbreking in de wisselstroomvoorziening volgt;
 4. het rendement bij normaal bedrijf is laag, $\approx 60\%$.
- c. Accubatterij met wisselstroom-gelijk-

Bij normaal bedrijf houdt de gelijkstroommachine de batterij op spanning. In noodbedrijf keert de gelijkstroommachine van functie om en drijft de wisselstroomgenerator aan. Dit systeem heeft hetzelfde voordeel als onder *b* genoemd. Het nadeel van een lagere frequentie tengevolge van de slip van de asynchroonmotor blijft, de overige nadelen veroorzaakt door vliegwiel en diesel zijn hiermede ondervangen.

Het rendement blijft laag $\approx 70\%$. De onder *b*, *c* en *d* genoemde oplossingen vereisen voor het doen van onderhoudswerkzaamheden dubbele uitvoering van

den geschakeld. Hierdoor is het niet noodzakelijk de installatie dubbel uit te voeren.

Het laatstgenoemde systeem heeft alle

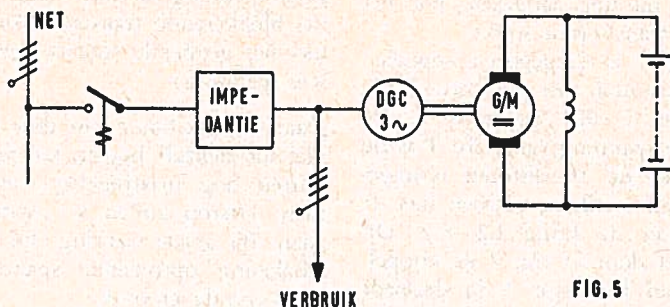


FIG. 5

de installaties, met bovendien de mogelijkheid om bij overgaan van de ene installatie op de andere, gedurende enige tijd parallel te kunnen draaien.

e. Synchron draaistroomgenerator gekoppeld met gelijkstroommachine en accubatterij. (Fig. 5).

In normaal bedrijf draait de generator als synchron-motor en drijft de gelijkstroommachine aan. Deze houdt de batterij op spanning.

In noodbedrijf keert de functie om. De gelijkstroommachine werkt als motor en drijft de wisselstroomgenerator aan.

Bij de onder *b*, *c* en *d* genoemde systemen is het verbruik mechanisch gekoppeld met het openbare net, terwijl de koppeling hier elektrisch is uitgevoerd, door middel van een impedantie.

Hierdoor is het rendement zeer hoog, $\approx 90\%$.

Bij onderhoudswerkzaamheden aan de installatie kan het verbruik direct, zonder onderbreking, op het openbare net wor-

nadelen van eerder genoemde oplossingen volkomen ondervangen, om welke reden dit dan ook gekozen is.

De zelfregelende draaistroomcompound-generator van Heemaf (Ned. pat. nr. 169442) maakte de praktische uitvoering van het systeem mogelijk.

Bij het bovenstaande kan opgemerkt worden, dat i.p.v. een gelijkstroommachine en batterij, ook een diesel met viiegwiel kan worden toegepast. Bijzondere voorzieningen aan de diesel (bijv. koelwater en olie voorverwarming) maken de storingskansen geringer.

In het navolgende zullen de verschillende uitvoeringen van het systeem met gloei-stroomomzetter en batterij (maximale onderbreking 5 sec.) en het systeem met draaistroomcompoundgenerator (ononderbroken) afzonderlijk worden behandeld.

Los hiervan zal ook nog de kwikstraalomzetter worden besproken.

(wordt vervolgd).

RECTIFICATIE :

In het slot van het artikel „Het Elektrik Tel-O-Set meet- en regelsysteem van Honeywell” opgenomen in het januarinum-mer 1962 zijn enkele foutjes geslopen. Dit zijn: Blz. 5 regel 20, staat de zin: Zo kan dus bijv. naar mijn mening klepheffing veroorzaakt worden door 1 atm. drukverschil in het meetpunt. . . Het naar mijn mening moet echter zijn: *n m.m.* (*n millimeter*). Blz. 7, regel 6 van onderen: *P*₁ moet zijn *P*₃. Blz. 9, onder Figuur 19: *Connet* moet zijn *Connect*. Blz. 10, Figuur 20 moet een halve slag worden gedraaid.

Belstroomgever met transistoren

door Ir. A. Kok

62-011

(Vervolg van blz. 23).

We moeten nu nog aangeven, hoe het contact met transistoren werkt.

Zoals in fig. 7 is aangegeven koppelen we de transistoren met de batterij, de punten A en C met de trafo T. De sinusvormige spanning van trafo T is nu zodanig naar de transistoren teruggevoerd, dat een oscillator ontstaat met de slingertijd van de kring L2—C2. Dit wordt bereikt door in fig. 7 de koppelwinding van transistor 1 in dezelfde zin aan te sluiten als de hoofdwinding en de koppelwinding van transistor 2 in omgekeerde zin. Is nu de spanning van B ten opzichte van C negatief, dan zal transistor 1 geleiden en transistor 2 blokkeren.

Keert de spanning op L2—C2 om, dus wordt B t.o.v. C positief, dan zal transistor 1 gaan blokkeren en transistor 2 stroom voeren.

Zorgen we nu maar voor voldoende terugkoppeling, dan zal de trilling zichzelf onderhouden. Voor goede werking moet de terugkoppeling zo groot zijn, dat de transistoren volledig uitgestuurd worden; dat betekent, dat vrijwel geen spanning op de geleidende transistor blijft staan. In dat geval bestaat namelijk volledige overeenkomst met een gesloten

contact, waar bij stroomdoorgang ook geen spanning op staat. (Zie inleiding). De blokkerende transistor komt overeen met het geopende contact (geen stroom, wel spanning).

Daar een oscillator van deze soort soms niet uit zichzelf begint, moeten voor het starten nog maatregelen worden genomen. Hierop zullen we echter niet ingaan. Bij goede werking zijn de in deze schakeling optredende spanningen van de volgende grootte:

1. De effectieve wisselspanning op de primaire van de trafo bedraagt ongeveer

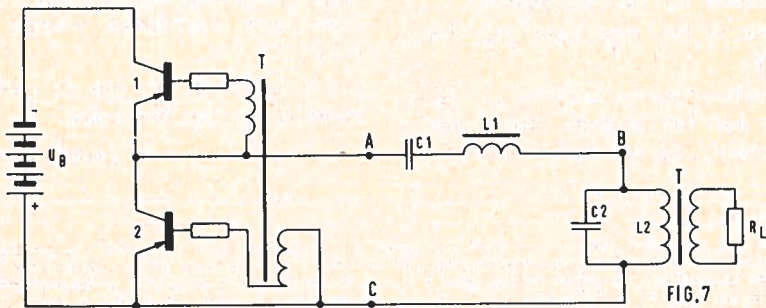
$$\frac{1}{\pi} U_B = 0,45 U_B$$

2. De spanning op de transistoren is als in figuur 4, dus de grootste spanning is $-U$.

De inwendige weerstand van de schakeling is gering.

Hoewel in principe een zeer aantrekkelijke schakeling, heeft deze oplossing voor een 25 Hz generator nog de volgende bezwaren:

- a. De schakeling vereist 2 vrij grote condensatoren.
- b. Bij volle belasting kan de spanning



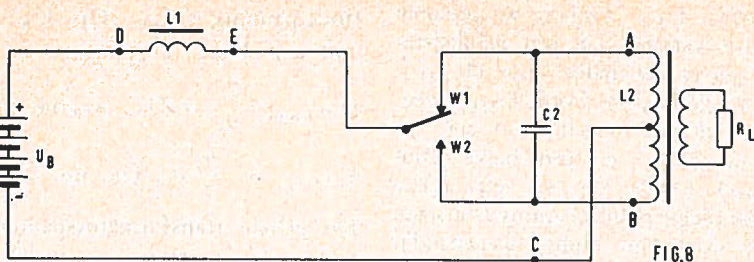


FIG. 8

op spoel L1 (als ook op de condensator C1) door opslinging zeer groot worden. Om de verliezen dan klein te houden en verzadiging te voorkomen valt L1 vrij groot uit.

Een andere oplossing, gebaseerd (in een wat betere versie) op de schakeling van figuur 2 is als figuur 8.

tuele hogere harmonischen in de stroom worden op de kring praktisch kortgesloten. De spanningen, die in de schakeling ontstaan, worden door het volgende bepaald: (zie ook figuur 9).

Als w1 gesloten is, is de som van U_{AC} en U_{DE} gelijk aan $|U_B|$. Zolang w2 gesloten is, is de som van U_{BC} en U_{DE}

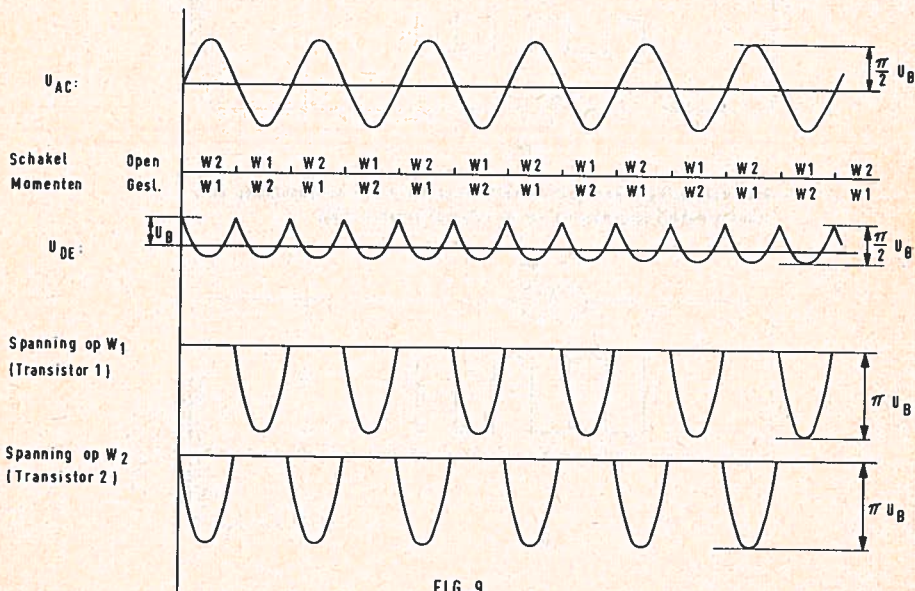


FIG. 9

De kring L2-C2 is afgestemd op 25 Hz en belast met R_L . Door nu het wisselcontact met 25 Hz $50 \times$ per sec. om te leggen wordt de kring L2-C2 met 25 Hz aangesloten. Hierover zal een sinusvormige spanning ontstaan (mits de Q van de kring voldoende hoog is). Even-

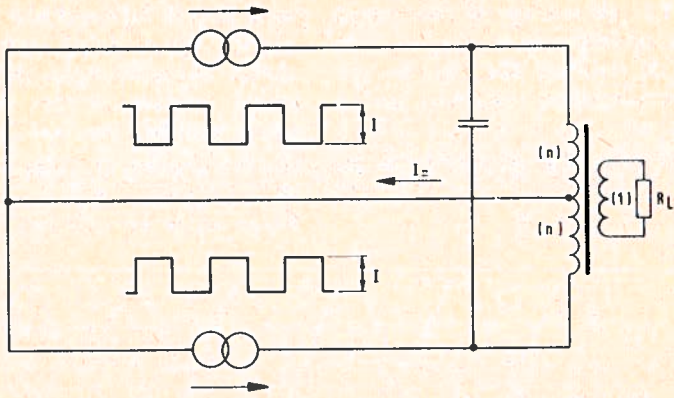
gelijk aan U_B . U_{BC} is even groot als U_{AC} , maar tegengesteld. Het omschakelen van het contact gebeurt op de nuldoorgangen van de sinusvormige spanning op de trafo. Omdat U_{AC} een sinusvormige spanning is, en U_B een constante gelijkspan-

ning, bestaat U_{DE} (zolang w_1 gesloten is) uit het verschil van een gelijkspanning (U_B) en een halve sinus (U_{AC}). Zolang w_2 gesloten is wordt U_{DE} weer gevonden uit het verschil van een gelijkspanning (U_B) en een halve sinus (nu U_{BC}). Omdat op een zelfinductie geen gemiddelde gelijkspanning kan staan (behalve door zijn ohmse weerstand), moet dus de gemiddelde waarde van de

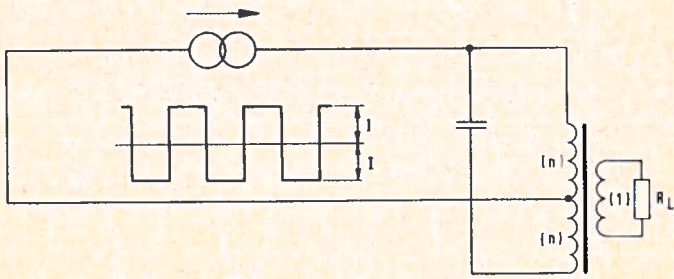
sinusspanning (U_{AC} resp. U_{BC}) gelijk zijn aan U_B : U_{AC} gem. = U_B , of $U_{AC_{top}} \times \frac{2}{\pi} = U_B$, waaruit volgt

$$U_{AC_{top}} = \frac{\pi}{2} U_B \text{ (zie fig. 9).}$$

De gehele transformatorspanning U_{AB} bedraagt dus: $U_{AB_{top}} = \pi U_B$.



Deze schakeling is weer (wat betreft het aantal A_w en de spanning op de transformator) gelijkwaardig aan de volgende schakelingen:



OF:

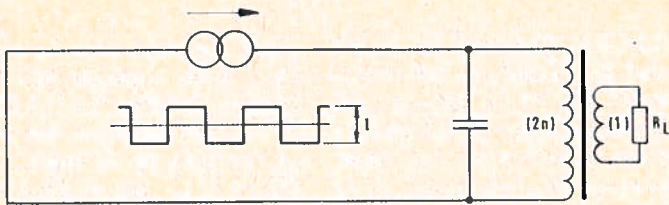


FIG. 10

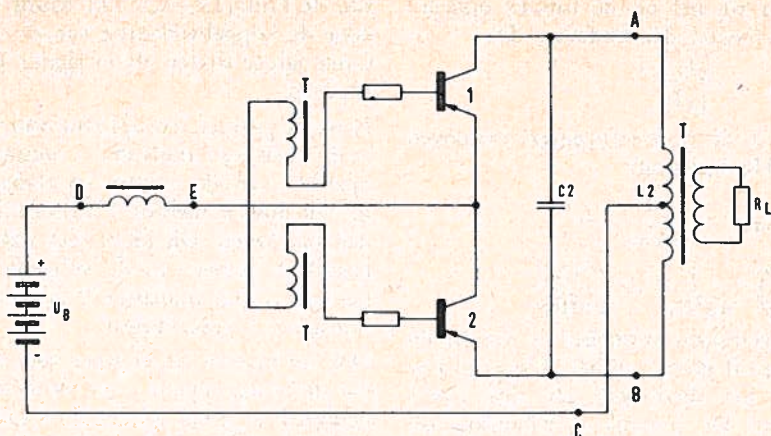


FIG. 11

Uit deze uitdrukking blijkt onder meer, dat de transformatorspanning in eerste instantie wordt bepaald door de batterijspanning, onafhankelijk van de belasting. Dit wijst op een kleine inwendige weerstand van de schakeling, ondanks het feit, dat de aanwezigheid van L_1 in de schakeling een zekere inwendige impedantie suggereert. In de stroom door L komt echter geen 25 Hz component voor, zodat L voor de afgenomen 25 Hz stroom geen impedantie vertegenwoordigt.

De wisselspanning op de gehele primaire van de trafo — dus tussen A en B — bedraagt zoals afgeleid:

πU_B topwaarde, dus effectief

$$\frac{\pi U_B}{\sqrt{2}} \text{ is } \approx 2,22 U_B$$

Door spoel L_1 zal naast de wisselstroom, tengevolge van de spanning U_{DE} op de spoel, een gelijkstroom I lopen, afhankelijk van de belasting. De wisselstroom door L_1 tengevolge van de spanning U_{DE} bestaat slechts uit hogere harmonischen van 25 Hz (50 Hz, 100 Hz, 150 Hz enz.) en is weinig interessant.

Door L_1 groot genoeg te kiezen kunnen

we deze stromen desgewenst zo klein maken als we willen. Nemen we inderdaad aan, dat de wisselstroom door L_1 verwaarloosbaar is ten opzichte van de gelijkstroom door L_1 , dan kunnen we figuur 8 door de volgende schakeling vervangen. (fig. 10).

Nemen we aan, dat de R_P van de kring voornamelijk wordt bepaald door de belasting dan is $R_P = 4n^2 R_L$

Brengen we nu de 25 Hz component in de stroom via R_P in verband met de 25 Hz spanning op de primaire van de trafo (zie fig. 9), dan vinden we:

$$\frac{2}{\pi} I \times 4n^2 R_L = \pi U_B \text{ waaruit we}$$

de waarde van I kunnen vinden:

$$I = \frac{\pi^2}{2} \times \frac{U_B}{4n^2 R_L} = \frac{\pi^2 U_B}{8n^2 R_L}$$

Deze is dus omgekeerd evenredig met de belastingsweerstand R_L

De hogere harmonischen in de stroom (oneven harmonischen 3e, 5e enz.) vinden op de parallelkring — mits de Q voldoende groot is — vrijwel een kortsluiting en komen dus slechts sterk verzwakt in de uitgangsspanning voor.

Bekijken we het uit de batterij opgenomen vermogen dan bedraagt dit:

$$I \times U_B = \frac{\pi^2 U_B^2}{8n^2 R_L}$$

Het door de trafo afgegeven vermogen op 25 Hz bedraagt:

$$(U_{\text{trafo eff}})^2 \times \frac{1}{4n^2 R_L} = \left(\frac{\pi U_B}{\sqrt{2}}\right)^2 \frac{1}{4n^2 R_L} = \frac{\pi^2 U_B^2}{8n^2 R_L}$$

Het opgenomen vermogen is dus in dit ideale geval gelijk aan het afgegeven vermogen; het rendement zou dus 100% bedragen. De praktijk is natuurlijk anders; er treden verliezen op in de trafo, de seriekring, de sturing van de schakelaars (transistoren) enz.

Met de gegeven vervangingsschakelingen en opmerkingen is de schakeling van figuur 8 verder geheel voor berekening toegankelijk.

De schakelaar van figuur 8 kunnen we nu weer door transistoren vervangen. Zie figuur 11.

De stuurwikkelingen van de transistoren zijn weer zodanig met T gekoppeld, dat een oscillator ontstaat met de slingertijd

van de kring L2—C2. Dit wordt bereikt door de koppelwikkeling van de transistoren aan te sluiten als in figuur 11 aangegeven.

Is nu A positief ten opzichte van C, dan is de basis van transistor 1 negatief ten opzichte van de emitter en transistor 1 geleidt dus. Transistor 2 zal tegelijkertijd dan blokkeren. Dit klopt met wat we in figuur 9 stelden. In de volgende halve periode is dan transistor 2 geleidend en transistor 1 geblokkeerd.

Ook nu moeten we er weer voor zorgen, dat de terugkoppeling van de hoofdwickelingen zo groot is, dat de transistoren volledig uitgestuurd worden. Dit betekent hier, dat vrijwel direct na het omschakelen van de transistoren — als de stuurspanning op de transistoren nog laag is — toch reeds de volle door L1 getrokken gelijkstroom moet kunnen worden geleverd door de leidende transistor bij een zeer kleine collectorspanning. Dit vereist een vrij sterke terugkoppeling of een zekere hulpstroom voor de basis der transistoren. De schakeling, die zo is ontstaan, mist de nadelen die voor de schakeling volgens figuur 7

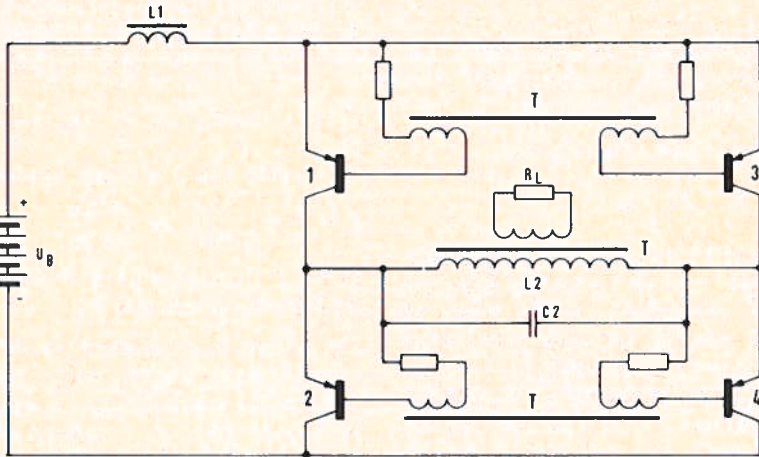


FIG. 12

golden. In de eerste plaats heeft de schakeling een condensator minder. In de tweede plaats kan in praktische schakelingen L_1 in de schakeling volgens figuur 11 veel kleiner worden gekozen dan L_1 in de schakeling van figuur 7. De schakeling volgens figuur 11 heeft echter een ander nadeel, dat blijkt als we naar de spanningen op de transistoren kijken (zie figuur 9).

De werking van de schakeling is verder geheel analoog aan die volgens figuur 11. Doordat nu slechts een enkele primaire wikkeling nodig is in plaats van een balanstransformator met middenaftakking zijn de optredende spanningen op de transistoren slechts half zo groot, waardoor de schakeling aan bruikbaarheid wint bij vrij hoge voedingsspanningen, zoals deze in telefooncentrales gebruikt wor-

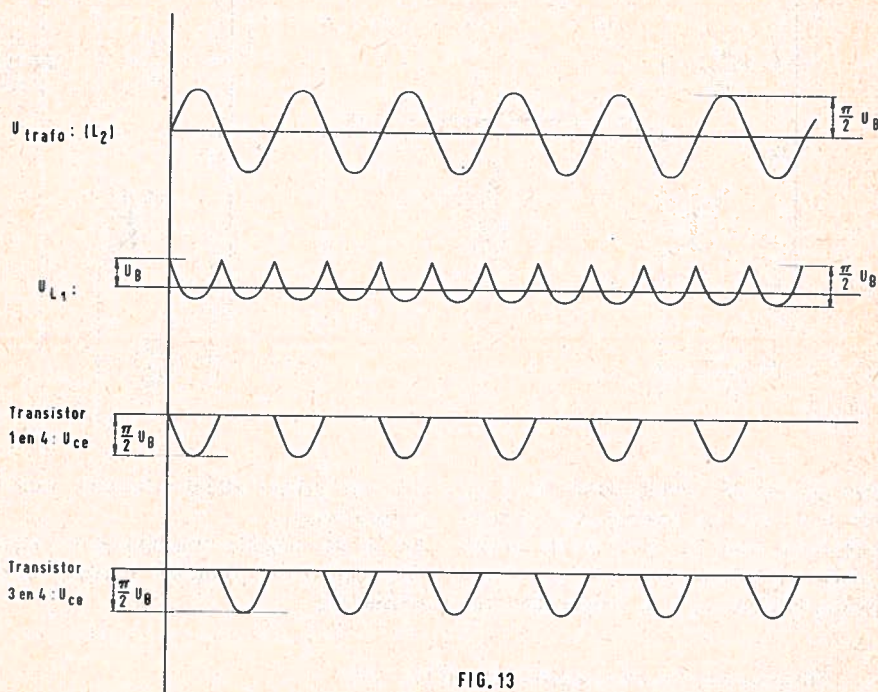


FIG. 13

Hieruit blijkt, dat theoretisch ruim 3 maal de batterijspanning op de transistoren komt. Dit is al gauw ontoelaatbaar hoog. Een middel om hieraan te ontkomen is te vinden in de schakeling volgens figuur 12.

De transistoren zijn hier geschakeld als commutator in plaats van als wisselcontact. Als tr 1 tr 4 geleiden, blokkeren de transistoren tr 2 en tr 3 en omgekeerd.

den (48 V, 60 V). Figuur 13 geeft de spanningen weer zoals die globaal in de schakeling van figuur 12 optreden.

Een volledig schema van een in de praktijk uitgevoerde 25 Hz-belstroomgever met transistoren vindt u in figuur 14 weergegeven.

Hierin is de laatst behandelde schakeling gemakkelijk terug te vinden. De

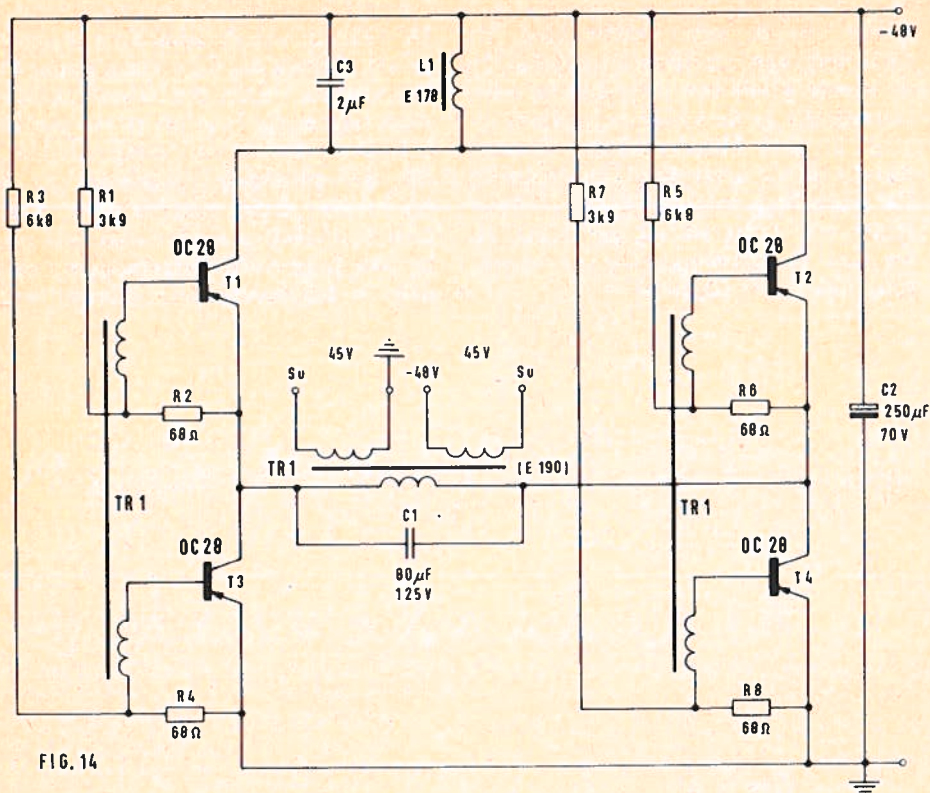


FIG. 14

hierin opgenomen condensator van $2 \mu\text{F}$ heeft hier niet de functie van afstemcondensator voor $L1$, maar heeft slechts secundaire betekenis (het voorkomen van spanningspieken op $L1$ tengevolge van

het niet geheel ideaal schakelen van de transistoren).

De in het schema opgenomen weerstanden dienen o.a. voor het starten van de schakeling.

Antwoorden van de vraagstukken op blz. 64.

1. 623,1
2. 4
3. 216
4. 3116,86 g
5. 25 en 20 A
6. $-6y + 7z$
7. -2
8. $10p^2q/p$
9. 1053 cm^2
10. 48 cm
11. $132^\circ 4' 18''$
12. 6 A
13. $R = 53 \Omega$; $I = 6 \text{ A}$;
 $E = 318 \text{ V}$; $e_1 = 72 \text{ V}$
 $e_2 = 108 \text{ V}$; $e_4 = 84 \text{ V}$.
14. $1\frac{2}{7} \Omega$
15. $i_1 = 4 \text{ A}$; $i_2 = 6 \text{ A}$; $i_3 = 8 \text{ A}$;
 $R_v = 1\frac{1}{3} \Omega$; $E = 24 \text{ V}$.

De Kristalafdeling van het Dr. Neher Laboratorium

62-012

door B. G. G. Schneiders.

Inleiding.

In het Studieblad PTT van 15 juli 1959 is reeds terloops aangegeven, dat men zich in het Dr. Neher laboratorium bezig houdt met het onderzoek en de fabricage van kwartskristallen. Op dit terrein is door PTT veel baanbrekend werk verricht en dit is niet te verwonderen als men bedenkt, welke belangrijke plaats kwartskristallen in de telecommunicatie innemen als frequentiestabiliserend- of als filterelement. We denken hierbij o.a. aan de kristal gestuurde zenders, frequentiestandaard, kristalgestuurde oscillatoren voor ontvangers, filterelementen enz.

Het Minerale kwarts.

De grondstof waaruit de kristallen ge-

sneden worden is het mineraal *kwarts* (SiO_2). Het wordt bijna overal ter wereld gevonden, maar slechts zelden in de voor ons doel bruikbare kwaliteit en afmeting. Madagascar en Brazilië zijn de landen, die het beste kwarts leveren. Het wordt daar gevonden in blokken variërend van enige tientallen grammen tot een paar kilo, maar deze laatste zijn zeldzaam en dus kostbaar. Afbeelding 1 laat enige kwartsblokken zien. Men lette vooral op het kleine blok. De natuurvlakken zijn hier namelijk zeer goed zichtbaar. Naar gelang de grootte en kwaliteit van het kwartsblok, varieert de prijs van f 100,00 tot f 500,00 en meer per kilo. Terloops zij vermeld, dat door vergroeiing, verontreinigingen, zagen, slijpen enz.



AFB. 2

slechts circa 8% van het kwarts nuttig gebruikt wordt. Voegt men daarbij de afschrijving van de machines en vrij kostbare precisieinstrumenten plus het arbeidsloon, dan is het begrijpelijk, dat voor de kristallen een vrij hoge prijs bedongen moet worden.

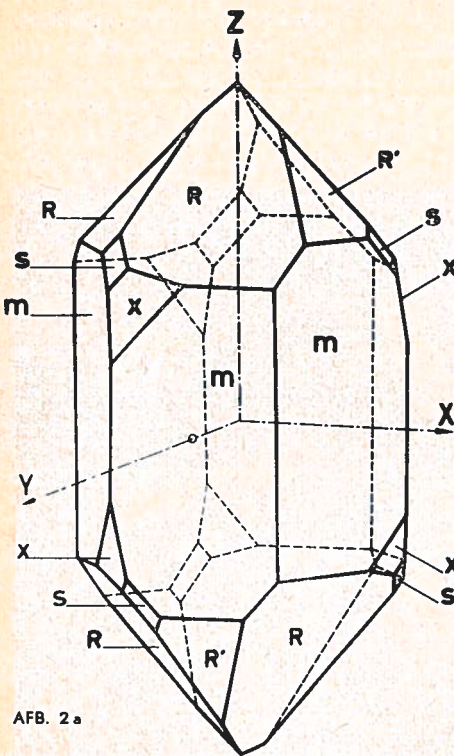
Eigenschappen van kwarts.

Oriëntatie.

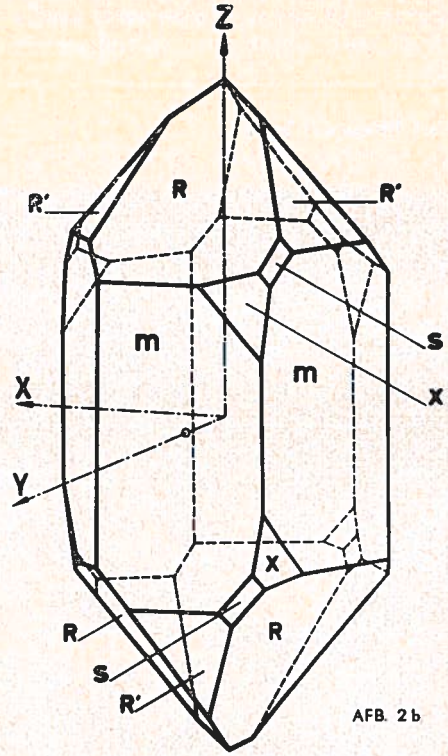
Kwarts is een *anisotroop* materiaal, dat wil zeggen, dat zijn eigenschappen afhankelijk zijn van de richting van de kwartsstructuur. Voor het vervaardigen van kwartskristallen gebruikt men het α -kwarts.

plaatselijk zeer hoge druk of grote temperatuurvariaties bloot stelt. Komt men *boven de 572 °C*, dan *ontstaat het niet-piëzo-elektrische kwarts*. De richting of *oriëntatie* van een kristal wordt door de *kristallografische assen* bepaald, zoals is aangegeven in afbeelding 2, welke een ideale kristalvorm weergeeft.

De *Z-as* noemt men de *optische as*. Loodrecht op deze as staat de *X as*, welke loopt van ribbe tot Z as. Deze as noemt men de *elektrische as*. Verder staat loodrecht op het XZ-vlak de *Y as*, welke dus een hoek van 90° met de X as en Z as maakt. Deze as noemt men de *mechanische as*.



AFB. 2a



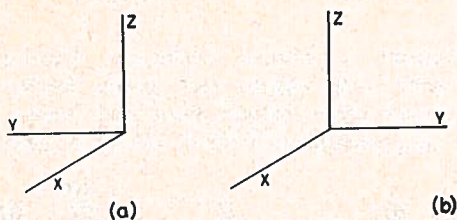
AFB. 2b

Dit is kwarts, dat op een bepaalde manier gekristalliseerd is en beneden 572 °C stabiel blijft, mits men het niet aan

Kwartsblokken komen in twee vormen voor, die het spiegelbeeld van elkaar zijn nl. links draaiend kwarts (afb. 2a)

en rechts draaiend kwarts (afb. 26). Het verschil in draaiing is te zien aan de stand van het S vlakje ten opzichte van het veelhoeksvlak R. Aangezien het S vlakje echter sporadisch op de kristalblokken te zien is, kan deze draairichting niet zonder meer onderkend worden. Kommen in een kwartsblok beide richtingen voor, dan noemt men zo'n blok een *op-tische tweeling*.

Er kunnen in een kwartsblok ook twee gebieden voorkomen, waarvan het XYZ assenkruis ten opzichte van het assenkruis van het andere gebied 180° om de Z as is gedraaid. Zo'n kwartsblok noemt men een *elektrische tweeling* (afb. 3).



AFB. 3

Om te kunnen constateren of een kwartsblok tweelingvormen heeft, wordt een blok of plak in fluorwaterstof (HF) gedompeld en enige tijd geëet. Door het verschil in lichtreflecties op de verschillende georiënteerde kristalroosters ontstaat een direct zichtbaar patroon (afb. 4). Het te vervaardigen kwartskristal moet nu zo uit het blok of de plak gesneden worden, dat het geen enkele tweeling bevat.

Gedurende de gehele verdere bewerking worden de kwartsplaatjes steeds weer op deze insluitingen gecontroleerd, omdat door verder afslijpen van de plaatjes deze altijd nog weer te voorschijn kunnen komen. Helaas is het zo, dat bij de meeste kwartsblokken een tweelingvorming voorkomt.



AFB. 4

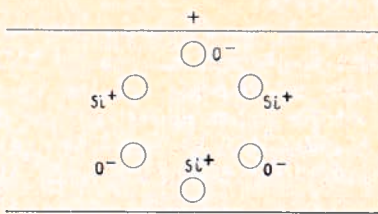
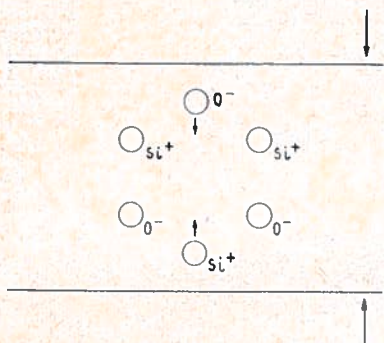
Piëzoelektricitet.

Alvorens tot verdere beschrijving van de kwartskristallen over te gaan dient eerst het begrip *piëzoelektrisch effect* uiteen gezet te worden. Het piëzoelektrisch effect werd in 1880 door de gebroeders Pierre en Jacques Curie ontdekt. Zij vonden, dat ten gevolge van een mechanische druk op het kwarts een elektrische spanning ontstond en omgekeerd, dat bij de aanleg van een elektrische spanning op het kwarts een mechanische deformatie (vervorming) optrad. De verklaring hiervan is als volgt weer te geven: bij deformatie van het kristal ontstaat een onderlinge verschuiving van de zwaartepunten der negatieve en positieve ladingen, die de ionen in de cel dragen. Bekijken we nu zo'n elementaire cel, die eigenlijk een spiraalvormige keten bevat, maar welke we gemakshalve op een plat vlak geprojecteerd zullen beschouwen (afb. 5), dan zien we, dat ten gevolge van een drukking op bijv. het boven- en ondervlak van

het kristal een dusdanige verschuiving van de ionen plaats vindt, dat er op het bovenvlak een positieve en op het ondervlak een negatieve lading ontstaat. Het is duidelijk, dat de ladingen op tegenovergestelde vlakken aan elkaar tegengesteld moeten zijn. Daarom moet de

bepaald ritme (frequentie) te laten trillen.

Er zijn ook nog andere kristalsoorten met het voornoemd effect, maar deze komen in voor ons doel te kleine afmetingen voor of zijn zo zeldzaam — zoals tourmalijn —, dat ze te duur zijn om als

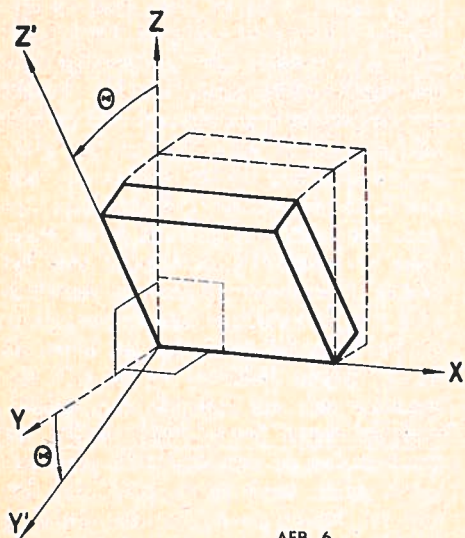


AFB. 5

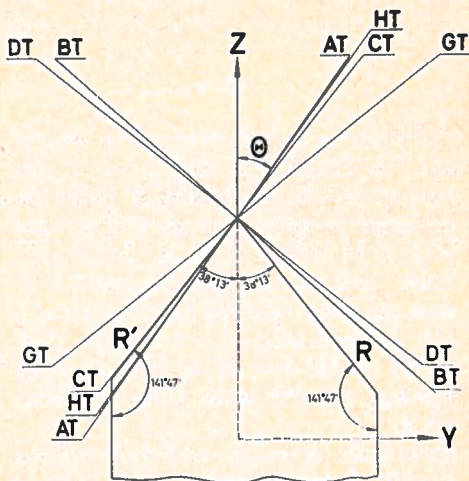
symmetrie van het kristal aan bepaalde voorwaarden voldoen.

Van dit poëzoelektrische effect maakt men nu gebruik om het kristal in een

kristal te worden versneden. Daarbij komt, dat kwarts zeer goede mechanische eigenschappen bezit zoals temperatuursonafhankelijkheid, weinig of geen



AFB. 6



AT - SNEDE	$\Theta = + 35^{\circ} 15'$
HT - ..	$\Theta = + 35^{\circ} 55'$
BT - ..	$\Theta = - 48^{\circ} 50'$
CT - ..	$\Theta = + 38^{\circ} 20'$
DT - ..	$\Theta = - 51^{\circ} 45'$
GT - ..	$\Theta = + 51^{\circ} 30'$

beïnvloeding door vocht enz.. Het nadeel van kwarts blijft echter, dat er op de duur een schaarste dreigt aan voor piëzo-elektrische toepassing bruikbare blokken. Vandaar dat men geprobeerd heeft — en hierin ook is geslaagd — om synthetisch kwarts te vervaardigen. De fabricatie hiervan is echter nog niet op grote schaal ter hand genomen. Ook in Nederland is men in staat synthetisch kwarts te vervaardigen.

Kristalsnede.

Bij de vervaardiging van kwartskristallen gaat men uit van diverse sneden. De meest gebruikte zijn de AT, BT, CT en X-snede, maar men kent nog vele andere. De keuze van een kwartssnede wordt bepaald door eisen, die men aan het kristal stelt zoals a.o. frequentie, temperatuursafhankelijkheid, nevenresonanties enz.

De typen sneden geven aan onder welke hoek ten opzichte van X, Y en Z as de plaatjes uit het kwartsblok worden gesneden.

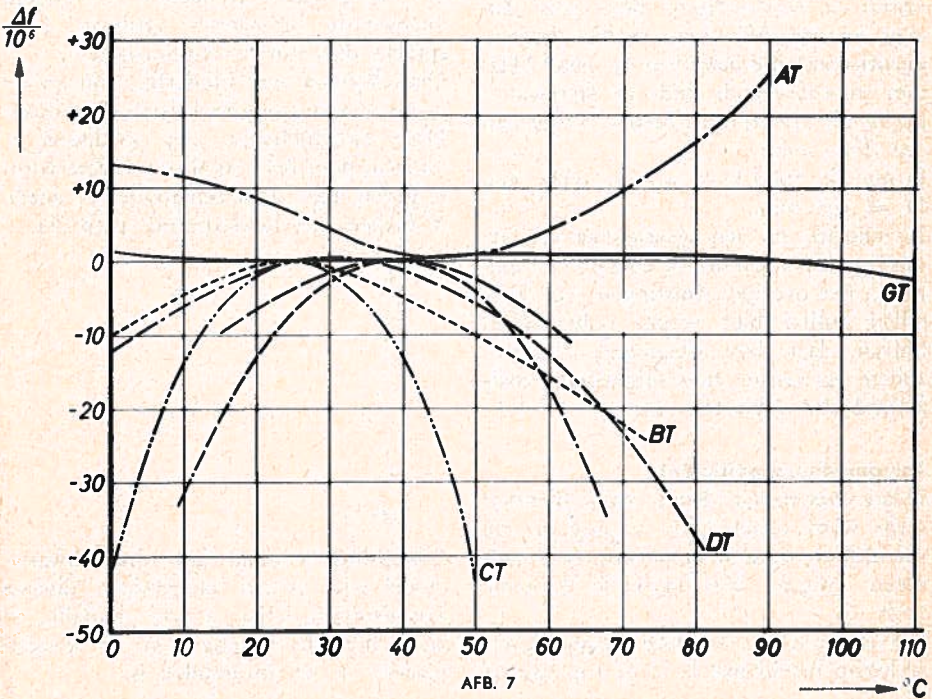
In afbeelding 6 zijn enige van deze sneden weergegeven.

Daarin ziet men, dat de BT snede een hoek maakt met de Z as van 48°50'. De AT en CT snede maken een hoek van respectievelijk 35°15' en 38°20' met de Z as. De X snede is een snede, die loodrecht staat op de X as.

Het is mogelijk om met behulp van deze en andere sneden kristallen te vervaardigen van 1 kHz en lager tot ca. 100 MHz toe.

Frequentie.

Deze is niet alleen afhankelijk van de snede, maar ook van de afmetingen van het kristal. Iedere snede heeft zijn geëigende constante, dat wil zeggen er



AFB. 7

bestaat een vaste relatie tussen frequentie en frequentie bepalende afmeting van het kristal.

Nemen we als voorbeeld een X snede van 100 kHz. Hier is de lengte de frequentie bepalende afmeting. De frequentie constante van een X snede is 2800 mm. De lengte van het kristal wordt nu:

$\text{lengte} \times \text{frequentie} = \text{frequentieconstante}$

$$L \text{ mm} \times 100 \text{ kHz} = 2800 \text{ kHz} \cdot \text{mm}$$
$$L = 28 \text{ mm}.$$

Uit dit eenvoudige rekensommetje is gemakkelijk te zien, dat een kristal van bijv. 5600 kHz niet uit een X snede is te maken.

Past men nl. dezelfde formule toe, dan is:

$$L \text{ mm} \times 5600 \text{ kHz} = 2800 \text{ kHz} \cdot \text{mm}$$
$$L = 0,5 \text{ mm}.$$

Deze afmeting is, om redenen van mechanische aard, te gering om hiervan een kristal te vervaardigen. Men gaat dan over tot een AT snede, welke een frequentieconstante bezit van ca. 1680 kHz. mm en waarvan de dikte de frequentie-bepalende afmeting is. Men verkrijgt dan een dikte van:

$$D \text{ mm} \times 5600 \text{ kHz} = 1680 \text{ kHz} \cdot \text{mm}$$
$$D = 0,3 \text{ mm}.$$

Zo ontstaat nu een plaatje met een afmeting van 0,3 mm dik en bijv. 17 mm rond. De overige afmetingen van kristallen zullen hier verder onbesproken blijven, daar deze afhankelijk zijn van andere gewenste hoedanigheden, zoals zelfinductie, capaciteit enz..

Temperatuurscoëfficiënt.

Iedere kristalsnede heeft, zoals hiervoor reeds werd vermeld, de neiging om bij verwarming iets in frequentie te veranderen volgens een bepaalde kromme (afb. 7).

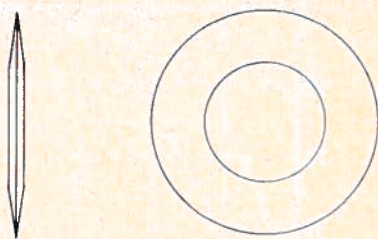
Het is duidelijk, dat deze frequentieverandering het kleinst is in de top van de

kromme. Daar waar een hoge frequentie-stabiliteit vereist is, worden de kristallen in een thermostaat gebracht en op 1 °C constant gehouden; bij zeer hoge eisen, zoals de frequentiestandaard, zelfs op 0,001 °C. De thermostaattemperaturen liggen meestal in de buurt van ca. 55 °C. Door de hoek, waaronder het plaatje uit het kwartsblok wordt gezaagd, enige boogminuten te verdraaien is het mogelijk, om de top van de temperatuurkromme in de buurt van de gevraagde bedrijfstemperatuur te brengen.

Nevenresonanties.

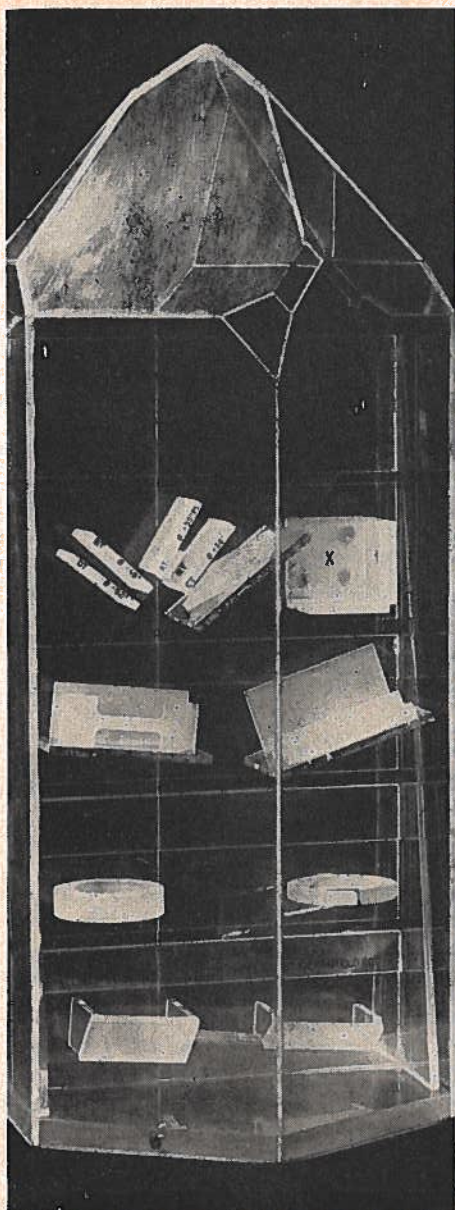
In elk kristal komen, behalve de vereiste hoofdfrequentie, ook nog nevenresonanties voor. Deze ontstaan, doordat het kwartsplaatje op meerdere manieren kan trillen, terwijl van alle trillingen slechts één is gewenst. Ten gevolge van het feit, dat tussen de diverse trillingen bepaalde koppelingen bestaan, kunnen dus met de gewenste frequentie ook andere ongewenste frequenties optreden. Men spreekt dan van nevenresonanties.

Deze kunnen zeer hinderlijk zijn en de goede werking van het kristal teniet doen. Deze moeilijkheden zijn goeddeels te ontgaan door het kristal een andere vorm te geven, bijv. door een ronde AT snede te maken met facetvorming (afb. 8).



AFB. 8

Afbeelding 9 toont een ideaal kwartsmodel met daarin aangebracht diverse kristalsneden. Hier is zeer duidelijk te zien, hoe de ligging van de kwartsplaatjes in het kwartsblok is.



AFB. 9

Vervaardiging van kwartskristallen.

Het vervaardigen van een kwartskristal eist in elke fase van zijn bewerking een grote mate van nauwkeurigheid. Aller-

eerst worden de kwartsblokken, door middel van etsen en gepolariseerd licht, onderzocht op scheuren, tweelingvormen enz.. Daarna worden de kristallografische assen bij benadering vastgesteld.

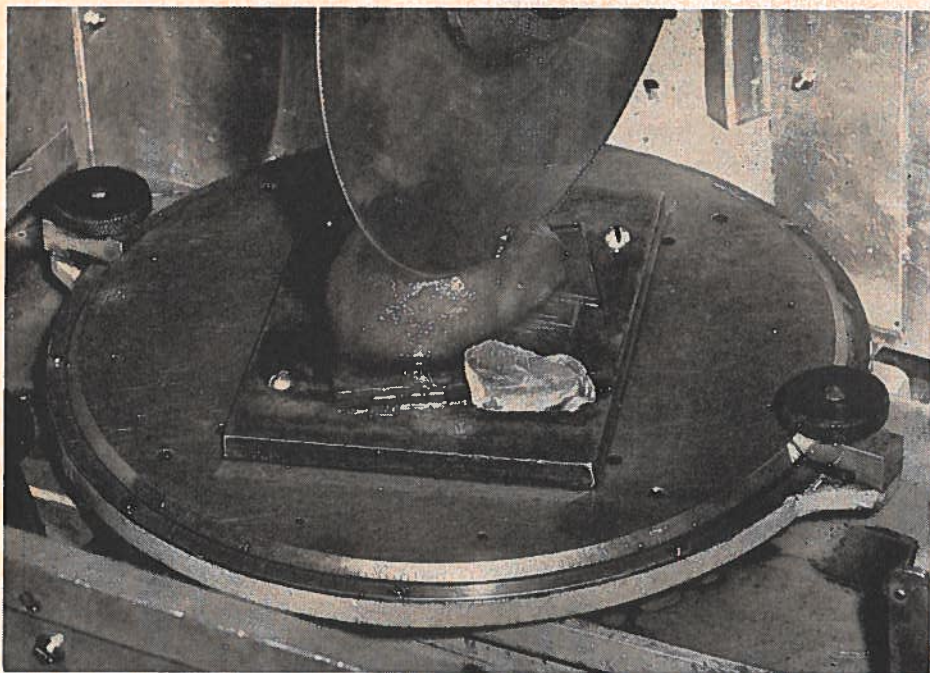
Vervolgens wordt het kwartsblok op een glasplaat gekit en op het plateau van de zaagmachine gemonteerd (afb. 10).

Nadat eerst, met behulp van een proefsnede, de juiste oriëntatie is vastgesteld en dienovereenkomstig het blok nage-richt is met behulp van een op het zaag-plateau aangebrachte nonius, wordt het kwartsblok in plakken gezaagd (afb. 11).

Het zagen geschiedt met behulp van een met diamant geprepareerde ronddraaiende schijf. De juiste hoek, waaronder de plakken uit het kwartsblok worden gesneden, wordt op circa 1 à 2 boogminuten nauwkeurig gemeten met behulp van een röntgen apparaat (afb. 12).

Deze laat een bundel gerichte röntgenstralen vanaf de röntgenbuis A reflecteren op de roostervlakken van het kristal B, die bekende hoeken maken ten opzichte van de kristallografische hoofdassen. Het kristal wordt zover gedraaid, dat de röntgenstralen bij C, via een spleet door een Geiger-Müllerteller, worden opgenomen. Een maximale uitslag op de mA-meter geeft dan de juiste stand aan van het kwartsplaatje. De slijphoek is daarna op de nonius van de goniometer af te lezen.

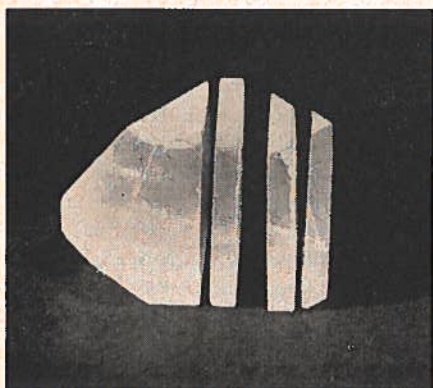
Bij afwijkende hoek worden de platen gecorrigeerd op perlitisch gietijzeren slijpschijven. Slijpmiddelen zijn carborundum of alundum gemengd met olie of water. De plakken worden daarna weer, door middel van etsen, onderzocht op structuurfouten (insluitingen), scheurtjes, luchtbellens, enz.. Plakken of gedeelten van plakken, die geen fouten vertonen, worden verzaagd in ronde of rechthoekige plaatjes, naar gelang de gekozen snede en de frequentie waarvoor



AFB. 10

ze bedoeld zijn. De aldus verkregen plaatjes worden vervolgens door slijpen op de juiste afmetingen gebracht, waarbij een tolerantie van maximaal 0,002 mm is toegestaan. Vervolgens wordt hun frequentie gemeten met behulp van een oscillator en meetontvanger en door mid-

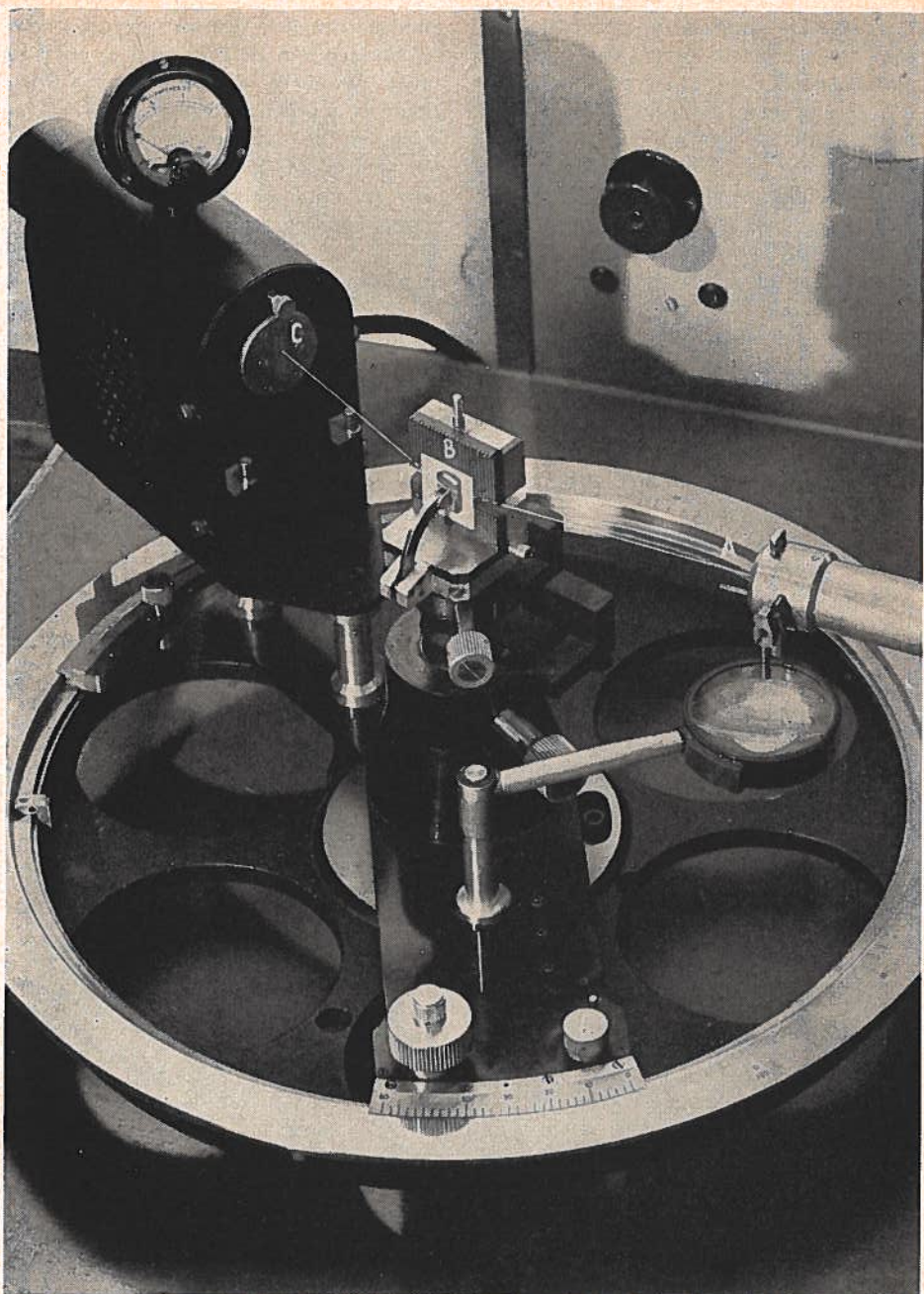
del van kleine slijphandelingen naar de gewenste frequentie toegebracht. Tenslotte worden de plaatjes weer geëetst. Mogelijke insluitingen worden daardoor nog onderkend, maar tevens wordt het kristaloppervlak hierdoor gezuiverd van carborundum en kwartsdeeltjes, die door het gewone reinigen niet verwijderd kunnen worden.



AFB. 11

Ook de verandering van het kristal (frequentieverandering van het trillende kristal gedurende de eerste weken) wordt hierdoor tot verantwoorde grenzen teruggebracht. Vervolgens worden de kristallen aan beide zijden voorzien van een zilverstipje, welke stipjes precies op de knooplijn van het kristal worden aangebracht en daarna worden vastgebakken. De knooplijn is de lijn waar het trillende kristal in rust is.

Het zilverstipje, dat zo klein mogelijk van afmetingen moet worden gehouden (ca.



AFB. 12

1 mm rond), bestaat uit een pasta van zeer fijn verdeeld zilver gemengd met een glaspoeder en een medium.

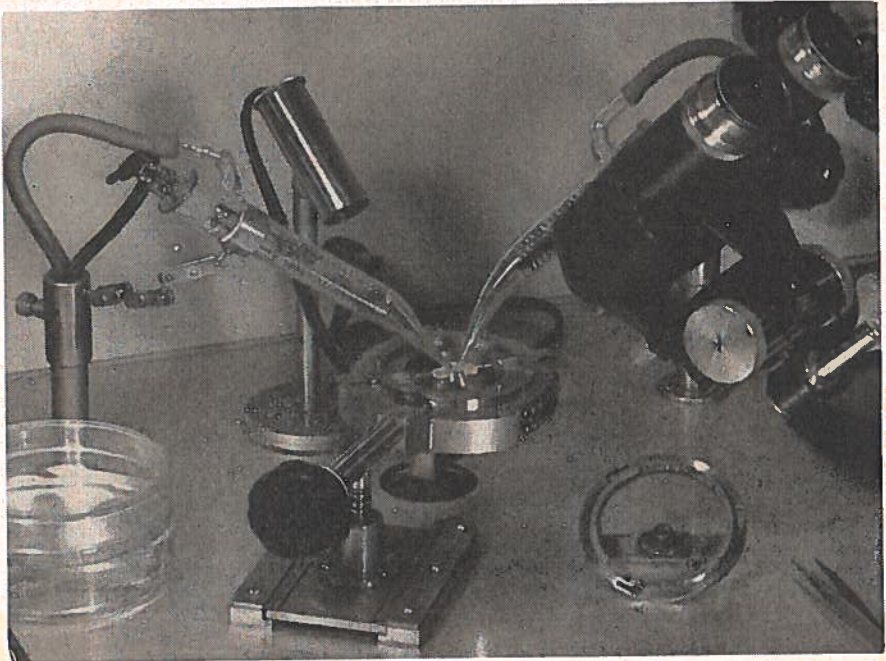
Het glaspoeder gaat bij hoge temperatuur een verbinding aan met het kwarts en houdt tevens de zilverdeeltjes vast, terwijl het medium bij die temperatuur verdampst. Het bakproces zowel als het hierna te bespreken solderen moeten met een uiterste nauwkeurigheid worden uitgevoerd teneinde een zo goed mogelijke hechting te krijgen. Vervolgens worden op deze stipjes draadjes gesoldeerd. Deze draadjes zijn gemaakt van fosforbrons en aan een uiteinde voorzien van een plat vertind kopje.

Het solderen geschiedt met behulp van een zgn. soldeerkop. (afb. 13).

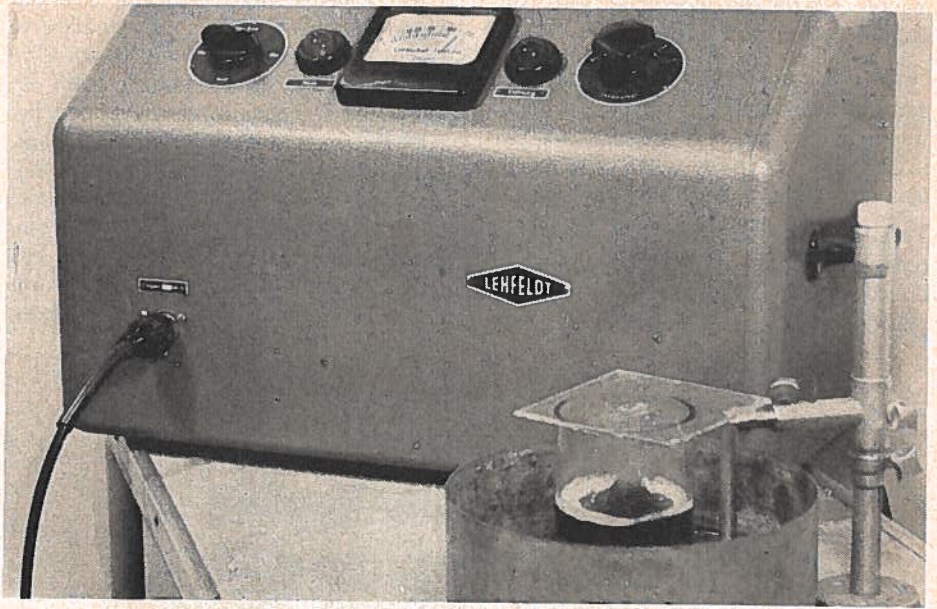
Deze bestaat uit een inkleminrichting voor het kristal en twee brugstukken waarin de bronsdraadjes gevat worden. Deze soldeerkop is zo gemaakt, dat het

midden van het kristal precies onder het midden van de brugstukken komt te zitten. Wanneer nu het kristal vastgeklemd is, worden de brugstukken aangebracht en de draadjes, met behulp van een veertje, op het stipje gedrukt. Met hete stikstof, welke door twee pyrex glazen spuitjes wordt aangevoerd, worden nu de draadjes en het kristal gelijkmatig verwarmd, totdat het tin smelt en het vertinde draadje aan het stipje vasthecht. Gemiddeld kan de hechting van deze draadjes een trekkracht van ca. 1800 gram doorstaan. De kristallen, die nu mede door harsresten verontreinigd zijn, worden ultrasonisch gereinigd (afb. 14).

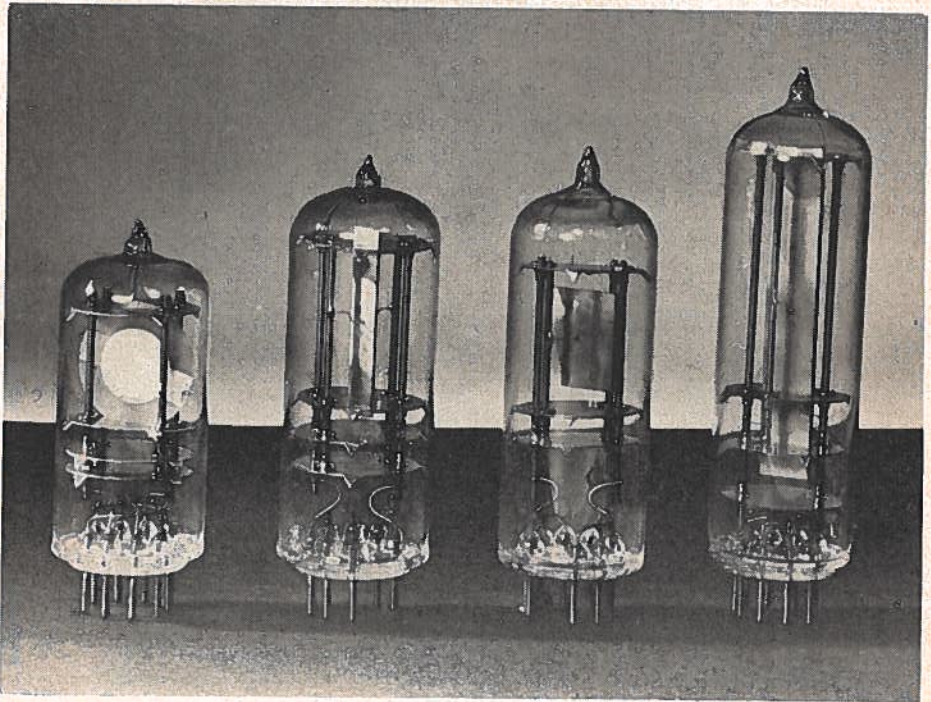
Daarna wordt een gouden of zilveren elektrode op de kristallen aangebracht. Dit geschiedt in een glazen stolp, welke door middel van een oliediffusiepompe, hoogvacuum gepompt kan worden. In deze stolp bevindt zich een roestvrij stalen



AFB. 13



AFB. 14



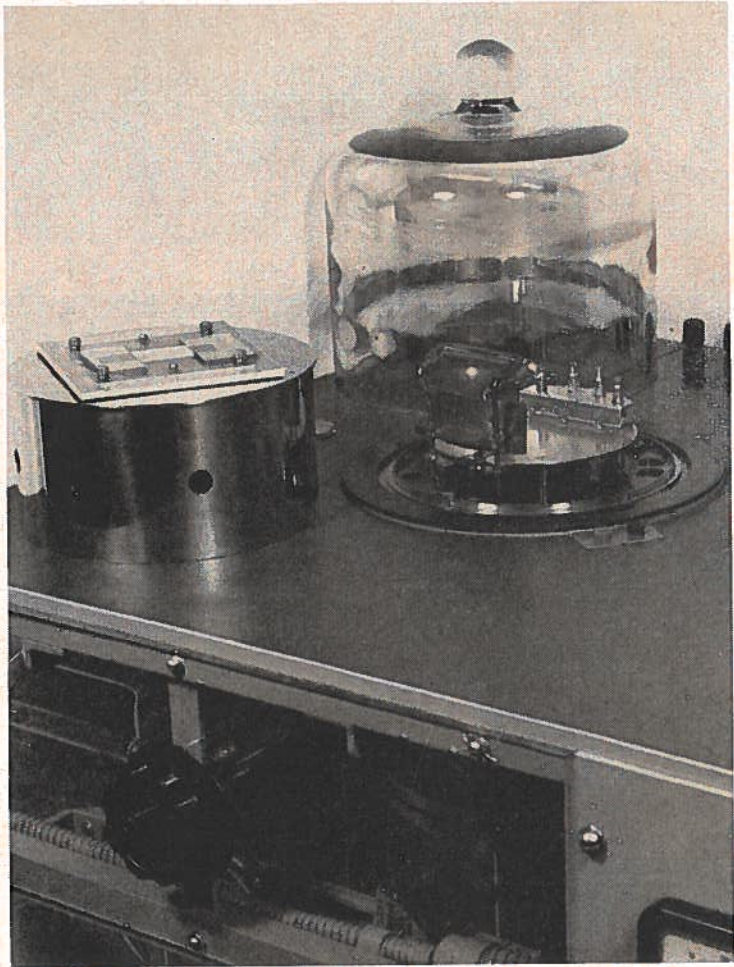
AFB. 16

mantel, waarin een gloeidraad van wolfram is gemonteerd (afb. 15).

Hieraan komen de goudhaakjes te hangen, die bij verhitting van de gloeidraad verstuiven en zo de kristallen, die zich in maskers boven de gloeidraad bevinden, van een elektrode voorzien.

Tevens bevindt zich in de stalen mantel een glazen meetstrip, die gelijktijdig mee opgedampt wordt. Door de contactpunten van deze strip naar buiten te voeren

is het mogelijk, om met behulp van een Ohmmeter, de opgedampte laagdikte te meten. Na al deze bewerkingen wordt de frequentie van het kristal gemeten en gecorrigeerd door van de frequentie bepalende afmeting iets af te schuren. Daarna worden ze in de eigen gemaakte houders gemonteerd. Na nogmaals gecontroleerd en eventueel gecorrigeerd te zijn, worden de kristallen ingesmolten in een glazen ballon, welke luchtledig wordt gepompt. Tenslotte wordt een eindcon-



AFB. 15



Gevraagd wordt:

1. 120 V is de elektromotorische kracht van een generator.
De inwendige weerstand R_i van deze generator bedraagt 1,2 ohm. Als de afgegeven stroom 30 A is, hoe groot is dan de klemspanning?
2. Een gelijkstroommotor heeft een inwendige weerstand $R_i = 0,6$ ohm. Deze gelijkstroommotor gebruikt bij volle belasting 30 A, terwijl de klemspanning 60 volt is.
3. Alhoewel de loodaccumulator verscheidene goede eigenschappen heeft, zijn er ook enkele minder goede. Noem er enigen.
4. Via een kWh-meter is een motor, waarvan de belasting constant is, op het net aangesloten.
De kWh-meter blijkt na 4 uur, 8000 omwentelingen gemaakt te hebben.
Hoe groot is de belasting geweest?
1 kWh = 1000 omwentelingen.
5. Op een kWh-meter is aangegeven: 220 V — 1200 omwentelingen.
Er wordt gevraagd de stroom van een motor aangesloten op 220 V, bij constante belasting te bepalen als de draaischijf van de kWh-meter per minuut 40 omwentelingen heeft gemaakt.

(slot van blz. 56).

trole toegepast. De kristallen worden dan getest op frequentie, temperatuursverloop over ca. 60 °C, nevenfrequenties, kristalweerstand, zelfinductie enz.. Daarna worden de kristallen gecodeerd en afgeleverd. Van elk kristal wordt z'n *levensgeschiedenis* op een lijst geschreven en in het archief opgeborgen, zodat even-

tueel later nog gegevens kunnen worden verstrekt.

Afbeelding 16 geeft nog een overzicht van enige kristallen zoals zij op het Dr. Neherlaboratorium worden vervaardigd. Men ziet hier een ronde AT snede met daarnaast een HT snede, dan een CT snede en tenslotte een X snede.

De kabeldemping bij gelijkspanning.

62-014

door D. J. Dekker.

Inleiding.

Bovenstaande vlag dekt slechts ten dele de lading van dit artikel, omdat niet alleen ter sprake zal komen de demping bij gelijkspanning, dat wil zeggen bij wisselspanning met een frequentie nul, maar tevens de demping bij hogere frequenties.

De nadruk zal echter vallen op de demping bij de frequentie nul.

Over de grootte van deze demping blijken namelijk maar al te vaak onjuiste denkbeelden te heersen. Dit is op het eerste gezicht niet zo onrustbarend, omdat de grootte van de demping pas praktisch interessant is bij frequenties van circa 300 Hz of hoger en het derhalve slechts van academisch belang is om de demping bij de frequentie nul te kennen.

Bovengenoemde onjuiste denkbeelden kunnen echter alleen ontstaan, als er een misvatting bestaat omtrent de betekenis van de kabelparameter G , of indien de definitie van het begrip demping niet of slechts vaag bekend is. Is het laatste het geval, dan kunnen de verschillende bij onze Dienst in gebruik zijnde kabelgegevens niet goed gehanteerd worden, hetgeen o.a. tot gevolg heeft, dat men ook bij de wel van praktisch belang zijnde frequenties een onjuist beeld krijgt van de grootte van de demping. Zo bezien loont het alleszins de moeite in dit artikel een onderzoek in te stellen naar de grootte van de demping bij gelijkspanning. Tijdens dit onderzoek zullen de volgende onderwerpen worden belicht:

- I. Kabelparameters.
- II. Karakteristieke impedantie.
- III. Karakteristieke demping.
 - a. Het begrip demping.
 - b. De demping bij wisselspanning.
 - c. De demping bij gelijkspanning.

I. Kabelparameters.

De bouwstenen van een elektrisch netwerk zijn de zogenaamde netwerkelementen, welke onderscheiden worden naar het aantal polen dat ze bezitten. Tweepolen zijn netwerkelementen met twee polen of aansluitklemmen. Weerstand, condensatoren, zelfinductiespoelen e.d. zijn dus tweepolen. Netwerkelementen die vierpolen bezitten, namelijk twee ingangsklemmen en twee uitgangsklemmen, noemt men vierpolen.

Vierpolen vormen de schakel tussen een energie leverend en een energie verbruikend stuk van een netwerk. Een duidelijk voorbeeld van een vierpool is een transformator, die immers twee primaire en twee secundaire klemmen bezit. Ook een elektrisch filter is een vierpool, welke echter zelf weer opgebouwd is uit tweepolen, te weten condensatoren en zelfinductiespoelen.

Het samenvoegen van de bouwstenen van een elektrisch netwerk geschiedt met

behulp van verbindingsdraden of elektrische geleiders. Deze verbindingsdraden kan men dus vergelijken met het cement, dat gebruikt wordt om stenen aan elkaar te hechten. Deze vergelijking met metselspecie gaat echter slechts dan op, indien de verbindingsdraden zo kort zijn, dat hun invloed op de in het netwerk optredende elektrische verschijnselen te verwaarlozen klein is.

Wordt aan deze voorwaarde niet voldaan en introduceren de verbindingsdraden een niet te verwaarlozen weerstand in het netwerk, dan moeten we ook hen beschouwen als tweepolen. Een verbindingsdraad is dan ook een bouwsteen en het elektrische *metselwerk* geschiedt dan (soms letterlijk) uitsluitend aan de verbindingspunten.

De zaak wordt nog iets ingewikkelder, wanneer naast de weerstand ook de capaciteit ten opzichte van aarde van een verbindingsdraad in rekening moet worden gebracht. De beide draden, welke nodig zijn om in een netwerk tweepolen te verbinden, hebben dan namelijk ook capaciteit ten opzichte van elkaar en zijn bijgevolg met elkaar gekoppeld. Een afzonderlijke beschouwing van elk der draden is onder deze omstandigheden niet geoorloofd en derhalve moeten beide draden tezamen worden beschouwd als één vierpool.

De capaciteit van de verbindingsdraden speelt een merkbare rol, als de frequentie van de door de energie leverende tweepool afgegeven wisselstroom hoog is, of wanneer de netwerkelementen, die met elkaar moeten worden verbonden, zich op grote afstand van elkander bevinden. Dit laatste is vaak het geval, zowel in de sterkstroomtechniek als bij de telefoontransmissie.

We beperken ons in het volgende tot de telefoontransmissietechniek.

Deze techniek maakt voor het overbruggen van de afstand tussen sprekende en luisterende abonnee's gebruik van twee al dan niet in kabels ondergebrachte draden of geleiders, welke tezamen een zogenaamde dubbeldraad, aderpaar of geleiderpaar vormen. Dan zijn de microfoon en de telefoon respectievelijk de energie leverende (actieve) tweepool en de energie verbruikende (passieve) tweepool.

Het geleiderpaar is de afstand overbruggende vierpool. Doorgaans bestaat laatstgenoemde vierpool uit verschillende in cascade (achter elkaar) geschakelde vierpolen, die soms via een versterker (actieve vierpool) met elkaar worden verbonden.

Het energietransport van de actieve naar de passieve tweepool via een geleiderpaar dient vanzelfsprekend met zo weinig mogelijke verliezen gepaard te gaan. De in een geleiderpaar optredende verliezen zijn afhankelijk van de elektrische eigenschappen van dat geleiderpaar. Deze elektrische eigenschappen kunnen we vastleggen in en aflezen uit het zogenaamde vervangingsschema van een geleiderpaar.

Een dergelijk vervangingsschema bestaat uit enige passieve tweepolen, die tussen twee ingangs- en twee uitgangsklemmen een netwerk vormen, dat een zeer eenvoudige structuur heeft.

Slechts onder een zeker voorbehoud kunnen elektrische eigenschappen van een geleiderpaar vertolkt worden door een vierpool, die is opgebouwd uit ons bekende tweepolen. Daardoor is het vervangingsschema van een geleiderpaar, ondanks zijn eenvoud, vrij lastig te interpreteren. We zullen dit schema dan ook ter wille van een zo goed mogelijk begrip stap voor stap opbouwen.

Hiertoe gaan we uit van een geleiderpaar dat een homogene constructie heeft. Bij een homogeen geleiderpaar is de middellijn van en afstand tussen de geleiders in elke doorsnede van het geleiderpaar even groot en het geleidermateriaal is, evenals de isolatie tussen de geleiders, overal van dezelfde samenstelling. Allereerst willen we tot uiting laten komen, dat het geleiderpaar weerstand heeft. Deze weerstand kan op eenvoudige wijze aan een zijde van het geleiderpaar (op de ingangsklemmen) worden gemeten, als de beide geleiders of aders aan de andere zijde (op de uitgangsklemmen) met elkaar worden verbonden.

De beide geleiders vormen dan een lus en men spreekt dan ook wel van de lusweerstand van het geleiderpaar. De lusweerstand R is gelijkelijk over de beide geleiders verdeeld; elke geleider heeft dus een weerstand $\frac{R}{2}$. De lusweerstand kan derhalve worden aangegeven als in figuur 1.

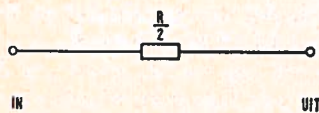


FIG. 1



FIG. 2

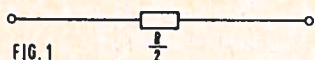


FIG. 1



FIG. 2

Dit vervangingschema is nog verre van volledig, want het voldoet, indien de isolatie van de geleiders volkomen is, alleen voor gelijkspanning. Bij wisselspanning krijgen we niet alleen te maken met de capaciteit van de geleiders ten opzichte van elkaar, maar ook met de zelfinductie van de geleiders. De mate van zelfinductie wordt bepaald door de coëfficiënt van zelfinductie L , die rechtevenredig is met de grootte van het oppervlak, dat door de geleiders (in lus) omsloten wordt.

Van een kabeladerpaar is bijgevolg de coëfficiënt van zelfinductie veel kleiner dan van een als luchtlijn uitgevoerd geleiderpaar, waarbij immers de afstand tussen de geleiders vele malen groter is dan bij een in een kabel ondergebracht geleiderpaar. Daartegenover is de capaciteit van een luchtlijn vele malen kleiner dan de capaciteit van een kabeladerpaar. Dit laatste is gemakkelijk te verklaren, indien we denken aan de constructie van een condensator. Een condensator bestaat immers uit twee geleiders (bekleedsels), die van elkaar gescheiden zijn door een of ander isolerend medium en de capaciteit van een condensator — en dus ook van het door ons beschouwde geleiderpaar — is omgekeerd evenredig met de afstand tussen de geleiders.

Veronderstellen we nu even, te doen te hebben met een luchtlijn en nemen we bovendien aan, dat de frequentie van de op deze luchtlijn aangesloten wisselspanning een waarde heeft, waarbij de relatief grote zelfinductie niet, doch de capaciteit wel te verwaarlozen is. Voor deze frequentie kan dan de luchtlijn worden voorgesteld door figuur 2, waarin tot uiting is gebracht, dat ook aan de luszelfinductiecoëfficiënt L door elk van de beide geleiders een even grote bijdrage wordt geleverd.

Het aangeven van de lusweerstand en —zelfinductie in een vervangingsschema levert tot nu toe geen moeilijkheden op. Weliswaar zijn zowel de weerstand als de zelfinductie gelijkmatig over de gehele lengte van het geleiderpaar verdeeld, zodat feitelijk de één niet te scheiden is van de ander, doch deze grootheden kunnen zonder bezwaar ruimtelijk gescheiden worden weergegeven, op dezelfde wijze als gebruikelijk is bij het tekenen van het vervangingsschema van een zelfinductiespoel. Deze tekenwijze is volkomen verantwoord, omdat de in het vervangingsschema aangegeven zelfinductie-vrije weerstand en weerstandsloze zelfinductiespoel door dezelfde stroom worden doorlopen. Dit laatste moeten we in gedachten houden, als we in het schema ook de capaciteit van de geleiders ten opzichte van aarde en ten opzichte van elkaar weergegeven.

Alvorens hiertoe over te gaan, stellen we vast, dat deze verschillende capaciteiten volgens figuur 3 vervangen mogen worden door één capaciteit.

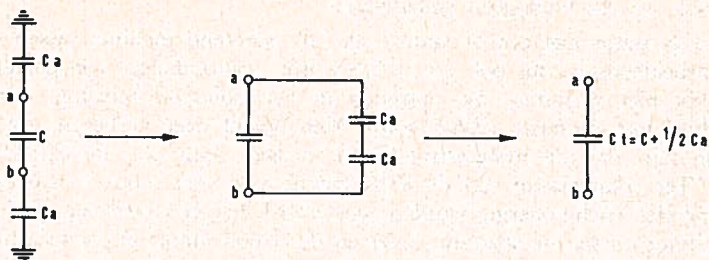


FIG. 3

Aangezien ook deze capaciteit gelijkmatig over de gehele lengte van het geleiderpaar is verdeeld, zouden we in feite tussen de geleiders een zeer groot aantal condensatoren, met elk een zeer kleine capaciteit, moeten tekenen. Bovendien zouden de geleiders dan op een bijzondere wijze moeten worden weergegeven, om tot uitdrukking te brengen, dat tevens zowel de weerstand als de zelfinductie gelijkmatig over de gehele lengte van het geleiderpaar zijn verdeeld.

Een dergelijk vervangingsschema, hoe minutieus ook getekend, zou de werkelijke toestand toch nog maar bij benadering aangeven, omdat het aantal condensatoren tussen de geleiders niet slechts zeer groot moet zijn, doch eigenlijk zelfs oneindig groot, met ieder een oneindig kleine capaciteit. Daarom wordt volstaan met het tekenen van een vervangingsschema voor een bepaalde lengte — eenheid van het geleiderpaar, waarbij men zich de totale capaciteit hiervan geconcentreerd denkt in één enkele condensator, die is aangebracht in het midden van het stuk geleiderpaar, men verkrijgt dan figuur 4.

Hierin is achtereenvolgens:

R = lusweerstand van het stuk geleiderpaar,

L = zelfinductiecoëfficiënt van het stuk geleiderpaar,

C = capaciteit van het stuk geleiderpaar.

Het vervangingsschema van een geleiderpaar, dat langer is dan de aangenomen lengte-eenheid, ontstaat door aaneenschakeling van een aantal van de in figuur 4 weergegeven vierpolen.

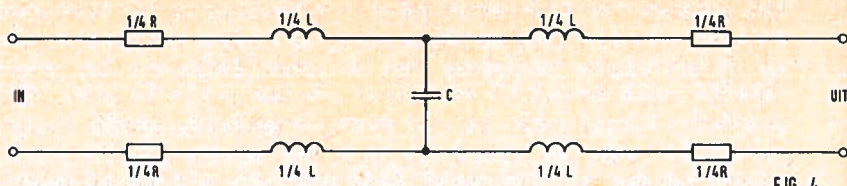


FIG. 4

Bij het hanteren van dit vervangingschema dient men evenwel steeds te bedenken, dat in werkelijkheid genoemde drie grootheden gelijkmatig over de gekozen lengte-eenheid zijn verdeeld en dat men dit schema slechts voor een oneindig kleine lengte-eenheid als juist mag beschouwen. Feitelijk is het ook dan nog niet geheel juist, omdat we verzuimd hebben om aan te geven, dat er in de condensator verliezen optreden. Pas wanneer dit is gebeurd, is het vervangingschema algemeen geldig, dat wil zeggen, van toepassing voor elke frequentie op elk homogeen geleiderpaar.

Elke condensator met een of andere stof als isolerend medium tussen de condensatorbekleedsels, dus ook die welke wordt gevormd door een geleiderpaar, is behept met verliezen, die optreden in het isolerend medium, dat wordt aangeduid met de naam *diëlektricum*. Men noemt deze verliezen, die te vergelijken zijn met de hysteresisverliezen in ijzer, dan ook diëlektrische verliezen. Ter compensatie van de diëlektrische verliezen moet er aan een condensator elektrische energie worden toegevoerd, hetgeen betekent, dat de faseverschuiving tussen de spanning over en de stroom door de condensator altijd kleiner is dan 90° . Bij een ideale condensator bestaat er wel een faseverschuiving van 90° tussen genoemde spanning en stroom. Men kan bijgevolg het optreden van de diëlektrische verliezen tot uitdrukking brengen in een schema, door een ideale condensator te tekenen in serie met een kleine weerstand, of parallel aan een grote weerstand.

Wij kiezen de laatstgenoemde tekenwijze, omdat dan door de parallelweerstand tevens de isolatieweerstand van het diëlektricum (tussen de geleiders) wordt weergegeven. De grootte van de parallelweerstand is frequentie-afhankelijk, doordat de diëlektrische verliezen frequentie-afhankelijk zijn. Bij de frequentie nul zijn er geen diëlektrische verliezen en stelt de parallelweerstand dus uitsluitend de isolatieweerstand van de condensator voor.

Het hoger worden van de frequentie gaat gepaard met vergroting van de diëlektrische verliezen en derhalve met het kleiner worden van de parallelweerstand.

Evenals de capaciteit is vanzelfsprekend de isolatieweerstand gelijkmatig over de lengte van het geleiderpaar verdeeld. Onder hetzelfde voorbehoud als bij het aangeven van de capaciteit in figuur 4 mogen we echter voor een lengte-eenheid geleiding de isolatieweerstand hiervan in een punt geconcentreerd denken.

We komen zodoende tot het volledige vervangingschema voor een homogeen geleiderpaar, zoals dat is weergegeven in figuur 5.

Uit praktische overwegingen geeft men de waarde van G niet aan in ohms, doch in siemens, dat wil zeggen, dat men niet de weerstand hanteert, doch het geleidingsvermogen van de isolatie (bij de frequentie nul) respectievelijk van

de isolatie en de weerstand, die de diëlektrische verliezen vertolkt (bij frequentie niet gelijk aan nul).

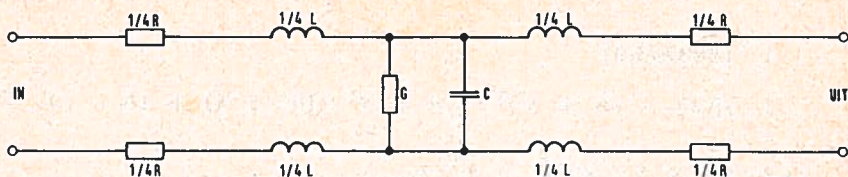


FIG. 5

Bij het interpreteren van figuur 5 moet men dus goed voor ogen houden, dat bij gelijkspanning G het geleidingsvermogen van de isolatie tussen de aders voorstelt en dat voor wisselspanning G het geleidingsvermogen weergeeft van de parallelschakeling van de isolatieweerstand met de weerstand, die de diëlektrische verliezen tot uiting brengt.

We komen hierop later nog terug, maar stellen toch nu reeds nadrukkelijk vast, dat G bij gelijkspanning normaliter zeer klein is, omdat de isolatieweerstand van een geleiderpaar vrijwel altijd heel erg groot is.

Men noemt de grootheden R , L , G en C de (primaire) kabelparameters. Vroeger sprak men doorgaans van kabelconstanten, doch deze benaming is niet juist, omdat de constanten varieëren met de frequentie, de temperatuur, enz.. Zo is R niet alleen afhankelijk van de temperatuur, maar ook van de frequentie, door het zgn. *huid-effect*. Op de frequentie-afhankelijkheid van G is reeds gewezen. Men maakt bij het geleidingsvermogen G wel onderscheid tussen de gelijkstroomafleiding ($G_{f=0} = \frac{1}{\text{isolatieweerstand}}$) en de wissel-

stroomafleiding.

Vaak wordt de grootte van de kabelparameters opgegeven voor een stuk geleiderpaar ter lengte van 1 km. Ter oriëntatie volgen hier de gemiddelde waarden van de kabelparameters voor enkele van de bij onze Dienst in gebruik zijnde sterkabels. Alleen R blijkt afhankelijk te zijn van de adermiddellijn:

adermiddellijn in mm	R/km	L/km	G/km	C/km
0,4	268	0,8 mH	$< 2 \cdot 10^{-4} \mu S$	33 nF
0,8	62	0,8 mH	$< 2 \cdot 10^{-4} \mu S$	33 nF

Hierin is G de gelijkstroomafleiding en R de lusweerstand bij gelijkstroom. De opgegeven waarde van R is uiteraard ook geldig voor wisselstroom met frequenties, waarbij het huid-effect geen rol speelt.

Om begrijpelijke redenen noemt men R en L wel de langparameters en G en C de dwarsparameters.

(wordt vervolgd).

HERHALINGSOEFENINGEN

62-015

door M. V. Dalen

- $\sqrt{388253,61}$
- $\sqrt{[(25 - 16 + 3^2)^2 : \{ 8 \times 5^2 : (6^2 + 4) + 16 - \sqrt{9} - 2 \}] =}$
- $1\frac{7}{8} \times 5\frac{1}{4} \times 4\frac{4}{5} \times 4\frac{4}{7} =$
- $2\frac{3}{4} \text{ kg} + 8,6 \text{ dg} + 8,6 \text{ dag} + 2\frac{4}{5} \text{ hg} = \quad \text{g}$
- Een stroom van 45 A verdeelt zich in een vertakkingspunt in twee delen, welke zich verhouden als 5 : 4. Hoeveel A bedraagt ieder deel?
- $-(3y - 2z) + [-3y + 2z - \{3y - 4z - (3y - z)\}] =$
- Bereken x uit:
$$\frac{2}{3}(2x + 1) - \frac{3}{4}(x - 2) - \frac{4}{5}(2x - 1) = 5$$
- $\sqrt{65p^5q^2 + 35p^5q^2} =$
- Van een trapezium zijn de evenwijdige zijden 35 en 43 cm, terwijl de hoogte = 27 cm. Bereken de oppervlakte.
- Van een vierkant is de oppervlakte 1152 cm². Hoe lang is de diagonaal?
- $148^\circ 36' 23'' - 48^\circ 47' 48'' + 32^\circ 15' 43'' =$
- Een draad heeft een weerstand van 7,5 ohm. Als de spanning tussen de uiteinden van de draad 45 V bedraagt, hoe groot is dan de stroom, welke door de draad vloeit?
- Vier weerstanden resp. 12, 18, 9 en 14 ohm zijn in serie geschakeld. Het spanningsverlies in de derde weerstand is 54 V. Bereken:
 R_t, I, E, e_1, e_2 en e_4 .
- Drie weerstanden resp. 9, 6 en 2 ohm zijn parallel geschakeld. Bereken R_v .
- Een stroom I van 18 A verdeelt zich over drie parallel geschakelde weerstanden, resp. 6, 4 en 3 ohm. Bereken de stroom door elke weerstand en de aangelegde spanning.

Antwoorden op blz. 44