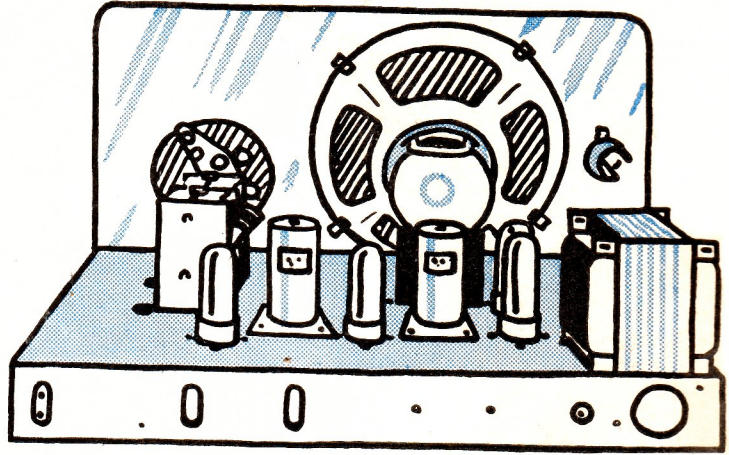


E. AISBERG

**ZO ...  
WERKT  
DE  
RADIO**

HET HOE EN  
WAAROM VAN  
DE RADIO IN  
WOORD EN BEELD





ZO.... WERKT DE RADIO!

*Oorspronkelijke titel:*

*La Radio? . . . . Mais c'est  
très simple !*



E. AISBERG

# ZO . . . WERKT DE RADIO

*Het Hoe en Waarom van de Radio  
in woord en beeld*

BEWERKT NAAR HET FRANS DOOR  
M. DE WAARD

MET KANTLIJNTEKENINGEN VAN  
H. GUILAC

DERTIENDE, GEHEEL HERZIENE DRUK  
MET TOELICHTINGEN OP DE GESPREKKEN



N. V. UITGEVERS-MAATSCHAPPIJ Æ. E. KLUWER  
DEVENTER — ANTWERPEN  
grafische bewerkingen: PEIABR

## VOOR WIE IS DITBOEK BESTEMD?

Dit boek gelijkt noch door de wijze van behandeling, noch door de inhoud op enig ander technisch werk.

De kantlijntekeningen, waarmee de talentvolle tekenaar H. Guilac het op zijn bekende geestige manier heeft versierd, zouden een ogenblik kunnen doen veronderstellen, dat het hier om een boek voor kinderen gaat.

Maar in werkelijkheid richt „Zo... werkt de Radio!” zich tot *de beginnelingen en technici van iedere leeftijd*.

Aan de beginneling geeft het boek een gemakkelijk in zich op te nemen overzicht van de fundamentele wetten der radiotechniek en een eenvoudige uiteenzetting van de werking en samenstelling der moderne radiotoestellen. Het lezen van het boek vereist geen voorafgaande kennis van elektriciteit en van natuurkunde. De noodzakelijke beginselen van die twee terreinen der wetenschap worden in de tekst daar ingelast, waar zij nodig geoordeeld zijn voor het begripen van de radio.

Aandachtige lezing zal het de beginneling mogelijk maken zonder moeite binnen te dringen in de zgn. mysteriën van de radiotechniek, die opwindendste aller technieken, waarvan het terrein der toepassing zich nog van dag tot dag uitbreidt. Deze techniek heeft ons definitief bevrijd uit de boeien van tijd en ruimte.

Is dit boek nuttig voor de beginneling, ook de technicus, die er prijs op stelt zijn ideeën eens te ordenen, kan het niet minder van dienst zijn. Door haar snelle ontwikkeling heeft de radiotechniek in het brein van hen, die er zich mee bezig houden, een opeenhoping veroorzaakt van de meest verwarde ideeën, die noodzakelijk gerangschikt moeten worden, voordat men er een logisch systeem uit kan opbouwen; bovendien geven de gebruikelijke uiteenzettingen in soms verouderde handboeken over het merendeel der radioverschijnselen een al te wiskundig en al te abstract begrip.

Voor al met het oog op die „rangschikking van begrippen” en hun rationele ordening zal de technicus met voordeel dit boek lezen, omdat de schrijver steeds is geleid door de zorg om een wezenlijk en concreet beeld te geven van elk der bestudeerde verschijnselen.

*Om iets populair te maken behoeft men niet oppervlakkig te worden. Om eenvoudig te zijn, heeft men niet altijd overdreven eenvoudige uitleggingen nodig. En om degelijk te zijn, behoeft men nog niet vervelend te worden.*

De schrijver hoopt deze drie klippen van een verkeerde wijze van bevattelijk maken omzeild te hebben. Zijn uitleggingen heeft hij gebaseerd op de algemene door de hedendaagse wetenschap aanvaarde theorieën. Hij heeft zich krachtig verzet tegen het „vereenvoudigen” ten koste van de waarheid.

Ten einde alle academische dorheid te vermijden, heeft de schrijver de vorm van „gesprekken” gekozen, die zijn boek levendig en gemakkelijk verteerbaar maken en die hem in staat stellen de lezers te behoeden voor alle hinderlagen, waarmee hij door een praktijk van vele jaren bij het onderwijs kennis heeft gemaakt.

Zonder aanspraak te willen maken op de titel „bouwhandboek”, is dit boek toch niet minder onmisbaar voor allen, die met kennis van zaken zelf een radiotoestel willen gaan maken. Door onvoorwaardelijk al datgene terzijde te stellen, wat verouderd is, is de schrijver erin geslaagd de lezer een begrip te geven van de nieuwste principes, die aan de samenstelling van moderne radiotoestellen ten grondslag liggen. Om dat doel te kunnen bereiken zonder aan het boek een overdreven grote omvang te geven en zonder het brein van de lezers nodeloos af

te matten, is de schrijver verplicht geweest een wijze van voorstelling te kiezen met vrij alledaagse voorbeelden; alle overbodige „literatuur” heeft hij vermeden.

Maar toch bevat het boek, ondanks zijn uiterlijk, een degelijk overzicht; het is noodzakelijk het langzaam te lezen, zodat men nooit naar een volgende bladzijde moet omslaan, voordat men het voorgaande volledig in zich heeft opgenomen.

Als dit boek erin slaagt meer bekendheid aan de radio te geven en de liefde ervoor op te wekken, zal de schrijver zich gelukkig achten aldus zijn bescheiden bijdrage te hebben gegeven aan de verbreiding van die wonderbaarlijke wetenschap.

E. AISBERG

## VOORBERICHT VAN DE VERTALER BIJ DE DERTIENDE DRUK

Het is het bijzondere karakter van dit boek, dat destijds voor mij aanleiding is geweest het boek van E. Aisberg in het Nederlands te vertalen. Ik heb er daarbij naar gestreefd de oorspronkelijke opzet zoveel mogelijk te volgen. Daarom zijn de oorspronkelijke illustraties ook in de Nederlandse bewerking opgenomen; zij geven het boek een fleur, die het lezen ervan tot een genoegen maakt. Zoals de schrijver terecht zegt: men dient het boek aandachtig te lezen en niet verder te gaan met een volgende bladzijde, voordat men de vorige goed heeft begrepen. Dit begrijpen zal intussen weinig moeite kosten, daar de schrijver juist het doel voor ogen heeft gehouden de radio voor een ieder begrijpelijk te maken en tevens de vakman eens een andere gezichtshoek te bieden.

Ten einde de prijs van de Nederlandse uitgave onder ieders bereik te houden zijn de schema's met slechts geringe wijzigingen overgenomen. Hierdoor is er wel eens enig verschil tussen de in dit boek gebruikte aanduidingen en die volgens de normalisatie. Dit stoort echter geenszins, daar de gebruikte aanduidingen in de tekst zijn verklaard, zodat niemand er moeite mede zal hebben. Het doel, het boek goedkoop te houden, kon daardoor worden bereikt. Om zoveel mogelijk profijt uit de toelichtingen te trekken, moet men na ieder „Gesprek” de bijbehorende „Toelichtingen” lezen.

Men kan ook een andere methode volgen, nl. door eerst alle gesprekken te lezen, daarna opnieuw te beginnen en tijdens deze tweede lezing ieder gesprek door de bijbehorende toelichting te laten volgen.

Welke methode men echter ook volgt, de toelichtingen zullen de lezers steeds in staat stellen sommige vraagstukken onder een ander licht te bezien, bepaalde praktische details nader te leren kennen en op die manier verder en gemakkelijker te vorderen in zijn bestudering van de radiotechniek.

Deze dertiende druk is geheel opnieuw bewerkt naar de 23ste herziene druk van het Franse origineel, dat in Frankrijk reeds een oplaag van meer dan 300 000 exemplaren heeft bereikt. Het boek is weer geheel in overeenstemming gebracht met de huidige stand der radiotechniek.

In hun gesprekken hebben Weetal en Vraagal nu zoveel mogelijk de technische benamingen gebruikt, die voorkomen in normblad NEN 5026, vastgesteld door het Nederlands Normalisatie-Instituut. Ook hebben zij gebruik kunnen maken van het boekje „Het juiste woord”, uitgegeven door N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken te Eindhoven.

Ik hoop, dat het boek in zijn gemoderniseerde vorm dezelfde belangstelling zal blijven ondervinden, die het van de lezers der eerste twaalf drukken heeft genoten.

Capelle aan den IJssel, juli 1959.

M. DE WAARD.

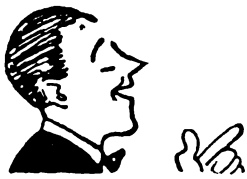


## I N H O U D

1e gesprek: Elektronen en protonen. Stroom. Spanning. Stroomsterkte. Weerstand. Wet van Ohm . . . . .	1
2e gesprek: Wisselstroom. Magnetisch veld. Inductie . . . . .	8
3e gesprek: Zelfinductie. Inductantie. Capaciteit. Condensatoren . . . . .	13
4e gesprek: Lading en ontlading. Capacitantie. Impedanties . . . . .	18
5e gesprek: Faseverschuiving. Resonantie. Trillingskring. Trillingen . . . . .	24
6e gesprek: Afstemming. Selectiviteit. Afstemkring . . . . .	30
7e gesprek: De buizen. Kathode. Anode. Diode. Rooster. Triodekarakteristieken.	33
8e gesprek: Krommen van een buis. Werkpunt. Polarisatie of negatieve voorspanning . . . . .	40
9e gesprek: Microfoon. Laagfrequente stroom. Oscillator. Radiozender. Modulatie . . . . .	45
10e gesprek: Detectie. Diodedetectie. Kristaldetectie. Detectie in de onderste bocht van de karakteristiek . . . . .	50
11e gesprek: H.F.- en L.F.-versterking. Koppeling door een transformator. Voeding van en voorspanning aan de buizen . . . . .	55
12e gesprek: Versterkers met impedantie-koppeling (met weerstanden, inductanties en trillingskringen). „Roosterdetectie” . . . . .	63
13e gesprek: Terugkoppeling. Hartley-schakeling. Ongewenste koppelingen. Afscherming. Tetrode. Pentode . . . . .	70
14e gesprek: Andere koppelingen. Ontkoppeling. „Geraamteschema” of prinsipschema en volledig schema. Golfengtegebieden. Overschakeling . . . . .	77
15e gesprek: Voeding. Enkelzijdige en dubbelzijdige gelijkrichting. Gelijkrichtbuisen. Afvlakking. Verhitting. Polarisatie of voorspanning. Voeding uit een gelijkstroomnet . . . . .	84
16e gesprek: Interferentie. Het principe van de superheterodyne. Schakelingen voor frequentie-transformatie. Dubbelroosterbuis. Heptode. Octode . . . . .	93
17e gesprek: Spiegelfrequenties. Voorselectie. Het schema van een superheterodyne. Elektro-magnetische en elektro-dynamische luidsprekers . . . . .	100
18e gesprek: Sluiering. Sterkteregeling. Buizen met regelbare steilheid. Automatische sterkteregeling. Afstemogen . . . . .	105
19e gesprek: Modulatie-zijbanden. Selectiviteit en geluidswaergeving. Bandfilters. Regelbare selectiviteit . . . . .	111
20e gesprek: De ultrakorte golven en hun voortplanting. Het principe van de frequentie-modulatie. Samenstelling van een F.M.-zender. . . . .	117
21e gesprek: F.M.-ontvangtoestellen. Cascade-schakeling. Frequentiedetector. Balans-frequentiedetector. Discriminator. Begrenzer . . . . .	123
22e gesprek: Het volledige schema. De superheterodyne en de analyse daarvan. Laatste raadgevingen . . . . .	133

## TOELICHTINGEN

Een waarschuwing vooraf! . . . . .	139
Toelichting bij het eerste gesprek . . . . .	141
Toelichting bij het tweede gesprek . . . . .	144
Toelichting bij het derde gesprek . . . . .	146
Toelichting bij het vierde gesprek . . . . .	148
Toelichting bij het vijfde gesprek . . . . .	152
Toelichting bij het zesde gesprek . . . . .	154
Toelichting bij het zevende gesprek . . . . .	156
Toelichting bij het achtste gesprek . . . . .	160
Toelichting bij het negende gesprek . . . . .	164
Toelichting bij het tiende gesprek . . . . .	166
Toelichting bij het elfde gesprek . . . . .	168
Toelichting bij het twaalfde gesprek . . . . .	173
Toelichting bij het dertiende gesprek . . . . .	178
Toelichting bij het veertiende gesprek . . . . .	183
Toelichting bij het vijftiende gesprek . . . . .	184
Toelichting bij het zestiende gesprek . . . . .	189
Toelichting bij het zeventiende gesprek . . . . .	194
Toelichting bij het achttiende gesprek . . . . .	197
Toelichting bij het negentiende gesprek . . . . .	205
Toelichting bij het tweeëntwintigste gesprek . . . . .	212
Aanhangsel . . . . .	217



# Zo..... werkt de radio!!



## DE PERSONEN

Ten eerste: een zeer beleefde jongeman, **Weetal**, wie vroeger de grondbeginselen van de radiotechniek zijn bijgebracht door zijn oom, ingenieur Radiolus. De schrijver heeft hun gesprekken vastgelegd in een ander boek, dat een groot succes is geworden en dat in meer dan twintig talen is vertaald.

**Weetal** is nu 18 jaar. Hij heeft niets van zijn vroegere nieuwsgierigheid verloren en ook niets van zijn jeugdige ijver en vrolijkheid. Hij is een ervaren radio-amateur geworden en gaat nu op zijn beurt met grote duidelijkheid de theorie van de radio uitleggen. Overigens was hij van zijn prilste jeugd af een wonderlijke jongen . . .

Ten tweede: **Vraagal**? . . . U kent hem niet? Dat is de mens-geworden onwetendheid. Daar hij volkomen overhoop ligt met de wiskunde, kent hij ternauwernood de eerste beginselen van de natuurkunde. Hij wordt voortdurend heen en weer geslingerd tussen de wens om te leren en de angst om iets niet te begrijpen. Maar, weet u, ondanks zijn veertien jaren is hij toch niet dom. Verre van dat! U zult dat overigens zelf wel gewaar worden vanaf het . . .

## EERSTE GESPREK

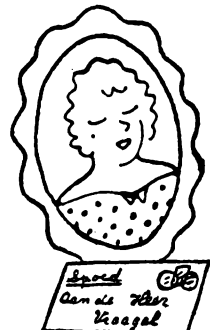
*In dit eerste gesprek worden de grondbeginselen van de elektriciteit uiteengezet. Door een beroep te doen op de elektronentheorie slaagt Weetal er in de zaken op een zeer duidelijke manier voor te stellen. Dat zal het begrijpen van de volgende gesprekken zeer vergemakkelijken.*

### Vraagal doolt in volkomen onwetendheid rond

**Weetal.** — Ga zitten, **Vraagal**, en laat mij je het doel van die dringende oproep uitleggen. Ik hoop, dat je ondanks enige betreuenswaardige voorvallen in het verleden, weet, dat ik een peettante heb, van wie ik veel houd. Gisteren heeft zij mij gevraagd een radiotoestel voor haar te maken. Maar, zoals je weet, zit ik op het ogenblik hard te blokken voor mijn eindexamen. Kan ik op jou rekenen om mij bij het maken van dat toestel te komen helpen?

**Vraagal.** — Heel graag. Alleen, wat kan ik doen? Ik weet niets van radio af!

**W.** — Van radio? . . Maar dat is zeer eenvoudig! . . Ik zal je alles op een eenvoudige manier uitleggen. Kijk, hier heb je het schema, dat ik voor het toestel van tante heb getekend (fig. 1).



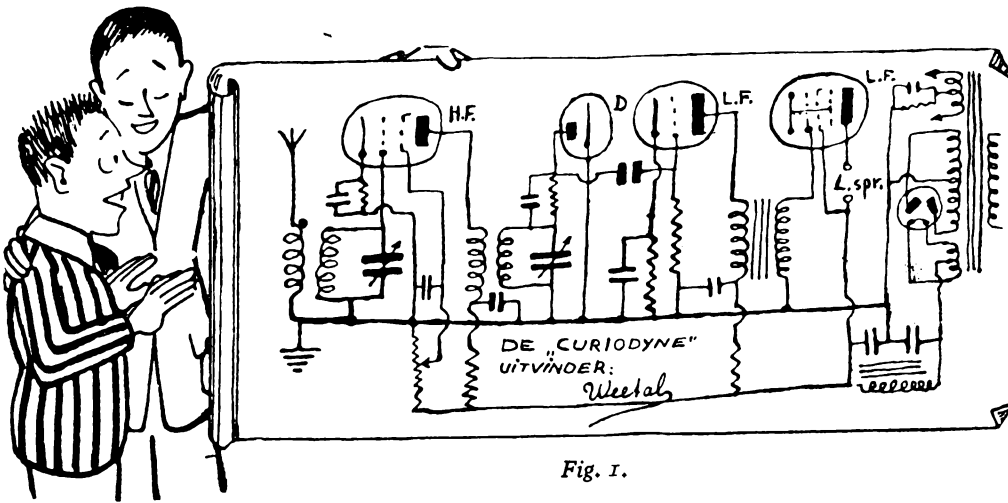


Fig. I.

Vr. — Dat is allemachtig ingewikkeld!

W. — En dit is de lamp, die ik heb kunnen kopen met het voorschot, dat tante mij heeft gegeven voor het aanschaffen van de onderdelen. Want zij zal zo geleidelijk het geld verstrekken, dat nodig is voor de aankoop van de onderdelen.

Vr. — Die lamp zal, dunkt mij, niet veel dienst kunnen doen. De bol is niet doorzichtig en zij zal zeker weinig licht doorlaten.

W. — Dat heb je goed opgemerkt! Ik versprak mij . . . per ongeluk om je erop te kunnen wijzen, dat de radiotechnici tegenwoordig niet meer over *lampen*, maar over *buizen* praten. Vroeger leken die dingen echter veel op gewone gloeilampen, maar zij dienen immers helemaal niet voor verlichting. Dit is een triodeversterkbuis met indirecte verhitting.

Vr. — Ik ga maar liever direct weer weg, want je houdt mij voor de gek door van die barbaarse woorden te gebruiken.

W. — Wacht even! Ik zal het je uitleggen. In een radiobuis gaat de stroom van de kathode, die negatief is, naar de anode, die positief is.

Vr. — Hoe langer hoe mooier! Volgens jou gaat de stroom van negatief naar positief. Nu, ik heb sinds mijn prilste jeugd het tegenovergestelde geleerd. Hoe wil je, dat ik nu de weg terugvind?

**Weetal begint bij het begin**

W. — Waarlijk, het blijkt nodig te zijn om te beginnen met je de allereerste begrippen van de elektriciteit uit te leggen, want je gedachtengang is al bedorven door de onnauwkeurige ideeën, die je schoolboeken je hebben bijgebracht. Hebben zij je dan tenminste geleerd, wat een atoom is?

Vr. — Ja, dat is het kleinste deeltje van de stof en dus ondeelbaar.

W. — Dacht ik het niet? . . Al meende men in de tijd, toen jouw natuurkundeleraar zijn examens deed, zo vast als een huis, dat het atoom ondeelbaar is, men weet tegenwoordig, dat het is samengesteld uit een aantal nog veel kleinere deeltjes.

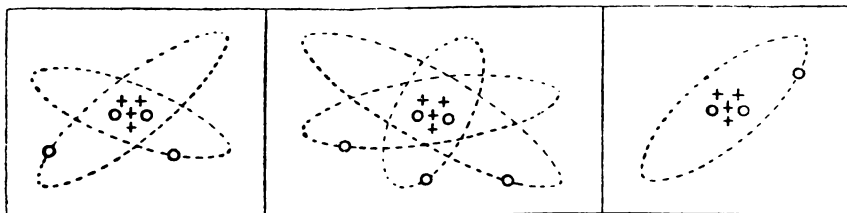
Vr. — Die op hun beurt waarschijnlijk weer onderverdeeld zijn in nog weer kleinere deeltjes?



W. — Dat zal men hoogstwaarschijnlijk aan onze kinderen leren . . . , als wij die zullen krijgen. Intussen beschouwt men het zo, dat het atoom bestaat uit *elektronen* en *protonen*. De elektronen vormen de elementaire negatieve elektrische lading. De protonen zijn de positieve lading. Tussen de elektronen en de protonen bestaat een zekere aantrekkingskracht.

Vr. — Zij zijn dus als het ware aan elkaar verbonden?

W. — Neen, want tussen de elektronen onderling aan de ene kant en tussen protonen onderling aan de andere kant bestaat een afstotende kracht. Daaruit volgt, dat in het atoom de aantrekkende en de afstotende krachten met elkaar in evenwicht zijn, terwijl de elektronen zich — zoals de planeten om de zon — om de centrale kern bewegen, die is samengesteld uit protonen en enige elektronen (fig. 2), ongeacht de *neutronen*, die helemaal geen elektrische lading hebben.

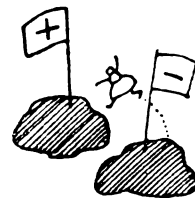


Neutraal atoom.

Negatief atoom.

Positief atoom.

Fig. 2. De kruisjes stellen de protonen voor, de cirkeltjes de elektronen.



Vr. — Dat is als een zonnestelsel in het klein!

W. — Zeer juist! Merk nu op, dat, als er in een atoom evenveel protonen als elektronen zijn, het atoom neutraal is. Zijn er meer elektronen dan protonen, dan is de negatieve lading groter dan de positieve: het atoom is *negatief*.

Tenslotte . . . .

Vr. — . . . als er minder elektronen dan protonen zijn, is het atoom *positief*.

W. — Prachtig! Ik zie, dat je het begrepen hebt.

### Het gezonde verstand is altijd op zoek naar evenwicht

Vr. — Ik zou echter willen weten, hoe een atoom positief of negatief kan worden.

W. — De elektronen, die zich ver van de kern bevinden, worden daardoor slechts zwak aangetrokken. Als ze nu komen binnen de aantrekkings sfeer van een naburig atoom met te weinig elektronen, verlaten zij hun eigen atoom om het naburige compleet te maken of in evenwicht te brengen.

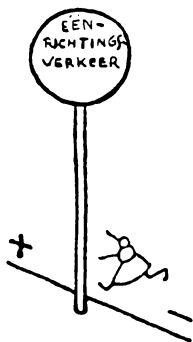


Fig. 3. De elektrische stroom is een verplaatsing van elektronen, die proberen om het evenwicht in hun verdeling te herstellen.



Vr. — Dat is net als bij de Japanners . . . .

W. — Ik zie niet in, wat de zonen van het Land van de Rijzende Zon . . . .



Vr. — Ja zeker! Omdat Japan overbevolkt is, emigreren zij naar minder dicht-bevolkte landen.

W. — Zoals je wilt . . . . Maar, onthoud in ieder geval, dat de elektronen van de atomen, waarin zij talrijker zijn, de *negatieve* atomen dus, naar atomen gaan, waarin zij minder in getal zijn: de *positieve*. Als je dus door welk middel ook de negatieve atomen (met te veel elektronen) van het ene einde van een metalen draad verbindt met de positieve atomen (met te weinig elektronen) van het andere uiteinde, dan zullen de elektronen van het ene atoom naar het andere overspringen en zo dwars door alle tussenliggende atomen tot op het ogenblik, waarop het evenwicht is hersteld. In welke richting zullen de elektronen gaan?

Vr. — Natuurlijk van het negatieve uiteinde naar het positieve.

W. — Welnu, die verplaatsing van de elektronen, die elektronenstroom dus, noemt men *elektrische stroom*.

Vr. — Kolossaal! . . . . Dus is het toch waar, dat de stroom van negatief naar positief gaat . . . . en onze leraar heeft ons gezegd, dat . . . .

W. — Hij heeft je doodeenvoudig verteld van de overeengekomen richting van de stroom, want in de tijd, toen men overeengekomen was willekeurig één bepaalde richting voor de elektrische stroom aan te nemen, kende men de elektronentheorie nog niet. Men heeft zich eenvoudigweg vergist, toen men overeenkwam om aan te nemen, dat de stroom van positief naar negatief gaat. Je kunt die onjuiste bewering zelfs nog vinden in veel boeken, die in de laatste tijd zijn uitgegeven. Het gaat hier om een eenmaal gemaakte afspraak. Onthoud nu maar, dat de elektronen van negatief naar positief gaan, of van „minus” naar „plus”, zoals men zegt.



6 000 000 000 000 000 000 elektronen per seconde

Vr. — Je hebt zo juist over een metalen draad gesproken. Ik weet wel, dat de elektrische stroom alleen door metalen gaat, maar waarom is dat eigenlijk zo?

W. — De stroom gaat ook door oplossingen van zuren of basen (alkaliën) en door kool. Al die stoffen zijn *geleiders*. Hun atomen bevatten veel elektronen, die gemakkelijk kunnen ontsnappen aan de aantrekkingskracht van de kern. Maar er bestaan ook andere stoffen, waarin de elektronen te vast aan de kern zijn verbonden om het atoom te kunnen verlaten. In die stoffen, *niet-geleiders* (*isolatoren*) of *diëlectrica* geheten, kan de elektrische stroom zich klaarblijkelijk niet voortplanten. Van de voornaamste niet-geleiders (isolatiestoffen), die in de radio worden gebruikt, noem ik kwarts, eboniet, barnsteen, bakeliet, glas, porcelein, paraffine en de verschillende kunstharsen (plasticen). Tussen de niet-geleidende en de geleidende stoffen staan de *half-geleiders*, zoals germanium en silicium, waarvan de speciale eigenschappen later zullen bespreken.

Vr. — Wat is de beste isolator?

W. — Droge lucht.

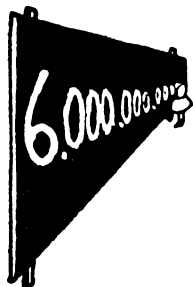
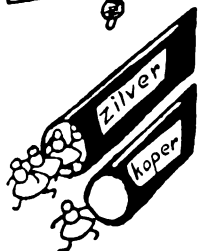
Vr. — En de beste geleider?

W. — Zilver. Maar koper is bijna even goed, en omdat het goedkoper is, wordt dit veel meer toegepast.

Vr. — Maar hoe weet men, dat zilver een betere geleider is dan koper?

W. — Omdat onder overigens dezelfde omstandigheden door een zilveren draad een stroom van grotere *sterkte* kan vloeien dan door een koperen draad van gelijke afmetingen.

Vr. — Wat versta je onder „stroomsterkte”?



W. — Dat is het aantal elektronen, dat deelneemt aan de verplaatsing, die wij elektrische stroom hebben genoemd.

Vr. — Men kan dus spreken van een stroomsterkte van 10 of 1000 elektronen?

W. — Dat zou men kunnen doen. Maar in de praktijk meet men de stroomsterkte in *ampères*. Eén ampère komt overeen met de verplaatsing van  $6 \times 10^{18}$  elektronen per seconde. Ik noem je nu maar een rond getal . . .

Vr. — Dank je wel!

W. — Heel vaak bedient men zich ook van gedeelten van een ampère: de *milli-ampère* (*mA*), die gelijk is aan een duizendste ampère, of de *micro-ampère* ( $\mu A$ ), dat is het millioenste deel van een ampère. Zoals je ziet, het is zeer eenvoudig.

Vr. — Integendeel, ik vind dat allemaal verduiveld ingewikkeld! Maar waarvan is nu de stroomsterkte afhankelijk?

W. — Van de op de geleider aangesloten *spanning* en van de *weerstand* van die geleider.

### De woorden veranderen van betekenis

Vr. — Ik veronderstel, dat „spanning” en „weerstand” in de elektriciteit iets speciaals betekenen, hè? Het is er mee als met de cirkel . . .

W. — Als met de cirkel?

Vr. — Ja zeker! Voordat ik meetkunde ging leren, wist ik al heel goed, wat een cirkel is. Maar sinds men mij heeft geleerd, dat de cirkel „de meetkundige plaats is van alle punten, die zich bevinden op gelijke afstand van een bepaald, gegeven punt”, begrijp ik er niets meer van . . .

W. — Welnu! In de elektriciteit is de *weerstand* de eigenschap van een geleider om . . . een grotere of kleinere tegenstand te bieden aan de doortocht van een stroom. Hij is afhankelijk van de aard van de geleider, d.w.z. van het aantal elektronen, dat gemakkelijk los te maken is van de atomen. Hij is ook afhankelijk van de lengte van de geleider. Hoe langer deze is, hoe groter de weerstand. Tenslotte is hij ook afhankelijk van de doorsnede van de geleider. Als de doorsnede groot is, kunnen er meer elektronen tegelijk doorheen en bijgevolg is de weerstand kleiner\*. De weerstand wordt gemeten in *ohms* ( $\Omega$ ) of in miljoenen ohms: *megohms* ( $M\Omega$ ). Eén ohm is zo ongeveer de weerstand van een koperen draad van circa 62 m lengte met een doorsnede van 1 mm<sup>2</sup>.

### Wijsgerige beschouwingen over de relativiteit

Vr. — En wat is *spanning*?

W. — De *spanning* is, om het zo eens uit te drukken, de druk, die op de elektronen wordt uitgeoefend door het verschil in de elektrische toestand aan de einden van de geleider.

Vr. — Dat is weer geweldig ingewikkeld en erg duister . . .

\* Een formule? Hier is er een: De weerstand *R* (in ohms) is afhankelijk van de lengte *L* (in cm) en van de doorsnede *D* (in cm<sup>2</sup>), volgens de formule:

$$R = \rho \frac{L}{D}$$

In deze vorm is  $\rho$  (rho) een coëfficiënt, die afhangt van de aard van de geleider en die de *soortelijke* of *specifieke weerstand* wordt genoemd.



W. — Welnee, het is eenvoudig. Zoals ik je al heb gezegd, bepaalt de verhouding tussen elektronen en protonen het elektrische vermogen of de *potentiaal* van de geleider op een bepaald punt. Stel nu eens, dat er aan het ene einde 3000 elektronen ontbreken en aan het andere einde 5000.

Vr. — Allebei zijn ze positief. En als ik het zou durven zeggen, het tweede is „positiever” dan het eerste.

W. — Je moet durven, want zo is het. En zelfs, hoewel beide einden positief zijn, zou men kunnen zeggen, dat het eerste in vergelijking met het tweede negatief is.

Vr. — Daar heb je het nou . . . . Het is een feit, dat in het leven alles betrekkelijk is!

W. — Ja zeker! Want kijk, van twee personen, die allebei geld hebben, is hij, die maar 1000 gulden bezit, arm ten opzichte van een ander, die een miljoen heeft, maar hij is rijk in vergelijking met een derde, die 10 000 gulden schuld heeft. In de atomenwereld is het atoom, dat drie elektronen te weinig heeft, negatief ten opzichte van het atoom, dat drie elektronen te veel heeft, positief ten opzichte van een, dat er twee te veel heeft. Die drie atomen hebben verschillende *potentialen*.

Vr. — En worden de potentiaalverschillen gemeten naar het verschil van het aantal elektronen?

W. — Dat zou men kunnen doen. Maar praktisch wordt het *potentiaalverschil*, of wat hetzelfde is, wordt de *spanning* uitgedrukt in *volts*. Eén volt is de spanning, die, aangelegd aan de einden van een geleider met een weerstand van 1 ohm, daarin een stroom met een sterkte van 1 ampère doet ontstaan.

Vr. — Zodat, als ik je goed begrepen heb, de spanning een soort van elektrische druk is, die de elektronen van het ene einde van een geleider duwt naar het andere?

W. — Precies! En nu kun je gemakkelijk raden, dat hoe hoger de spanning is . . . .

Vr. — . . . . des te groter de stroomsterkte.

W. — En, daarentegen, hoe groter de weerstand . . . .

Vr. — . . . . des te kleiner de stroomsterkte.

W. — Wij hebben nu zo juist een van de voornaamste wetten van de elektriciteit opnieuw ontdekt: de *Wet van Ohm*. Deze zegt in het kort, dat de stroomsterkte gelijk is aan de spanning, gedeeld door de weerstand\*.

Vr. — Ik herinner mij nu, dat ik vaak heb gelezen (maar zonder dat ik het goed heb begrepen), dat een elektrische stroom kan worden vergeleken met een waterstroom, die ontstaat tussen twee vaten, die door een pijp zijn verbonden.

W. — Ja, dat is de klassieke hydraulische vergelijking. In dat geval komt de stand (het niveau) van het water in elk vat overeen met de elektrische potentiaal en het niveauverschil (of potentiaalverschil) is gelijk aan de spanning. Hoe groter het niveauverschil, des te sterker is de stroom van het water, d.w.z. des te groter is het aantal liters water, dat per seconde door de pijp stroomt. Maar die sterkte is ook afhankelijk van de „weerstand” van de pijp. Hoe langer en nauwer die is en hoe ruwer de wand ervan, des te minder gemakkelijk zal het water er doorvloeien.

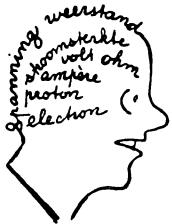
\* En hier is voor wiskundigen de klassieke formule van de Wet van Ohm:

$$I = \frac{U}{R},$$

waarin:  $I$  de stroomsterkte in ampères;

$U$  de spanning in volts tussen de einden van de geleider;

$R$  de weerstand in ohms van de geleider.









Vr. — Zodat de Wet van Ohm feitelijk ook geldt in de wereld van de loodgieters . . . ?






W. — Natuurlijk! En . . . vind je alles nu niet vrij duidelijk?



Vr. — Ik begin zo langzamerhand een ware hutspot in mijn hersenpan te voelen. Elektronen, protonen, weerstand, ohm, spanning, volt, stroomsterkte, ampère, wet van Ohm . . . Het is toch maar duivels ingewikkeld!

W. — Denk er maar eens over na tot aan ons volgende gesprek. Dan zul je zien, dat het wel meevalt.

**Enige symbolen, zoals zij in radioschema's worden gebruikt**

 ANTENNE	 AARDE	 ONDERLING NIET VERBONDEN LEIDINGEN	 ONDERLING VERBONDEN LEIDINGEN
---	---	--	--

TEKEN VOOR REGELBAAR OF VARIABEL 	 (VASTE) CON- DENSATOR	 REGELBARE OF VARIABELE CONDENSATOR	 (VASTE) WEERSTAND	 REGELBARE OF VARIABELE WEERSTAND
--	--	--	--	--

 SPOEL	 GEKOPPELDE SPOELN (TRANS- FORMATOR)	 REGELBARE KOPPELING	 SPOEL MET IJZEREN KERN (SMOORSPOEL)	 TRANSFORMATOR MET IJZEREN KERN
---	--	--	---	---

Vraagal wist niets van wisselstroom, van frequentie of van periode. Het elektromagnetisme was hem eveneens onbekend. Aan het einde van dit tweede gesprek weet hij precies, wat de woorden golf lengte, elektro-magneet, magnetisch veld betekenen... Hij zou u even goed als Weetal kunnen uitleggen, waaruit het inductieverschijnsel bestaat. Want, goed beschouwd, is Vraagal een be-gaafde jongen . . . .

Over sommige heen-en-weer-reizen

Vr. — De vorige keer, Weetal, heb je met mij gesproken over elektronen, protonen, over elektrische stroom.... kortom, over alles, behalve over radio!

W. — Maar, beste jongen, in de radio houden wij ons uitsluitend met elektrische stromen bezig en in de eerste plaats moet je dus de wetten kennen, waaraan die stromen gehoorzamen.

Vr. — En ik, die dacht, dat de radio vooral een wetenschap van golven was!

W. — Zeker, de golven spelen een belangrijke rol. Het zijn de golven, die over een afstand de verbinding tot stand brengen tussen de antenne van de zender en die van de ontvanger. Maar bij de zender worden zij opgewekt door een wisselstroom van hoge frequentie, die de zendantenne doorloopt; en bij de ontvanger veroorzaken zij een soortgelijke stroom, hoewel minder sterk, in de ontvangantenne.

Vr. — Dat is prachtig. Je praat me daar over „wisselstroom” van „hoge frequentie”, zonder de moeite te nemen, mij de betekenis van die woorden uit te leggen.

W. — Nu zie je, hoe noodzakelijk het is de elektriciteitsleer te kennen, voordat je in de radio gaat verdiepen..... Tot nu toe hebben wij alleen gesproken over *gelijkstroom*, d.w.z. over een stroom, die altijd in dezelfde richting gaat en die steeds dezelfde sterkte heeft.

Vr. — Zoals water, dat uit een geopende kraan stroomt.

W. — Ja, dat kan.... Maar veronderstel nu eens, dat een elektrische machine (een *wisselstroomdynamo*) of een ander toestel periodiek de polariteit van de einden van een geleider omwisselde. Dan werd ieder einde afwisselend positief, daarna nam de potentiaal af, liep door nul heen en werd daarna meer en meer negatief. Na het maximum bereikt te hebben (dat we *amplitude* noemen), nam de potentiaal weer af, ging weer door nul en werd weer positief, nam weer toe.... en alles begon weer van voren af aan (fig. 4).

Vr. — Dat lijkt op een schommel, die omhoog gaat, daarna naar beneden komt, dan door zijn laagste stand gaat en weer begint te stijgen, maar nu aan de andere kant, enzovoort.

W. — Je voorbeeld is goed gekozen. Je begrijpt, dat de stroom, die in een geleider ontstaat ten gevolge van een dergelijke afwisselende spanning, zelf ook afwisselend zal zijn, d.w.z. hij zal periodiek van richting veranderen en zijn sterkte zal variëren in verhouding tot de wisselingen van de spanning.

Ontvangst

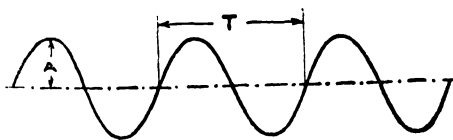
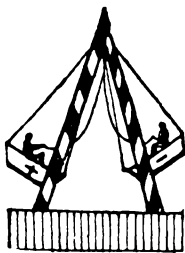
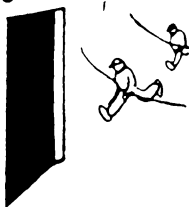


Fig. 4. De spanning, die de wisselstroom opwekt. A = amplitude; T = periode.

Vr. — Dus, als ik het goed begrepen heb, reizen de elektronen in een wisselstroom onophoudelijk heen en weer?

W. — Ja. En de tijd van zo'n uit- en thuisreisje tezamen heet een *periode*.

Vr. — Duurt zo'n periode lang?

W. — Men gebruikt zowel stromen, waarvan de periode 0,02 seconden duurt, als stromen met een periode van 0,000 000 000 01 seconde. Dat is afhankelijk van de *frequentie* van de stroom.

Vr. — Wat is dat?

W. — Men noemt *frequentie* het aantal perioden per seconde. Dus, als de periode  $\frac{1}{50}$  seconde duurt, gaan er 50 in een seconde en wij zeggen dan, dat de frequentie gelijk is aan 50 perioden per seconde. In plaats van „periode per seconde” zegt men ook wel „cycle per seconde”. Maar men heeft aan de eenheid van frequentie de naam *Hertz* gegeven. Heinrich Rudolf Hertz was een Duitse natuurkundige, die het eerst proefondervindelijk elektro-magnetische golven heeft opgewekt. Eén hertz is dus gelijk aan één periode per seconde. Veelvouden zijn de *kilohertz* (= 1000 hertz) en de *megahertz* (= 1 000 000 hertz). De tekens of symbolen zijn Hz, kHz en MHz.

### Op het terrein van de golven

Vr. — Ik begin zo langzamerhand te begrijpen, wat je zo straks hebt gezegd over een wisselstroom van hoge frequentie (een *hoogfrequente wisselstroom*).

W. — Zo noemt men de stromen, waarvan de frequentie boven 10 000 perioden per seconde ligt. Zulke stromen wekken, als ze door een verticale geleider gaan, elektro-magnetische golven op, die zich van de geleider af voortplanten als kringen, waarvan de straal toeneemt met een snelheid van 300 000 000 m per seconde.

Vr. — Maar dat is de snelheid van het licht!

W. — Inderdaad! En dat komt, doordat het licht ook bestaat uit elektro-magnetische golven, maar met een kortere golflengte dan de radiogolven.

Vr. — Wat noem je eigenlijk „golflengte”?

W. — Dat is de afstand tussen twee zulke elektro-magnetische ringen, die na elkaar de antenne hebben verlaten. Die verticale geleider noemen wij *antenne*. Bij iedere periode van de hoogfrequente stroom ontstaat een ring. Dus, op het ogenblik, dat een tweede ring de antenne verlaat, heeft de eerste al een zekere afstand afgelegd; dat is precies de golflengte. Zij is gelijk aan....

Vr. — ... de snelheid vermenigvuldigd met de tijdsduur van één periode. De snelheid is hier 300 000 000 m per seconde en de tijd tussen twee opeenvolgende golven is de stroomperiode. De golflengte is dus gelijk aan de snelheid der voortplanting vermenigvuldigd met de periode.

W. — Ik maak je wel mijn compliment! Men kan ook zeggen, dat de golflengte gelijk

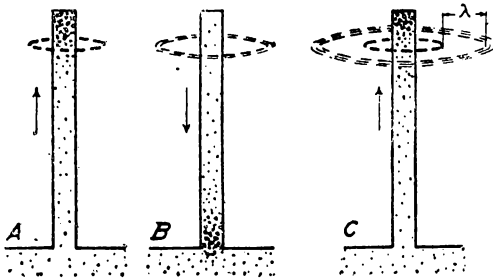
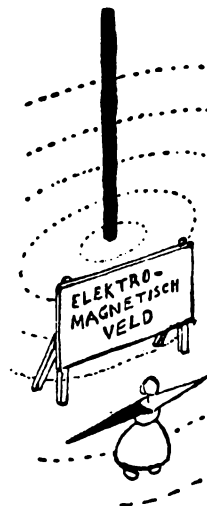


Fig. 5. Zo kan men zich de beweging van de elektronen in de antenne en de opwekking van de golven voorstellen.





is aan de in één seconde doorlopen afstand, gedeeld door het aantal per seconde uitgezonden golven, d.w.z. door de frequentie\*.

Vr. — Dat is net als die twee jongens, die ik zoëven op straat zag hardlopen.

W. — Hè?!

Vr. — Ja zeker! Die ene jongen, een grote, had lange benen, de andere was erg klein. Zij liepen hand in hand met dezelfde snelheid dus. De grootste nam grote stappen, maar minder vlug achter elkaar dan de kleinste, die naast hem draafde. Dat bewijst, zoals je ziet, dat hoe groter de golflengte is (de lengte van één stap), des te kleiner is de frequentie (het aantal stappen per seconde) en omgekeerd.

W. — Je vergelijking gaat volkomen op!

### Het gaat hier om onzichtbare dingen

Vr. — Maar toch zijn er nog een paar dingen duister voor mij. Wat zijn dat voor ringen, die jij elektro-magnetische golven noemt?

W. — Eerlijk gezegd, ik weet het niet precies en ik geloof, dat de geleerden zelf het ook niet helemaal eens zijn op dat punt. Ik kan je wel zeggen, dat er rondom een geleider, waardoor een elektrische stroom gaat, een elektro-magnetisch veld ontstaat, d.w.z. een samenstel van elektrische krachten (aantrekking en afstoting van elektronen en protonen, waarover ik de vorige keer met je heb gesproken). Ook is er een stelsel van magnetische krachten. Laatstgenoemde kun je ontdekken door bij de geleider een kompas te houden, waarvan de naald zich loodrecht op de geleider zal richten.

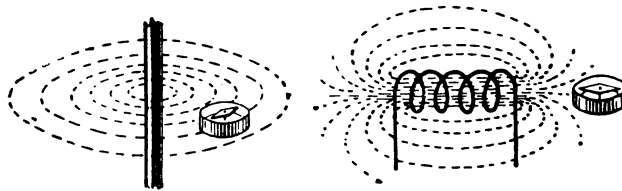
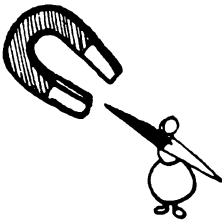
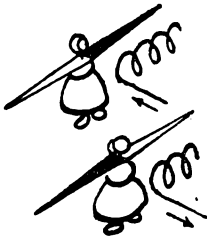


Fig. 6. Het magnetische veld van een rechte geleider (links) en dat van een spoel (rechts).

Vr. — Dat is dus hetzelfde veld als bij een magneet?

W. — Ja, alleen met dit verschil, dat als je een magneet bij een kompas houdt de kompasnaald door die magneet wordt aangetrokken.

Vr. — Kan men een geleider, waardoor een stroom loopt, op dezelfde wijze gebruiken als een magneet?

W. — Ja. Maar de magnetische kracht is erg zwak. Om deze te versterken moet men beschikken over verscheidene geleiders naast elkaar, die in dezelfde richting lopen, zodat hun magnetische velden elkaar versterken.

\* Hier zijn de formules ... voor wie er van houdt!

Als we de periode  $t$ , de frequentie  $f$  en de golflengte  $\lambda$  (lambda) noemen, kunnen wij de volgende betrekkingen opschrijven:

$$t = \frac{1}{f}; f = \frac{1}{t}; \lambda = 300\,000\,000 t = \frac{300\,000\,000}{f}$$



Vr. — Hoe kan men dat doen?

W. — Praktisch is het voldoende een draad spiraalvormig op te rollen. Zo krijgen we dan een *elektro-magneet*, die veel sterker kan zijn dan een gewone magneet. Men kan hem nog voorzien van een ijzeren of stalen kern, die het magnetische veld dichter maakt en de sterkte ervan vergroot.

Vr. — Hangt de richting van de aantrekkingskracht van de magneet af van de stroomrichting?

W. — Ja. Als voor een bepaalde stroom de ene pool van de elektro-magneet de noordpool van de kompasnaald aantrekt, zal, als men de stroom omkeert, de zuidpool aangetrokken worden. Want het magnetische veld heeft een richting, die afhankelijk is van de richting van de stroom, die dat veld voortbracht. En iedere verandering in de sterkte of de richting van de stroom wordt omgezet in een overeenkomstige verandering van het magnetische veld.

Vr. — Dus, als ik je goed heb begrepen, zijn de elektro-magnetische golven eigenlijk niets anders dan velden, die de stroom, waardoor zij zijn voortgebracht, hebben verlaten en die nu door de ruimte wandelen met de aanzienlijke snelheid van 300 000 000 m per seconde. Maar hoe ontvangt men die nu?

### De omgekeerde verschijnselen

W. — Er is in de natuur een groot aantal verschijnselen, die men „omkeerbaar” noemt. Het voortbrengen van een magnetisch veld is er één van. Als een stroom een veld opwekt, wekt omgekeerd een veld, of juister gezegd, wekken de veranderingen van een magnetisch veld een stroom op in een geleider, die zich in dat veld bevindt.

Vr. — Dus in onverschillig welke geleider, die zich binnen hun gebied bevindt, wekken de elektro-magnetische golven een stroom op?

W. — Ja! Bv. in de stalen buizen, die het geraamte vormen van deze stoel, waarop ik nu zit, is op het ogenblik een aantal hoogfrequente stromen aanwezig, voortgebracht door alle nu in werking zijnde zenders.

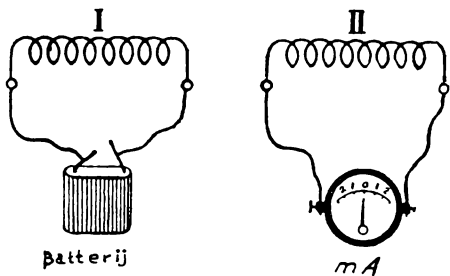


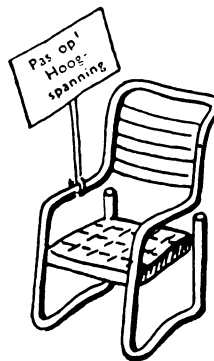
Fig. 7. De spoelen I en II zijn door inductie gekoppeld.

*mA* = milli-ampèremeter.

Kijk, hier zijn twee spoelen, die ik voor het toestel van tante heb gekocht, hier is ook de batterij van mijn zaklantaarn en dit is een milli-ampèremeter.

Vr. — Wat is dat?

W. — Dat had je wel kunnen raden. Dat is een instrument om de stroomsterkte te meten. Ik verbind de batterij met de eerste spoel en de milli-ampèremeter met de tweede (fig. 7) en ik koppel de beide spoelen.



Vr. — Ben je dan niet bang, dat je geëlektrocuteerd wordt, als je op die „elektrische stoel” gaat zitten?

W. — Neen, want die stromen zijn buitengewoon zwak, gezien de grote afstand, die ons scheidt van de verschillende zenders, wier golven hier aankomen met een zeer verzwakt veld.

Vr. — Neem mij niet kwalijk, maar dit alles lijkt mij toch verschrikkelijk ingewikkeld.

W. — Om je het tegendeel te bewijzen, ga ik een klassieke proef voor je nemen.

Vr. — Wel neen! Zij zijn helemaal niet gekoppeld, want er is een afstand tussen.  
W. — Je vergist je, waarde vriend! De *koppeling* in kwestie is een elektro-magnetische: de tweede spoel bevindt zich in het veld van de eerste. En overigens zul je dat dadelijk zien.

### Gevolgtrekkingen uit de inductie

Vr. — Toch blijf ik geloven, dat jij je vergist, want als de tweede spoel zich in het veld van de eerste bevindt, moest zij daar eveneens een stroom hebben volgens hetgeen je zo juist gezegd hebt over de voortbrenging van een stroom door een veld. Maar de wijzer van je ampèremeter blijft op nul.

W. — Ik heb je toch gezegd, dat de stroom alleen wordt opgewekt door de veranderingen in het veld! Welnu, door deze spoel hier loopt een gelijkstroom, het veld is dus constant en er is daarom geen enkele reden, dat er in de tweede spoel een stroom zal ontstaan. Maar let nu op! Ik maak de batterij van de eerste spoel los...

Vr. — Kolossaal!! De wijzer van de milli-ampèremeter week even naar rechts uit en ging direct naar nul terug, wat dus een stroom van korte duur aantoonde.

W. — Die stroom is ontstaan, doordat het veld ging verdwijnen; dat was dus een verandering. En nu verbind ik de batterij opnieuw met de spoel.

Vr. — Nu week de wijzer weer uit, maar nu naar links.

W. — Dat komt, doordat er nu een veld werd opgewekt, dat is een tegengestelde verandering van de vorige. Als ik nu in plaats van de batterij in en uit te schakelen door de eerste spoel een wisselstroom laat lopen....

Vr. — .... dan zal het veld voortdurend veranderen en dan zou in de tweede spoel eveneens een wisselstroom ontstaan.

W. — Onthoud nu, dat de stroom, die het veld voortbrengt, de *inducerende stroom* heet; de door het veld voortgebrachte is de *geïnduceerde* stroom. En het verschijnsel dat de ene stroom op een afstand een andere stroom veroorzaakt, draagt de naam: *elektro-magnetische inductie*.

Vr. — Kortom, de eerste spoel ben jij, de tweede ben ik. Jouw gedachtenstroom wekt door het geluidsveld van onze stemmen een stroom gedachten van dezelfde aard op in mij. En zo maken wij inductie?

W. — Je gevolgtrekkingen zijn volkomen juist!....



*Bij de voortzetting van de bestudering van de inductieverschijnselen brengt Weetal zijn neefje er toe de zelfinductie opnieuw te ontdekken, waarvan de reactantie zich verzet tegen de doortocht van wisselstromen. Vervolgens zullen de twee vrienden aan de hand van zeer duidelijke voorbeelden de eigenschappen van condensatoren onderzoeken. Tijdens het onderzoek naar de verschillende factoren, waarvan de capaciteit afhankelijk is, zal Vraagal weer zijn groot bevattingsvermogen doen uitkomen....*

**Inductie = tegenwerking**

Vr. — Ik heb lang nagedacht over datgene, wat je mij hebt verteld over inductie. Ik heb goed begrepen, dat een stroomverandering in de ene spoel een geïnduceerde stroom voortbrengt in de andere. Maar hoe is de richting en de sterkte van die geïnduceerde stroom?

W. — De geïnduceerde stroom — het moet gezegd worden — heeft een heel lelijk karakter; hij is altijd in tegenspraak met de inducerende stroom. Als deze laatste toeneemt, gaat de geïnduceerde stroom in tegengestelde richting.

Vr. — Wil dat zeggen, dat als de stroom in de inductiespoel in de richting van de wijzers van een klok gaat, de geïnduceerde stroom in de tegengestelde richting gaat?

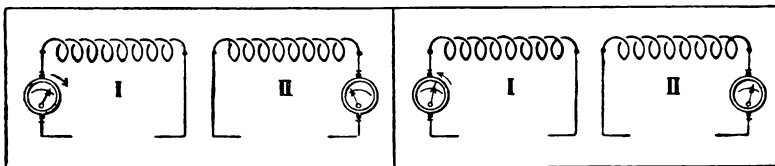
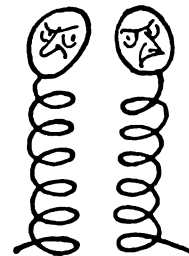


Fig. 8a. Als de stroom in spoel I toeneemt, induceert hij in spoel II een stroom van tegengestelde richting.

Fig. 8b. Als de stroom in spoel I afneemt, induceert hij in spoel II een stroom in dezelfde richting.



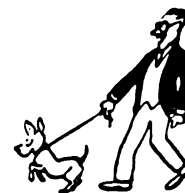
W. — Precies! Neemt daarentegen de inducerende stroom in sterkte af, dan gaat de geïnduceerde stroom in dezelfde richting, precies alsof hij zich tegen die verzwakking van de eerste wil verzetten.

Vr. — Dat is net als met de hond van ome Kees...

W. — Weer een mop zeker?

Vr. — Helemaal niet! Die hond is zo koppig als een ezel... 's Morgens als mijn oom bezig is met zijn ochtendgymnastiek, loopt hij op een drafje zijn tuin rond met zijn hond aan een riem. In het begin als oom Kees de beweging versnelt, trekt de hond achteruit en remt verwoed. Maar eindelijk, als oom Kees buiten adem wat langzamer wil gaan lopen, sleept het beest hem mee om krachttoeren van snelheid te leveren.....

W. — Ik heb zo'n vaag idee, dat je dat verhaal hebt verzonnen om gelijk te krijgen. Maar het bewijst in ieder geval, dat je het inductieverschijnsel hebt begrepen. Je had er zelfs nog bij kunnen zeggen, dat hoe harder of langzamer je oom liep, des te sterker de reactie van de hond was, want de sterkte van de geïnduceerde stroom is evenredig met de snelheid van de verandering van de inducerende stroom en met de sterkte daarvan.





Vr. — Het is misschien erg dom wat ik nu ga zeggen, maar het schijnt me toe, dat, als de ene spoel een stroom induceert in de windingen van de andere, min of meer verwijderde spoel, zij des te eerder nog een stroom in haar eigen windingen moet induceren.

W. — Mijn beste Vraagal, je hebt zo juist de *zelfinductie* opnieuw ontdekt! Mijn compliment daarvoor! Inderdaad ontstaat de geïnduceerde stroom eveneens in de door de inducerende stroom doorlopen spoel, waar hij samenkomt met laatstgenoemde, en zich door zijn zucht tot tegenwerken verzet tegen diens veranderingen.

Vr. — Dat is dan weer net als in de psychologische romans, waarin een inwendige stem voortdurend argumenten opwerpt tegen de gevoelsdaden van de held.

W. — Je deed beter een goede verhandeling over de elektriciteit te lezen. Dan zou je zien, dat de zelfinductie te vergelijken is met de mechanische traagheid. Evenals de traagheid zich verzet tegen het in beweging komen van lichamen en daarna tracht de toestand van beweging te handhaven, zodra deze eenmaal begonnen is, zo verzet de zelfinductie zich tegen het ontstaan van een stroom in een spoel (de toenemende stroom wekt een inductiestroom van tegengestelde richting op) en zij probeert de bestaande stroom te handhaven, als deze wil verdwijnen (de verdwijnende stroom induceert een stroom in dezelfde richting).

Vr. — Dus een wisselstroom, die voortdurend van sterkte verandert, heeft enige moeite om door een spoel heen te komen?

W. — Zeker, want de zelfinductie verzet zich tegen zijn variaties. Die weerstand van de zelfinductie heet inductieve weerstand of, zoals de vakman zegt, *inductantie*. Je moet hem niet verwarren met de gewone (vroeger wel genoemd „Ohmse”) weerstand van de geleider. De inductantie is afhankelijk van de zelfinductie van de spoel, d.w.z. van de inductieve werking van iedere winding op de andere en ook van de frequentie van de stroom.

Vr. — Waarom?

W. — Maar dat is erg eenvoudig! Hoe groter de frequentie is, des te sneller zijn de stroomveranderingen, des te sterker zijn bijgevolg de inductiestromen en des te meer verzetten zij zich tegen die veranderingen.

Vr. — Dus voor de hoge frequenties is de inductantie van een spoel groter dan voor de lage? Het is goed, dat ik dat weet, want ik zie wel, dat het weer verduiveld ingewikkeld wordt.

W. — En nu heb ik je nog niet eens iets over de condensatoren verteld!

**Laten wij het dan nu eens over de condensatoren hebben!**

Vr. — Ik weet heel goed, wat dat zijn. Ik heb ze wel eens in een ontvangtoestel gezien. Je zou zeggen, het is een soort pureemolen met ronde messen, die ronddraaien tussen de vaste messen.

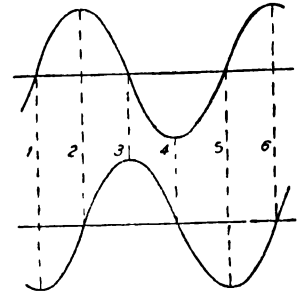
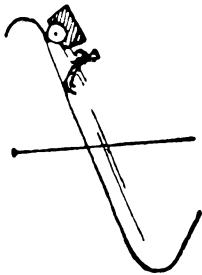
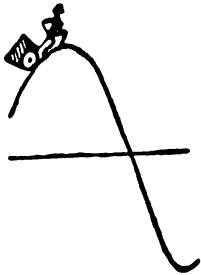


Fig. 9. Boven: De wisselstroom. Beneden: De stroom, die geïnduceerd wordt door de bovengenoemde wisselstroom.

1. De inducerende stroom neemt snel toe. De geïnduceerde stroom heeft een tegengestelde richting.
2. Gedurende een kort oogenblik verandert de inducerende stroom niet. De inductiestroom is nu gelijk nul.
3. De inducerende stroom neemt af. De inductiestroom gaat in dezelfde richting.
4. Gedurende een kort oogenblik verandert de inducerende stroom niet. De inductiestroom is nu gelijk nul.



W. — Juist, dat zijn *variabele* of *regelbare condensatoren*. Er bestaan ook andere, *vaste*, waarvan de platen onbeweeglijk zijn, zodat hun capaciteit constant is.

Vr. — „Capaciteit“?! Waarschijnlijk weer een nieuwe term, die ik leren en begrijpen moet?

W. — Kijk, mijn beste, een condensator is een zeer eenvoudig ding. Het is een samenstel van twee ten opzichte van elkaar geïsoleerde geleiders, waaraan men een zekere spanning aanlegt.

Vr. — Ik zie nog niet in, waarom twee geleiders, die ten opzichte van elkaar geïsoleerd zijn, de naam *condensator* verdienen.

W. — Een condensator is te vergelijken met twee reservoirs, die van elkaar zijn gescheiden door een rubber membraan

(fig. 10). Een pomp, die gedurende een zeer kort ogenblik in werking is gebracht, veroorzaakt een drukverschil tussen de reservoirs 1 en 2....

Vr. — Ik zie al, waar je heen wilt. De pomp, dat is de batterij. De reservoirs stellen de condensatorplaten voor en het drukverschil komt overeen met het potentiaalverschil.

W. — Je hebt het geraden. Alleen, zoals met alle vergelijkingen, gaat ook de mijne slechts op tot een zeker punt. Inderdaad, als er sprake is van twee met lucht gevulde reservoirs, zullen wij in 2 veel moleculen hebben, die gelijkelijk over alle punten zijn verdeeld. In 1 zullen we er veel minder hebben, maar ook daar zal hun verdeling overal gelijk zijn.

Vr. — Mij dunkt, dat ook de elektronen zich op dezelfde wijze zullen verdelen.

W. — Daar vergis je je in. Daar de atomen van plaat 1 positief zijn (een tekort aan elektronen!) zullen zij door het dunne schotje, dat hen isoleert, de elektronen van plaat 2 aantrekken, zodat die zich ophopen in het deel van plaat 2, dat grenst aan 1. Die opeenhoping van elektronen maakt het mogelijk op de platen van de condensator veel grotere elektrische ladingen op te bergen, dan men zonder die aantrekking van elektronen door de positieve atomen had kunnen doen.

Vr. — Als ik het dus goed heb begrepen, is de voornaamste eigenschap van een condensator het vasthouden van een opeenhoping van elektrische ladingen op de platen?

W. — Ja, en die eigenschap nu heet de *capaciteit* van de condensator. Waarvan is nu naar jouw mening de waarde afhankelijk?

Vr. — Ik denk, dat vóór alles de capaciteit afhankelijk is van de dikte van het membraan. Hoe dunner dit is, des te meer kan het doorbuigen en bijgevolg plaats maken voor de gasmoleculen in reservoir 2.

W. — Dat is goed. Van de condensator zeggen wij, dat de capaciteit omgekeerd evenredig is met de afstand tussen de platen. Maar, om terug te komen op onze

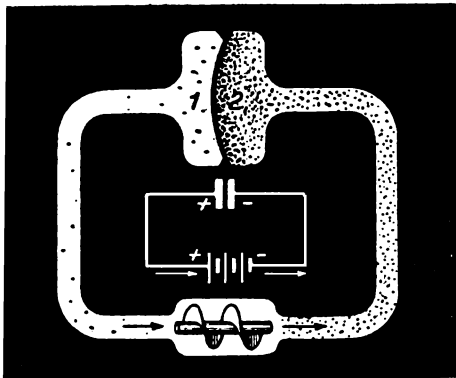
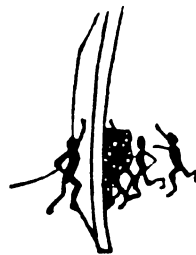
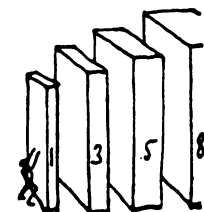
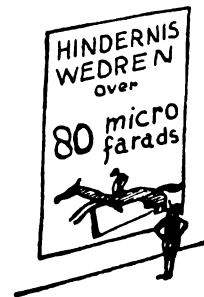
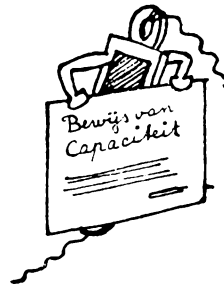
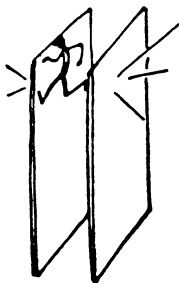


Fig. 10. Twee reservoirs, onderling gescheiden door een elastisch membraan, gelijken op een elektrische condensator. De pomp, die het drukverschil veroorzaakt, is te vergelijken met een elektrische batterij, die een potentiaalverschil doet ontstaan.





reservoirs, denk je niet, dat de capaciteit eveneens afhankelijk is van de aard van het elastische membraan?

Vr. — Natuurlijk! Als het van rubber gemaakt is, is het buigzamer dan wanneer het bv. van blik is.

W. — Mooi zo! Daarom is de capaciteit van de condensator ook afhankelijk van de aard van de stof, die zich tussen de platen bevindt en die het *diëlectricum* genoemd wordt. De specifieke of soortelijke inductiecoëfficiënt, die de meer of minder grote geschiktheid van een diëlectricum om de capaciteit te vergroten aangeeft, heet de *diëlectrische constante*. Voor lucht heeft men 1 aangenomen. Onder die voorwaarden is bv. de diëlectrische constante van mica: 8. Zodat, als je in een luchtcondensator van 10 microfarads tussen de platen blaadjes mica plaatst, de capaciteit zal toenemen tot 80 microfarads.

Vr. — O! Meet men de capaciteit met mi-cro-fa-rads?

W. — De eenheid van maat voor de capaciteit is de farad (F). Maar in de praktijk is dat een te grote capaciteit. Daarom maakt men gebruik van onderverdelingen: *microfarad* ( $\mu\text{F}$ ), dat is het miljoenste deel van een farad, de *milli-microfarad* ( $\text{m}\mu\text{F}$ ), dat is een duizendste microfarad, de *micro-microfarad* ( $\mu\mu\text{F}$ ) of *picofarad* (pF), dat is het miljoenste deel van een microfarad\*.

Vr. — Ik vind het een verdraaid ingewikkeld systeem. Maar om nog eens terug te komen op de factoren, waarvan de capaciteit afhankelijk is, mij dunkt, zij is eveneens afhankelijk van de oppervlakte van het membraan, want hoe groter dit is, des te groter is de werkingssfeer van de positieve atomen op de elektronen\*\*.

W. — Inderdaad is de capaciteit evenredig aan de oppervlakte van de platen.

Vr. — Kortom, om de capaciteit van een condensator te vergroten, kan men óf de oppervlakte van de platen groter maken, óf ze dicht bij elkaar plaatsen. Dus ik denk, dat men met zelfs heel kleine platen een grote capaciteit kan verkrijgen door ze heel dicht bij elkaar te brengen.

W. — Dat is erg gevaarlijk!... Als je de dikte van het membraan al te klein neemt, komt er een moment, waarop het onder invloed van de druk zal scheuren. Ook kan de spanning tussen twee te dicht bij elkaar liggende platen een vonk doen overspringen. De al te sterk aangetrokken elektronen dringen dan door het diëlectricum heen!

Vr. — Dus een slechte condensator wordt een goede elektrische vuursteen!



\* In Engeland en Amerika maakt men om de capaciteit te meten ook wel gebruik van een andere eenheid: de centimeter (cm), die echter niets gemeen heeft met de lengte-eenheid van die naam!






$$1 \text{ picofarad} = 0,9 \text{ cm},$$








\*\* De capaciteit  $C$  van een condensator is gelijk aan:

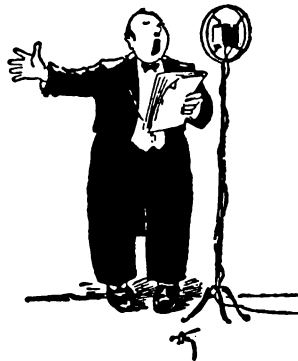
$$C = 0,0885 K \frac{O}{d} \text{ microfarads.}$$

Hierin is  $K$  de diëlectrische constante;  $O$  het oppervlak van één der platen in vierkante centimeters;  $d$  de afstand tussen de platen in centimeters.

Enige symbolen, zoals zij in radioschema's worden gebruikt

 <p>BATTERIJ, ELEMENT OF ACCU</p>	 <p>GELIJKSTROOM- BRON</p>	 <p>WISSELSTROOM- BRON</p>	 <p>MEET- INSTRUMENT</p>	<p>POTENTIOMETER</p> 
--	---	---	---	--

<p>DETECTOR GELIJK- RICHTER</p> 	<p>GLOEIDRAAD</p> 	<p>KATHODE</p> 	<p>ROOSTER</p> 	<p>ANODE OF PLAAT</p> 	<p>SCHERM- ROOSTER</p> 	<p>DIODE</p> 
---	---	--	--	---	---	--



*Dit gesprek begint met een ontdekking, waarover Vraagal niet weinig verbaasd is: de wisselstroom gaat door de condensatoren heen! Het is echter een feit, dat ze aan de stroom een zekere weerstand, „capacitantie” genaamd, in de weg leggen. Vraagal begint verward te raken tussen de verschillende impedanties. Maar de lezer zal dat slechte voorbeeld niet navolgen en met gemak de verklaringen van Weetal kunnen bijhouden.*

**De stroom gaat er door....**

Vr. — De laatste keer, Weetal, heb je met mij over condensatoren gesproken. Als ik het goed heb begrepen, hopen zich op de platen elektrische ladingen op, als men de condensator met een elektrische batterij verbindt.

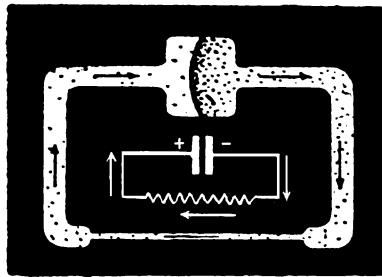
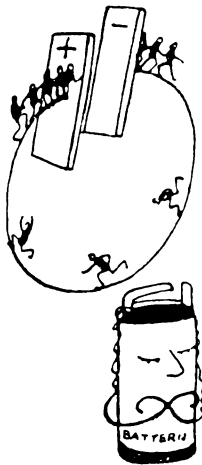


Fig. 11. Ontlading van een condensator door een gewone weerstand.

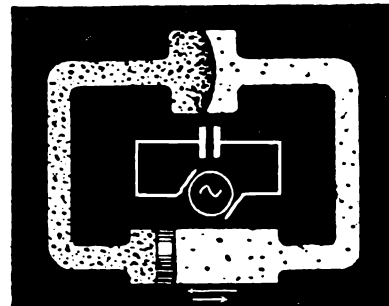


Fig. 12. De loop van de wisselstroom door de condensator.

W. — Dat heb je goed onthouden! Men zegt dan, dat de condensator *geladen* is.  
 Vr. — Dus op het ogenblik, dat wij de condensator verbinden met een stroombron, staat deze laatste een zekere laadstroom af. Maar blijft de stroom doorgaan, als de condensator geladen is?

W. — Neen, die houdt helemaal op. Maar als je daarna de batterij wegneemt en er een weerstand voor in de plaats stelt, veroorzaakt je een *ontlading* van de condensator.  
 Vr. — Hoe dat zo?

W. — Doodeenvoudig, doordat je dan aan de overtollige elektronen op de negatieve platen de gelegenheid geeft de atomen van de positieve platen, die een tekort aan elektronen hebben, aan te vullen. De stroom van heel korte duur, die op dat ogenblik door de weerstand gaat, wordt *ontladingsstroom* genoemd.

Vr. — Dus de condensator is een soort veer, die men kan spannen en die daarna, als men haar loslaat, zichzelf ontspant.

W. — Ik herinner je er aan, dat wij de vorige keer een dergelijk voorbeeld hebben gebruikt, toen wij de condensator vergeleken met een elastisch tussenschot, dat twee reservoirs van elkander scheidt. De ontlading van een condensator door een weerstand heen is dan te vergelijken met de druk van het gespannen membraan, die het water door een nauwe buis perst (fig. 11).



Vr. — Het is misschien erg leuk om een condensator te laden en te ontladen, maar eerlijk gezegd, zie ik het nut van dat werk niet in. Als de ontlading eenmaal heeft plaats gehad, is alles uit, niet?

W. — Ja, als je stroombron er een voor gelijkstroom is. Maar niet als je een wisselstroomgenerator gebruikt, dat is een machine, die wisselstroom opwekt. Een dergelijke machine kan in ons voorbeeld worden voorgesteld als een zuiger, die voortdurend heen en weer wordt bewogen (fig. 12).

Vr. — Ik begrijp het. Als hij naar het linker- of rechtereinde van de cilinder gaat, laadt de zuiger de condensator, d.w.z. buigt het membraan door; keert hij nu op het middelpunt terug, dan vergemakkelijkt hij de ontlading.

W. — Je ziet dus, dat er in onze „kring” een ononderbroken telkens omkerende beweging van elektronen plaats heeft. Er gaat daar werkelijk een wisselstroom rond.

Vr. — En dat ondanks de aanwezigheid van de condensator, die toch eigenlijk de kring onderbreekt!

### De verschillende „-anties”...

W. — De elektrotechnici durven zelfs te zeggen, dat de wisselstroom door de condensator heen gaat. Dat wil echter niet zeggen, dat de elektronen door het diëlectricum heendringen, maar alleen, dat de aanwezigheid van een condensator de heen en weer gaande beweging van de elektronen, d.w.z. de rondgang van een wisselstroom door de kring, niet verhindert.

Vr. — Ik heb wel even tijd nodig om aan dat idee te wennen. Want toch blijft naar mijn mening het membraan, hoe elastisch het ook moge zijn, een hinderpaal.

W. — Natuurlijk! En daarom heeft men de weerstand, die het biedt aan de doortocht van de wisselstroom, de capacatieve weerstand dus, *capacatieve reactantie* of *capacitantie* genoemd.

Vr. — Wel ja! Al weer een term op -antie. Het wordt een verschrikkelijke „alliantie” van vreemde woorden!

W. — Integendeel, Vraagal, het is heus niet zo moeilijk! Je zult heel gemakkelijk zelf kunnen raden, van welke factoren die capacitantie afhankelijk is.

Vr. — In de eerste plaats, denk ik, van de grootte van de capaciteit. Hoe elastischer het membraan is, des te meer buigt het door en des te meer elektronen laat het dientengevolge aan de ene kant binnenkomen en aan de andere kant vertrekken.

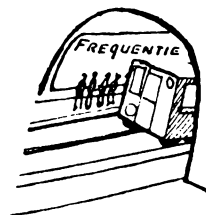
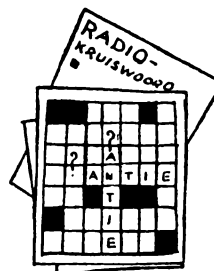
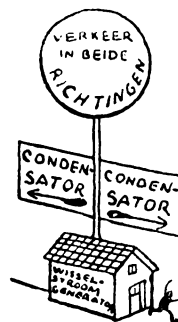
W. — Dus naarmate de capaciteit groter is, gaat de wisselstroom gemakkelijker rond en wij zeggen dan, dat de capacitantie kleiner is.

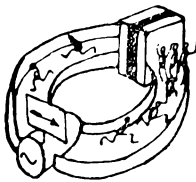
Vr. — Juist het tegengestelde dus van wat er gebeurt met de inductantie, die toeneemt met de zelfinductie van de spoelen. Maar om op de zaak terug te komen, is de capacitantie niet evenals de inductantie afhankelijk van de frequentie van de wisselstroom?

W. — Zeker! Hoe hoger de frequentie is, des te groter is het aantal ladingen en ontladingen van de condensator per seconde en des te groter is dus ook het totale aantal elektronen, dat per seconde door elk willekeurig punt van de kring gaat.

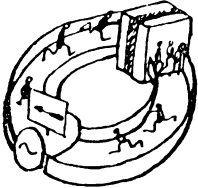
Vr. — Dus de stroomsterkte neemt toe met de frequentie, hetgeen bewijst, dat de capacitantie dan afneemt. Maar, mijn beste Weetal, heb je soms nog meer weerstanden in petto? Ik voel, dat de mijne hard vermindert....

W. — Wees maar gerust, je kent nu de drie soorten van weerstanden, die in de elektriciteit worden gebruikt. En om hun eigenschappen nog eens voor je op te sommen, zal ik dit tabelletje voor je tekenen:





Zuivere of gewone weerstand	Onafhankelijk van de frequentie	
Inductantie, inductieve reactantie of reactantie van een zelfinductie	Evenredig met de zelfinductie	Evenredig met de frequentie
Capacitantie, capacatieve reactantie of reactantie van een capaciteit	Omgekeerd evenredig met de capaciteit	Omgekeerd evenredig met de frequentie



Dit zijn de eenvoudige *impedanties*, dat is de algemene naam voor alle stroomweerstand.

Vr. — En kan men die impedanties nu met elkaar combineren?

W. — Dat spreekt vanzelf! Overigens, om je de waarheid te zeggen, komt het uiterst zelden voor, dat we slechts met één *zuivere* impedantie te maken hebben. Want het is zo, dat bv. een spoel, behalve haar zelfinductie, ook steeds een zekere weerstand heeft, afhankelijk van de lengte, de doorsnede en het materiaal van de draad. De spoel heeft ook een zekere eigen-capaciteit te danken aan de onderlinge nabijheid van haar windingen, die dezelfde rol spelen als condensatorplaatjes. Maar men kan ook heel goed op de weg van de wisselstroom opzettelijk verscheidene impedanties opstellen van verschillende aard.



### Het familieleven van de impedanties

Vr. — In dat geval worden hun waarden zeker bij elkaar geteld?

W. — Helaas! Zo eenvoudig zijn de zaken niet. Ten eerste bestaan er twee verschillende manieren om meer dan één impedantie in een stroombaan in te schakelen.

De eerste bestaat in het *in serie* schakelen, zodat zij allemaal door dezelfde stroom doorlopen worden (fig. 13a).

De tweede manier is de *parallelschakeling* (fig. 13b); de hoofdstroom wordt dan in evenveel stroomtakken verdeeld als er impedanties parallel geschakeld zijn; in iedere tak zal de stroom dan sterker zijn, naarmate de weerstand kleiner is.

Vr. — Dat is als met een grote rivier, die door een eiland in twee kleinere wordt gesplitst; door de tak, waarin de meeste ruimte is, zal het meeste water gaan.

W. — Je begrijpt nu dus, dat twee gewone weerstanden, die in serie zijn geschakeld....

Vr. — .... een gezamenlijke weerstand bieden, die gelijk is aan de som van hun eigen weerstanden.

W. — Uitstekend! En als ze parallel staan?

Vr. — Nou, ik denk, dat de elektronen dan gemakkelijker kunnen passeren. Dan is er als het ware een geleider met een doorsnede, gelijk aan de som van alle doorsneden. De weerstand wordt dus kleiner. Ik veronderstel, dat het met de inductieve reactantie en de capacatieve reactantie wel net eender zal zijn!

W. — Daarin vergis je je niet!

Vr. — Dus „in serie” worden de weerstanden, de zelfinducties en de capaciteiten bij elkaar geteld en „parallel” geschakeld is de totale waarde daarentegen kleiner dan die van elk afzonderlijk.

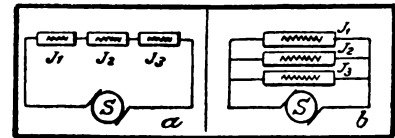


Fig. 13. a. „In serie” geschakeld.  
b. „Parallel” geschakeld.

W. — Je bent een beetje te voortvarend door aan de weerstanden, spoelen en condensatoren dezelfde eigenschappen toe te schrijven als aan hun impedanties. Het is juist, zolang je spreekt over de gewone weerstanden en over zelfinductiespoelen, waarvan de inductantie evenredig is met de zelfinductie. Maar voor de condensatoren gaat dat niet op, want de capacitantie is omgekeerd evenredig met de capaciteit. Dus terwijl de capacitanties in serie bij elkaar geteld worden, verzwakken daarentegen de capaciteiten elkander.

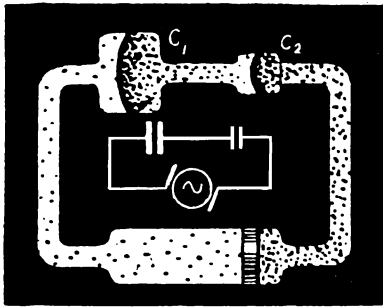


Fig. 14. Serieschakeling van condensatoren.

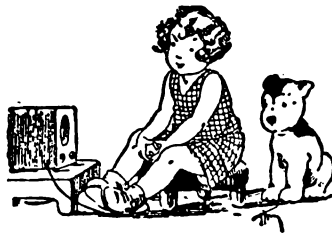
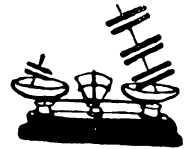
$C_1$  aangaat, die veel meer zou kunnen bergen, hij zal niet meer kunnen verzamelen dan  $C_2$  doorlaat, zelfs nog iets minder vanwege de spanning van zijn eigen membraan. Dus in serie is de capaciteit van het stelsel  $C_1$  plus  $C_2$  kleiner dan de capaciteit van  $C_2$  zelf.

Vr. — Ik denk, dat daarentegen bij parallelschakeling de capaciteiten opgeteld worden, want dat komt overeen met de vergroting van het membraan.

W. — Zo is het....!

Vr. — Wel verdraaid!

W. — Ik zie, dat het absoluut vergeefs is een beroep te doen op je wiskundige gevoel. Kijk (fig. 14), deze twee condensatoren  $C_1$  en  $C_2$  staan in serie geschakeld. Zoals je ziet heeft  $C_2$  een geringere capaciteit dan  $C_1$ , want het membraan is kleiner. De hoeveelheid vloeistof, die de zuiger kan verplaatsen, wordt vooral beperkt door  $C_2$ . Wat



## Het decimale systeem van veelvouden en onderdelen

Het is heel belangrijk de voornaamste regels te kennen van het decimale of tientallige stelsel, die het mogelijk maken om met behulp van voorvoegsels de veelvouden en onderdelen van de eenheden te vormen. Hieronder volgen de meest gebruikte met hun betekenis of waarde. De meeste worden ook in de radiotechniek gebruikt. Zij zijn in vrijwel de gehele wereld genormaliseerd, ook in Nederland. Zie bijv. normblad *NEN* 3069.

### Veelvouden

Voorvoegsel	Teken of symbool	Waarde	Veelvoud
deca	da	10	$10^1$
hecto	h	100	$10^2$
kilo	k	1000	$10^3$
mega	M	1 000 000	$10^6$
giga	G	1 000 000 000	$10^9$
tera	T	1 000 000 000 000	$10^{12}$

### Onderdelen

Voorvoegsel	Teken of symbool	Waarde	Onderdeel
deci	d	0,1	$10^{-1}$
centi	c	0,01	$10^{-2}$
milli	m	0,001	$10^{-3}$
micro	$\mu$ (= mu)	0,000 001	$10^{-6}$
nano	n	0,000 000 001	$10^{-9}$
pico	p	0,000 000 000 001	$10^{-12}$

Het symbool van het voorvoegsel moet voor dat van de eenheid worden geschreven. Achter het symbool of achter het teken voor de eenheid wordt geen punt geplaatst, tenzij natuurlijk aan het einde van een zin. Een meervouds „s” wordt nooit gebruikt.

### Voorbeelden

Het teken voor „gram” is g. Nu kunnen wij met behulp van de voorvoegsels de veelvouden en de onderdelen vormen:

kilogram = kg = 1000 g  
hectogram = hg = 100 g  
centigram = cg = 0,01 g  
milligram = mg = 0,001 g



## Grootheden en eenheden in de radiotechniek

In de onderstaande tabel vindt men de meest gebruikelijke grootheden en eenheden uit de radiotechniek. In de eerste kolom vindt men de namen der grootheden, in de tweede hun symbool, in de derde de eenheid, waarmee de grootheid wordt gemeten, terwijl de vierde kolom daarvan weer het symbool aangeeft.

Grootheid	Symbool	Eenheid	Symbool
lengte	l	meter	m
massa	m	gram	g
tijd	t	seconde	s
elektrische spanning	U	volt	V
stroomsterkte	I	ampère	A
vermogen	P	watt	W
weerstand	R	ohm	$\Omega$
zelfinductie	L	henry	H
capaciteit	C	farad	F
frequentie	f	periode per seconde of hertz	p/s Hz

Nu kunnen wij met behulp van de eerdergenoemde voorvoegsels voor de veelvoud en onderdelen bv. de onderstaande combinaties vormen:

mV	= millivolt	= 0,001 V
$\mu$ V	= microvolt	= 0,000 001 V
kV	= kilovolt	= 1000 V
M $\Omega$	= megohm	= 1000 000 $\Omega$
$\mu$ F	= microfarad	= 0,000 001 F
nF	= nanofarad	= 0,000 000 001 F
pF	= picofarad	= 0,000 000 000 001 F
MHz	= megahertz	= 1 000 000 Hz
GHz	= gigahertz	= 1 000 000 000 Hz

Weetal brengt weer wat meer helderheid in het brein van Vraagal door hem een overzicht te geven van de eigenschappen der weerstanden, zelfinducties en capaciteiten en van hun impedanties, als deze in serie of parallel zijn geschakeld. Vervolgens snijden de beide vrienden het resonantie-vraagstuk aan, dat een der grondbeginselen van de radio is. Weetal legt vooral de nadruk op enkele punten, die later de studie van de radio-elektrische kringen zullen vergemakkelijken.

**Wedstrijd: zelfinductie tegen capaciteit**

Vr. — Ik ben erg blij je weer te zien, Weetal. Ons laatste gesprek heeft in mijn hoofd zo'n warboel achtergelaten, dat ik minder dan ooit aan het maken van het toestel voor je tante durf te beginnen.

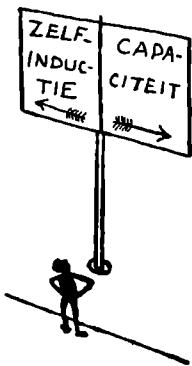
W. — Dat was te voorzien. Ik heb daarom voor jou een tabelletje getekend, waarin de eigenschappen zijn samengevat van de weerstanden, condensatoren en zelfinducties, in serie of parallel geschakeld, met hun impedanties (fig. 15). Je moet wel goed onderscheid maken tussen de zelfinducties en capaciteiten enerzijds en de impedanties daarvan, dat zijn dus de inductanties en capacitanties, anderzijds. In de onderste regel van mijn tabelletje zijn de impedanties alle op dezelfde manier met Z aangeduid.

Vr. — Ik ben je erg dankbaar voor dat tabelletje. Dat zal zeker meehelpen om wat orde te scheppen in mijn gedachten, want die slapeloze nachten beginnen mij heus te verontrusten.

W. — Mijn hemel! Krijg je van de radio . . . .

Vr. — . . . . slapeloze nachten ja! Ik heb een hele nacht liggen nadenken, wat het gevolg zou zijn, als ik een condensator en een spoel in serie zou schakelen. Maar ik ben er jammer genoeg niet uit kunnen komen . . . .

W. — Dat is niet zo verwonderlijk. Want één ding, dat van buitengewoon belang is, heb ik je nog niet onthuld. Je moet nl. weten dat, als een zelfinductie en een capaciteit te zamen weerstand bieden aan de vrije doortocht van de wisselstroom, deze twee weerstanden in zeker opzicht in verschillende richtingen werken. Terwijl de zelfinductie met zijn traagheid het optreden van de stroom tegenhoudt, als de spanning aangelegd wordt (men zegt dan, dat de stroom bij de spanning ten achter is),



IN SERIE	PARALLEL
 $R = R_1 + R_2$	 $R = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$
 $L = L_1 + L_2$	 $L = \frac{L_1 \times L_2}{L_1 + L_2}$
 $C = \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2}$	 $C = C_1 + C_2$
IMPEDANTIES	
$Z = Z_1 + Z_2$	$Z = \frac{Z_1 \times Z_2}{Z_1 + Z_2}$

Fig. 15. Tabel van de eigenschappen van de weerstanden, zelfinducties en capaciteiten en van hun impedanties bij serie- of parallelschakeling.

bezit de capaciteit een tegenovergestelde eigenschap: de stroom is het sterkst op het ogenblik, dat de condensator nog niet geladen is, en dus de spanning daarvan nul is; naarmate de condensator wordt geladen en de spanning daarvan (de „tegenspanning”) stijgt, neemt de stroom af.

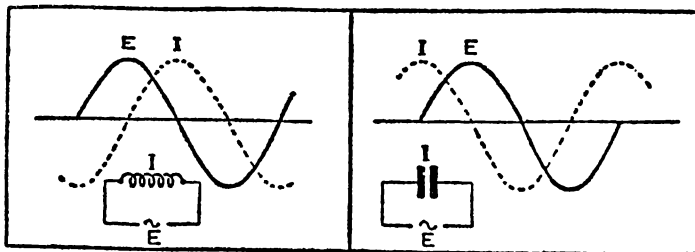


Fig. 16. Faseverschuiving van de stroom  $I$  t.o.v. de door een zelfinductie opgewekte spanning  $E$ .

Fig. 17. Faseverschuiving door een capaciteit. De stroom  $I$  loopt voor bij de spanning  $E$ .



Vr. — Allemachtig! Dat is zo! Als het membraan doorgebogen is, houdt alles op en juist op het ogenblik, dat het weer in de platte vorm komt, gaan de meeste elektronen rond.

W. — De technici gebruiken een meer deskundig taaltje dan jij. Zij zeggen, dat in een capaciteit de stroom bij de spanning vooruit is („voorstaat”).

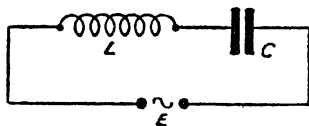


Fig. 18. De zelfinductie  $L$  en de capaciteit  $C$  zijn in serie geschakeld. Voor de resonantiefrequentie zijn de impedantie en de faseverschuiving nul.

Vr. — Goed! Maar wat gebeurt er als een wisselspanning wordt aangelegd aan een serieschakeling van een capaciteit en een zelfinductie . . . ?

Ik zou toch graag vannacht weer willen slapen . . .

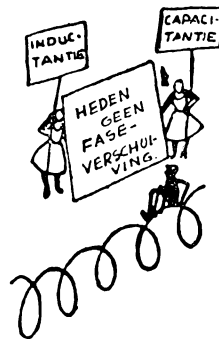
W. — Welnu. In dat geval is alles afhankelijk van het onderling verband tussen de wisselstroomweerstand van de zelfinductie en die van de capaciteit. Als de inductantie groter is dan de capacitantie, zal deze overheersen en omgekeerd, want de capacitantie moet afgetrokken worden van de inductantie, omdat zij op een lijnrecht tegengestelde manier werkt.

Vr. — Goed, als dat zo is, laat ik je dan deze „strikvraag” doen: Stel je voor, dat ik een condensator en een spoel met elkaar in serie heb geschakeld en dat ik daarna een spanning met steeds hogere frequentie aanleg. Wat gaat er dan gebeuren?

W. — Maar dat weet je heel goed zelf!

Vr. — Inderdaad! Bij de toeneming van de frequentie zal de inductantie groter worden en de capacitantie kleiner. Er zal dus noodgedwongen een ogenblik komen, waarop bij een zekere frequentie de inductantie en de capacitantie gelijk zijn. En omdat de ene van de andere afgetrokken moet worden, zal er dan in onze kring helemaal geen impedantie zijn?!

W. — Die redenering is niet slecht! Je vergeet echter, dat de gewone weerstand, die niet afhankelijk is van de frequentie, dan toch in de kring blijft; maar het is waar, dat bij een bepaalde frequentie de inductantie en de capacitantie elkander opheffen



en dat er op dat moment geen faseverschuiving tussen de spanning en de stroom meer zal zijn.

### Over een druppel, die een spoorrail doet breken

Vr. — Dus op dat moment zal de weerstand van de kring het kleinst zijn en de stroom dientengevolge zijn maximum bereiken?

W. — Natuurlijk! We zeggen dan, dat onze stroom in *resonantie* is.

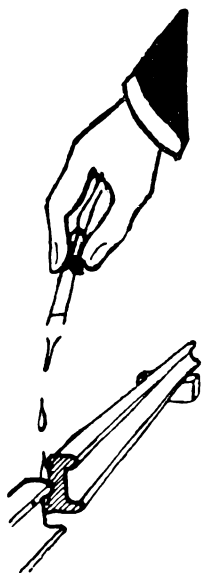
Vr. — Is dat niet net als die druppel, die een spoorrail kan doen breken?

W. — Wat is dat nu weer voor een uitvinding?

Vr. — Ik heb eens ergens gelezen, dat je een stalen spoorrail in tweeën kan doen breken, als je hem met beide uiteinden ergens oplegt en er dan middenop druppels water laat vallen. Door een zekere regelmaat van de vallende druppels komt de rail in trilling, die tenslotte zo hevig wordt, dat de rail doorbreekt.

W. — Ja zeker. Dat is een geval van mechanische resonantie. Evenals een kring, die is samengesteld uit een zelfinductiespoel en een condensator, een zekere eigen frequentie, de *resonantiefrequentie* heeft, waarbij de eigen weerstand uiterst gering wordt, terwijl de stroomschommelingen zeer sterk worden, heeft ook een metalen staaf met een zeker gewicht (d.i. de zelfinductie) en met een zekere elasticiteit (d.w.z. de capaciteit) een resonantiefrequentie, waarbij de trillingen van de staaf het sterkst worden. Die eerste druppel veroorzaakte maar een heel zwakke trilling, maar de tweede viel op het juiste ogenblik om die van de eerste te versterken enz.

Vr. — Ja, nu begrijp ik het. Als de druppels wat vlugger of langzamer zouden vallen zouden zij de trilling van de staaf niet vergroten, maar misschien zelfs wel opheffen. Maar bij de resonantiefrequentie worden de uitwerkingen van de afzonderlijke druppels bij elkaar opgeteld tot de staaf eindelijk breekt, als de trillingen te sterk worden.



### „Perpetuum mobile” . . . ?

W. — Laten wij nu maar weer tot de elektriciteit terugkeren. Veronderstel nu eens, dat je een geladen condensator hebt en dat je aan de klemmen een zelfinductiespoel verbindt. Wat gaat er dan gebeuren?

Vr. — Dat weet ik heel goed. In ons vorige gesprek hebben wij de ontlading van een condensator door een weerstand heen al bestudeerd. Welnu, een spoel is ook een weerstand. Derhalve zal de condensator ontladen worden door de spoel . . . en dat is alles!

W. — Ziedaar nu het gevaar van al te lichtvaardig aaneengeregen redeneringen! Mijn waarde neef, je vergeet één ding: namelijk, dat de zelfinductiespoel zo'n beetje een bijzondere weerstand is, die te vergelijken is met de traagheid. Evenals de elektronen moeite hebben daarin in beweging te komen, is het hun even moeilijk weer tot stilstand te komen. Dus, op het moment, dat de condensator ontladen zou zijn, gaat de elektronenstroom nog voort in dezelfde richting en . . .

Vr. — . . . de condensator wordt weer geladen, doch nu met verandering van polariteit. Maar als-t-ie dan weer opnieuw geladen is . . . ?

W. — . . . zal hij zich opnieuw ontladen en zo verder.

Vr. — Dat houdt dus nooit op? Het is dus voldoende de condensator éénmaal te laden, waardoor hij zichzelf daarna bij ontlading door een zelfinductiespoel heen eeuwigdurend weer laadt en onlaadt? . . . Dat is dus de eeuwigdurende beweging, het *perpetuum mobile*?!

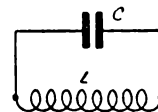
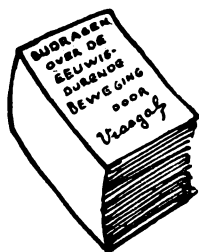


Fig. 19. Een „trillingskring”.



W. — Draaf niet zo door! Onze kring heeft toch ook een gewone weerstand. De stroom ondergaat dus een zekere verzwakking om bij iedere doortocht die weerstand te kunnen overwinnen. De trillingen worden dus hoe langer hoe zwakker en houden tenslotte helemaal op.

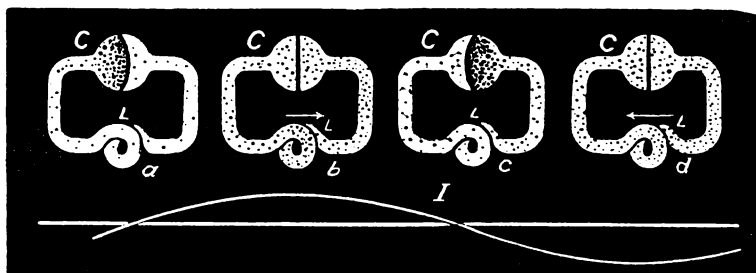


Fig. 20. De beweging van de elektronen in de trillingskring gedurende één periode. In a en c is de stroom nul, maar de spanning aan de condensator C is op haar maximum. In b en d daarentegen is de stroom maximaal en de spanning aan C nul.

Vr. — Eigenlijk is dat net als met een slinger. Het is voldoende hem eerst een duwtje te geven, zodat hij heen en weer gaat slingeren tot alle energie is opgebruikt door de weerstand van de lucht en van het ophangpunt.

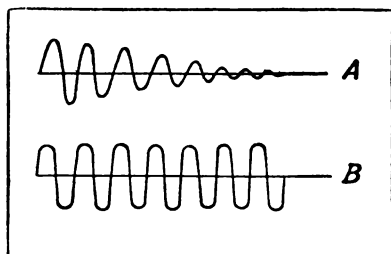


Fig. 21. A. Gedempte trilling  
B. Ongedempte trilling.

W. — Dat is het meest klassieke voorbeeld, dat je zult vinden in alle boeken over radio-elektriciteit; je zult nu misschien gemakkelijk kunnen raden, wat de frequentie is van de trillingen, die in onze keten ontstaan.

Vr. — Ik denk, dat de elektronen verstandig en traag genoeg zijn om de weg van de minste weerstand te volgen. Daarvoor behoeven zij slechts te trillen in de resonantiefrequentie van de keten, de frequentie, bij welke de impedantie de laagste waarde heeft.

W. — Dat is precies wat zij doen! Dus, in een kring, die bestaat uit een zelfinductie

en een capaciteit, en die wij *trillingskring* of *-keten* noemen, veroorzaakt de ontlading van de condensator *gedempte trillingen* (een wisselstroom met afnemende amplitude) met de *eigen* of *resonantiefrequentie* van die kring.

Vr. — Bestaat er geen middel om die trillingen onbeperkt aan de gang te houden?

### De grote en de kleine kring

W. — Zeker! Men verkrijgt trillingen met een constante amplitude (*ongedempte trillingen*), als men aan iedere trilling het energieverlies teruggeeft door van buitenaf een kleine hoeveelheid energie bij te voegen.

Vr. — Dat kan ik begrijpen, want dat is weer net als bij de slinger van de klok, waaraan de veer bij iedere slingering een lichte duw geeft.



W. — Precies! Hiervoor is het voldoende de trillingskring in verbinding te brengen met een andere kring, waarin een wisselstroom loopt met die resonantiefrequentie. Men kan dat doen door beide inductief te koppelen (fig. 22a) of door de trillingskring onmiddellijk in een andere kring op te nemen (fig. 22b).

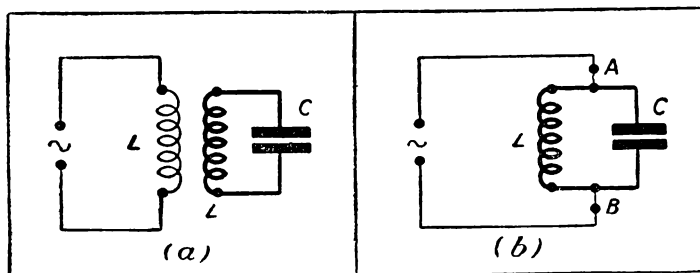
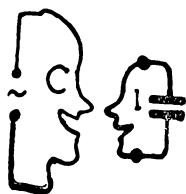


Fig. 22. De trillingskring LC ontvangt de energie hetzij door inductie (bij a), hetzij rechtstreeks (bij b).

Vr. — Ik denk, dat in beide gevallen alleen een stroom met de resonantiefrequentie een sterke stroom in de trillingskring zal kunnen voortbrengen.

W. — Daarin heb je je niet vergist. Maar wat erg belangrijk is — en daar moet je terdege op letten — is, dat als de trillingskring wordt opgenomen in een andere kring (fig. 22b), hij daarin een zeer hoge impedantie vormt voor de resonantiestroom.

Vr. — Ja maar . . . neen, nu begrijp ik je niet meer! Je hebt me toch zo juist gezegd, dat voor de resonantiestroom de impedantie van de kring de laagste waarde heeft?!

W. — Wat ben je toch een . . . ! Geef je er toch eens rekenschap van, dat wij hier twee totaal verschillende kringen hebben. De eerste, die ik hier in dikke lijnen teken, is onze trillingskring (fig. 22b). De andere is de kring, waardoor de wisselstroom met de resonantiefrequentie loopt . . .

Vr. — Maar waar komt-ie vandaan?

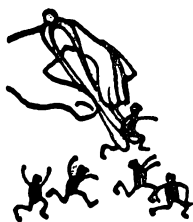
W. — Dat zul je later wel zien, van de antenne of van een anodekring. Maar dat komt er nu niet op aan . . . In de trillingskring zelf gaat een stroom rond, waarvoor de impedantie van de kring erg klein is. Maar bekijk nu de in dunne lijnen getekende kring eens. Die verandert de zaak. Die kring kan in iedere periode aan de trillingskring slechts die zwakke hoeveelheid energie overdragen, welke deze gedurende dat korte ogenblik heeft verloren. Er kan daar dus slechts een zeer zwakke stroom rondgaan. Wij leiden daaruit af, dat onze trillingskring ten opzichte van de grote kring de rol vervult van een zeer hoge impedantie.

Vr. — Het is verduiveld ingewikkeld; toch heb ik het, geloof ik, wel begrepen.

W. — En onthoud nog een zeer belangrijke gevolgtrekking: omdat de trillingskring een zeer sterke impedantie vormt voor de resonantiestroom van de grote kring, veroorzaakt die stroom volgens de wet van Ohm een hoge wisselspanning aan de klemmen A en B van de kleine kring.

Vr. — En wat krijgen we, als we in plaats van een stroom met de resonantiefrequentie een stroom met een andere frequentie hebben?

W. — In dat geval zullen de *gedwongen trillingen*, die in de trillingskring ontstaan, veel zwakker zijn. Daarentegen zal er een veel lagere impedantie ontstaan voor de

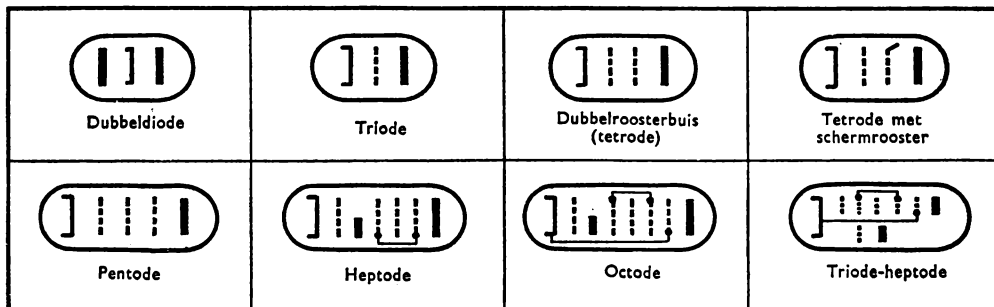


stroom in de grote kring van fig. 22b. Het is zo, dat als er in de grote kring verscheidene stromen met ongelijke frequenties tegelijk lopen, alleen die met de resonantiefrequentie een sterke stroom in de trillingskring zal opwekken, terwijl hij aan de klemmen van die kring een belangrijke spanning zal doen ontstaan. Je kunt dus uit verschillende stromen er in zeker opzicht één uitzoeken: die met de resonantiefrequentie.

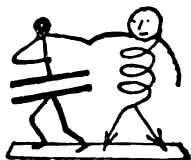
Vr. — Ik zou je nog willen vragen, waarvan de resonantiefrequentie afhankelijk is, alsmede de . . . .

W. — Maar ik denk, dat je voor vandaag wel verzadigd bent en dat het beter is de rest tot een volgende keer uit te stellen. Wij zullen dan kunnen eindigen met al die inleidende begrippen van het terrein der algemene elektriciteit en overgaan tot de eigenlijke radiotechniek.

Enige symbolen, zoals zij in radioschema's worden gebruikt



De eerste vijf gesprekken hebben Vraagal (en ook u, waarde lezer!) in staat gesteld de onmisbare begrippen van de elektriciteit in het algemeen in zich op te nemen. Nu werpt Vraagal zich, meege-sleept door Weetal, op de bestudering van de radio. Steunend op hetgeen in het vorige gesprek werd geleerd, onderzoeken zij nu het vraagstuk van de selectiviteit en de afstemming van trillingskringen.



### Vraagal en de wiskunde

W. — Toen je mij de vorige keer verliet, heb je gevraagd van welke factoren de resonantiefrequentie van een trillingskring eigenlijk afhankelijk is.

Vr. — Inderdaad, maar intussen heb ik over de zaak nagedacht en ik geloof de waarheid te hebben gevonden. Ten eerste bestaat een trillingskring slechts uit een condensator en een spoel. Dus kan het niet anders of de eigen frequentie is alleen afhankelijk van de capaciteit en van de zelfinductie.

W. — Om dat te constateren, behoeft je geen Paul Vlaanderen te zijn . . .

Vr. — Zeker niet! Maar ik ben verder gegaan . . . Wat de capaciteit betreft, hoe groter deze is, des te langer zal elke lading en ontlading duren. Evenzo, hoe groter de zelfinductie is, des te meer zal ze zich verzetten tegen iedere verandering van de stroom en, bijgevolg, de trillingen vertragen. Kortom, de periode van de eigen trillingen van de kring neemt toe bij vergroting van de capaciteit en van de zelfinductie.

W. — En bijgevolg neemt de frequentie tegelijkertijd af. Ik maak je mijn compliment, Vraagal: je redenering klopt. Alleen dient er bijgevoegd te worden, dat de frequentie (en dus de periode) niet even snel verandert als de capaciteit of de zelfinductie. Als je wat meer met wiskunde ophad, zou ik je zelfs gezegd hebben, dat de periode evenredig is met de vierkantswortel van de capaciteit en van de zelfinductie. \*

Vr. — Ach, je weet, dat de wiskunde niets voor mij voelt en dat dit gevoel wederkerig is. Ik wil je zelfs wel bekennen, op gevaar af ondankbaar te lijken, dat ik niet erg het nut van al dat gepraat over trillingskringen voor de radio inzie.

### De rookkringen

W. — In de loop van ons tweede gesprek heb ik je al eens uitgelegd, dat als door een verticale draad, *antenne* genaamd, een hoogfrequente stroom gaat . . .

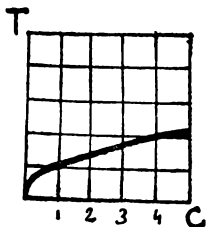
Vr. — . . . zich daar elektro-magnetische golven vormen, die zich uitbreiden zoals rookkringen en die zich verspreiden met de waanzinnige snelheid van 300 000 km per seconde.

W. — Prachtig! Je geheugen takelt nog niet af . . . Nu, wat zal er gebeuren, als die golven op hun weg een andere verticale draad ontmoeten?

\* Als men de zelfinductie  $L$  en de capaciteit  $C$  kent, leidt men met de *formule van Thomson* gemakkelijk de periode  $t$  af:

$$t = 2\pi \sqrt{L \times C}; \text{ hierin is } \pi = 3,14\dots (\pi = \text{pi})$$

Maar.... Vraagal houdt niet van formules!





Vr. — Ik denk, dat wij hier het principe van het omkeren der verschijnselen kunnen toepassen en mogen zeggen, dat de golven in de draad, die zij tegenkomen, hoog-frequente stromen opwekken.

W. — Schitterend! En om de dingen bij hun naam te noemen: we zeggen, dat die golven in de *ontvangantenne* een stroom opwekken, overeenkomstig aan die, welke in de zendantenne loopt. Hij is natuurlijk veel zwakker, want naarmate zij verder van de zender komen, verzwakken de golven.

Vr. — Zoals die rookringen, als ze wijder worden.

### Vraagal is bang voor elektrocutie

W. — Maar denk nu eens aan dit belangrijke feit: er zijn op ieder moment overal in de wereld verscheidene tientallen radiozenders in werking.

Vr. — Je wilt toch niet zeggen, dat ze allemaal stromen opwekken in onverschillig welk stukje draad?!

W. — Ja zeker! Wees er van overtuigd, dat door jouzelf, hoewel je een slechte geleider bent, op dit ogenblik enige tientallen hoogfrequente stromen gaan.

Vr. — Dat is niet erg prettig om te horen! Je had beter gedaan mij daar maar niets van te zeggen! Ik voel echter nog niets . . .

W. — Natuurlijk niet! Want die stromen zijn heel erg zwak. Bovendien, terwijl gelijk- en wisselstromen van lage frequentie zich voortplanten door ieder deel van de doorsnede van een geleider, planten de hoogfrequente stromen zich slechts over de oppervlakte voort. Men noemt dat het *huideffect*.

Vr. — Dat stelt me weer een beetje gerust . . . maar er is nog een ander punt, dat mij beangstigend lijkt. Daar de ontvangantenne de stromen opvangt van *alle* radiostations, die in werking zijn, zullen wij een verschrikkelijk mengsel horen van klassieke en moderne muziek, van voordrachten en persberichten, kookpraatjes enz. Ik zie niet in, wat je er aan hebt om tegelijkertijd Hilversum, Berlijn, Parijs en Londen te ontvangen . . .

### De selectiviteit

W. — Je weet heel goed, dat dit niet zo is. De radiotoestellen zijn *selectief* of met een Nederlands woord: *scherpkiezend*, d.w.z. zij zijn in staat om uit die massa stromen, die door de antenne gaan, diegene uit te kiezen, die overeenkomt met de gewenste zender.

Vr. — Op welke manier?

W. — Met behulp van een of meer trillingskringen. De antenne wordt bv. inductief gekoppeld met een trillingskring (fig. 23). We zijn dan teruggekomen bij het geval, dat wij aan het einde van ons vorige gesprek hebben bekeken. Van alle in de antenne aanwezige stromen zal alleen die met de resonantiefrequentie van de trillingskring LC daarin een stroom induceren, die een

voldoende wisselspanning tussen de punten A en B zal veroorzaken.

Vr. — Dus de verschillende zenders zijn — als ik het goed begrijp — van elkander te onderscheiden door hun verschillende frequenties.

W. — Zo is het! De frequentie is voor de zender, wat het nummer is voor een telefoonabonné.

Vr. — Maar hoe kunnen wij nu naar verkiezing verschillende uitzendingen horen? De trillingskring heeft toch maar één resonantiefrequentie?

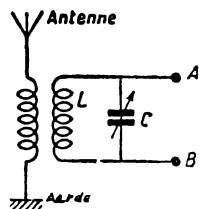


Fig. 23.

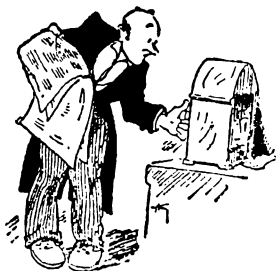




W. — Dooeenvoudig door op verschillende frequenties *af te stemmen*. Om de resonantiefrequentie te veranderen is het voldoende om óf de zelfinductie óf de capaciteit van een kring te wijzigen. Zie je niet, dat er op de tekening door de condensator een pijl is getekend? In de schema's (tekeningen) duidt een pijl gewoonlijk aan, dat de waarde van dat onderdeel *regelbaar* of *variabel* is. Voor deze gelegenheid gebruiken wij een condensator met *regelbare* capaciteit, of zoals men kortweg zegt een *regelbare* of *variabele condensator*.

Vr. — Dus in het kort, er zijn in de antenne verscheidene stromen met verschillende frequenties aanwezig. Door de capaciteit van de variabele condensator te wijzigen, wip je telkens één van die frequenties over in de trillingskring. Wij hebben dan tussen de punten A en B een wisselspanning en . . . . wat doen we daarmee?

W. — Die spanning is dan gewoonlijk zeer laag en moet dus meestal eerst versterkt worden, voordat men er iets meer mee kan doen. Voor de versterking maakt men gebruik van de *radiobuizen* of — zoals we vroeger zeiden — van radiolampen. Maar de geheimen daarvan zullen wij een volgende keer onderzoeken.



*Om de radio te begrijpen is het voor alles van belang de meer-elektrodenbuis te kennen, die als het ware het „Manusje-van-alles” in de radiotoestellen is. Getrouw aan zijn belofte zet Weetal nu het mes in deze materie, door de eigenschappen van de eenvoudigste radiobuizen uit te leggen: de diode en de triode. Zo leert Vraagal achtereenvolgens de rol van de kathode, de anode en van het rooster.*

### Vraagal oriënteert zich

Vr. — Daar je mij de vorige keer hebt beloofd over de radiobuizen te zullen spreken, heb ik mij een beetje over dat vraagstuk georiënteerd. Door in mijn woordenboek te kijken heb ik al geleerd, dat zij ook „elektrodenbuizen” genoemd worden.

W. — Prachtig! Nu ben je al aardig op de hoogte . . . ! Om nu de inlichtingen van je woordenboek te voltooien, behoef ik er slechts bij te voegen, dat de elektronen inderdaad een belangrijke rol in de radiobuizen spelen.

Vr. — Houd me nu niet altijd voor de gek, Weetal! Wat doen de elektronen in zo'n buis?

W. — Zij worden door de kathode uitgezonden (*geëmitteerd* noemt men dat) en nadat zij in het luchtledig een of meer roosters zijn gepasseerd, worden zij door de anode aangetrokken.

Vr. — Hoe langer hoe mooier! . . . Kathode, anode, rooster . . . je kunt me net zo goed in het Sanskriet de integraalrekening uitleggen.

W. — Laten we dan maar weer bij het begin beginnen. Weet je wat warmte eigenlijk is?

Vr. — Mijn natuurkundeboek vertelt me op een wel wat geheimzinnige manier, dat de warmte niets anders is dan een snelle en wilde beweging van de moleculen d.w.z. van de kleinste op zichzelf staande deeltjes van een stof.

W. — En wat doen de elektronen in de moleculen van een verwarmde stof?

Vr. — Ik denk, dat die elektronen vergeleken kunnen worden met reizigers, die in een auto zitten, welke in een snelle rit als krankzinnig heen en weer slingert. De elektronenreizigers worden hevig door elkaar geslingerd en hebben daarvan veel te lijden.

W. — De wetenschap bezit nog geen inlichtingen over de geestestoestand van de elektronen . . . , maar je hebt gelijk met te zeggen, dat zij hevig door elkaar geslingerd worden. Veronderstel nu eens, dat de temperatuur van de stof heel hoog wordt . . .

Vr. — In dat geval wordt de beweging van de elektronenauto's zo snel en onordelijk, dat er, naar ik vrees, niet zo heel weinig elektronenreizigers uitgeslingerd zullen worden.

W. — Dat noemt men nu de *elektronenuitzending* of *-emissie* van een lichaam. Brengt men een metalen draad aan het gloeien, dan zal hij een hoeveelheid elektronen afscheiden. Er bestaan nu bepaalde metaaloxiden, voor welke de elektronenuitzending reeds bij een betrekkelijk lage temperatuur begint.

Vr. — Dat komt, doordat de reizigers in die oxyden zich niet al te stevig aan hun auto's vastklampen. Maar, zeg me eens, op welke manier wil je het metaal verwarmen ten einde de elektronenemissie te verkrijgen?





W. — Alle verwarmingsmiddelen zou men kunnen gebruiken: gas, petroleum, steenkool, elektriciteit . . .

Vr. — Zo zo! Ik wist niet, dat men radiobuizen met petroleum stookte . . .

W. — In de praktijk verhit men de *kathode* (zo noemt men in een buis die elektrode, welke voor de elektronenemissie zorgt) altijd door een elektrische stroom. Maar die stroom — de *gloeistroom* — speelt een zeer ondergeschikte rol en zou tenslotte heel goed door een andere warmtebron vervangen kunnen worden. In de moderne buizen vinden wij een gloeidraad evenals in de gewone gloeilamp. Hij wordt tot gloeiing gebracht door een stroom (wisselstroom of gelijkstroom, dat komt er tegenwoordig niet meer op aan!), welke door die draad heen loopt. Die gloeidraad is omgeven door een isolerend buisje van vuurvast materiaal, dat de warmte opzammelt en doorgeeft aan een nikkelen buisje, dat stijf rondom het vuurvaste pijpje zit. Het nikkelen buisje is tenslotte bedekt met een elektronen uitzendende of emitterende laag, die uit verschillende oxyden bestaat en die de eigenlijke *kathode* vormt. De gloeidraad dient alleen om deze kathode op een constante temperatuur te houden.

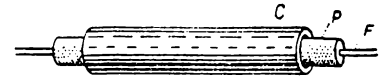


Fig. 24. Samenstelling van een kathode: F = gloeidraad. P = porcelainen (vuurvaste) pijpje. C = nikkelen buisje bedekt met de emitterende laag.

Vr. — Het is dus eigenlijk zoiets als een elektrisch komfoor, waarop een ketel staat, die elektronenstroom laat ontsnappen.

W. — Je vergelijking is niet slecht. Merk nu nog op, dat onze uit de hete kathode geslingerde elektronen niet ver zullen komen, als ze dadelijk op hun weg lucht-moleculen ontmoeten. Om hun een vrije verplaatsing te verzekeren plaatst men de kathode in een volkomen luchtledig gemaakte glazen bol.

Vr. — Maar waar wil je, dat de elektronen heen gaan?



### En hier is nu de diode

W. — Wij gaan in de buis een elektronenval opstellen! Dat is een cilinder (fig. 25), die op een zekere afstand rondom de kathode wordt geplaatst en die ten opzichte daarvan positief wordt geladen met behulp van een batterij.

Vr. — Mij dunkt, dat ik nu wel kan begrijpen, wat er dan gaat gebeuren. De elektronen, die negatieve deeltjes elektriciteit zijn, worden door je positief geladen cilinder aangetrokken en zo zal er een elektronenstroom ontstaan van de kathode naar die cilinder.

W. — Die cilinder in kwestie heet *anode* of *plaat* en de stroom, die van de kathode

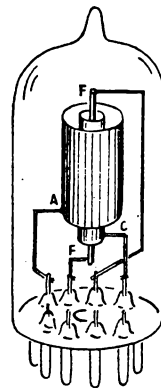


Fig. 25. De diode. F = gloeidraad. C = kathode. A = anode of plaat.

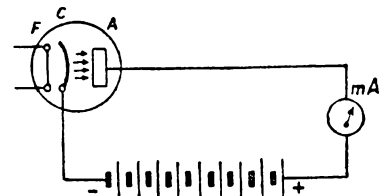
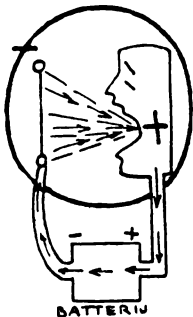


Fig. 26. Door middel van de milli-ampèremeter mA is het mogelijk de stroom te meten, die van de kathode C naar de anode A gaat.



naar de anode gaat en na door de batterij te zijn gegaan naar de kathode terugkeert, heet *anode-* of *plaatstroom*. Het bestaan van die stroom kun je nu vaststellen met behulp van een milliampèremeter, die je in de plaatkring inschakelt (fig. 26).

Vr. — Het is heus wonderlijk om je in te denken, dat de elektronen zich zo door het luchtledige verplaatsen! . . . Maar, zeg, als ik nu per ongeluk de batterij verkeerd verbind en dus de kathode positief en de anode negatief maak, zullen de elektronen dan niet van de plaat naar de kathode gaan?

W. — Neen, zeker niet! Want die anode moet koud zijn en zendt derhalve geen elektronen uit.

Vr. — Dus onze buis is voor de elektronen, om het zo eens te zeggen, een straat met eenrichtingsverkeer.

W. — Ja, maar we zeggen het alleen een beetje wetenschappelijker. Men zegt, dat deze radiobuis met twee elektroden, *diode* genaamd, een elektronengelijkrichter is, een buis dus, die de stroom slechts in één richting doorlaat.

Vr. — Ik veronderstel, dat de stroom in zo'n diode erg zwak is.

W. — Daarin vergis je je niet, ten minste, voor wat de buizen betreft, die in de ontvangoestellen worden gebruikt. De stroom in die buizen overschrijdt zelden enkele tientallen milli-ampères.

Vr. — En van welke factoren is die stroom afhankelijk?

W. — In de eerste plaats van de spanning, die tussen de kathode en de anode aangelegd wordt; hoe hoger die spanning, des te sterker de stroom.

Vr. — Dat lijkt me tamelijk gewoon: hoe dringender de anode de elektronen aan-

roept, des te talrijker verschijnen zij op het appèl.

W. — Toch is die regel slechts tot aan een bepaalde grens juist: Daarboven zal de stroomsterkte ondanks de vergroting van de spanning niet meer toenemen.

Vr. — Waarom niet?

W. — Omdat bij een zekere spanning *alle* door de kathode uitgezonden elektronen de anode zullen bereiken. Wij hebben dan de *verzadigingsstroom* bereikt, of anders gezegd, de maximale stroom, die de kathode kan geven.

### Vraagstuk ontdekt Amerika!

Vr. — Natuurlijk! De beste kathode van de wereld kan niet meer geven dan zij zelf heeft . . . Maar wat die kathoden betreft, daar krijg ik een reuze idee! Ik denk zelfs, dat er octrooi op aangevraagd kan worden . . .

W. — Leg me die sensationele uitvinding maar gauw uit!

Vr. — Ik denk, dat men de samenstelling van de kathode geweldig zou kunnen vereenvoudigen door de gloeidraad en het emitterende oppervlak tot één stukje te verenigen. Het zou voldoende zijn de gloeistroom door een draad te laten lopen, die gemaakt was van een metaal met goede emitterende eigenschappen. Onder die voorwaarde zou een dergelijke draad, die zichzelf verhitte, ook zelf de elektronen uitzenden en een zeer simpele kathode vormen.

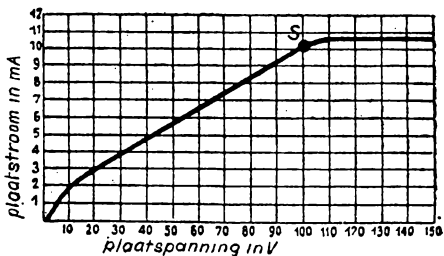
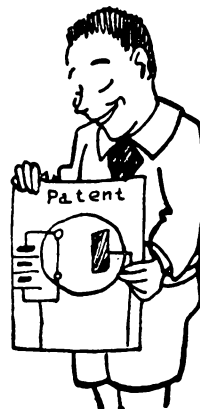
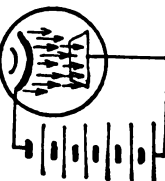
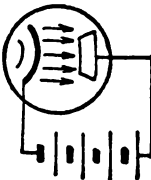
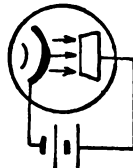
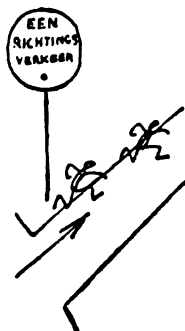
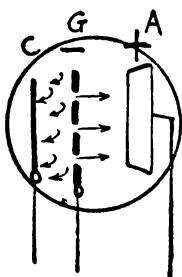
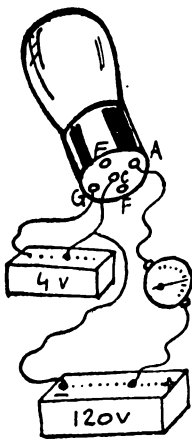
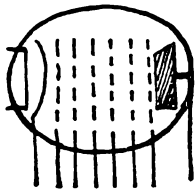


Fig. 27. De kromme toont ons de verandering van de plaatstroom, veroorzaakt door de plaatspanning. Vanaf S begint de verzadiging.





W. — Alweer mijn compliment, Vraagal! Je hebt zojuist de zg. *direct verhitte kathode* uitgevonden, die inderdaad veel eenvoudiger is dan de *indirect verhitte kathode*, waarvan ik je de samenstelling heb uitgelegd. Maar . . . je uitvinding komt een beetje laat, want de *direct verhitte buizen* waren reeds lang bekend, vóór die met *indirecte verhitting* kwamen. De *directe verhitting* wordt intussen nog toegepast in ontvangerstoestellen, die door batterijen gevoed worden en ook in bepaalde buizen van ontvangers, die gevoed worden door de stroom van het lichtnet.

Vr. — Heus, ik ben te laat geboren, want er is voor mij niets meer uit te vinden!

W. — Integendeel! Op het gebied van de buizen is er nog ontzettend veel te doen. In de laatste jaren volgen de nieuwe buismodellen elkaar met een veelbijsterende snelheid op. Door het aantal roosters te vergroten of de vorm en opstelling daarvan te veranderen, zijn de technici erin geslaagd heel interessante buizen te maken.

### In het doolhof van de roosters

Vr. — Maar waarvoor dienen eigenlijk die roosters, waarover je nu spreekt?

W. — De roosters — dat zijn als het ware metalen traliewerken met min of meer wijde mazen of geperforeerde cilinders — worden tussen de kathode en de anode op de weg van de elektronen geplaatst. Uit zuiver meetkundig oogpunt vormen zij geen enkele hinderpaal voor de doortocht van de elektronen. Maar omdat zij veel dichterbij de kathode zijn geplaatst dan de anode, oefenen zij op de elektronenstroom een veel grotere invloed uit dan de anode.

Vr. — Dat is me nog niet erg duidelijk. Over wat voor soort invloed spreek je?

W. — Over de invloed van de roosterspanning op de anodestroom. Laten wij nu eens een buis nemen, die na de diode de eenvoudigste is: dat is een buis met één rooster, hetgeen dus met de kathode en de anode tezamen drie elektroden vormt. Men noemt zo'n buis een *triode*. Naast bv. de moderne *octoden* of zelfs *dodecaoden* (= twaalf-elektrodenbuizen) is zij in zeker opzicht alweer ouderwets . . .

Vr. — Toch geef ik er de voorkeur aan, dat je me eerst eens wat over de triode vertelt.

De elektronen zijn misschien slim genoeg om hun weg te vinden door acht of misschien zelfs nog meer elektroden heen, maar ik vind het allemaal nog verdraaid ingewikkeld!

W. — Je zult straks zien, dat het eigenlijk erg eenvoudig is . . . Om je duidelijk te maken wat in een triode de invloed is van het rooster op de anodestroom, ga ik tussen de kathode en het rooster een kleine batterij  $B_g$  plaatsen, die met de kathode is verbonden door een in het midden gemaakte aftakking (fig. 28). Zo kan ik aan het rooster ten opzichte van de kathode een negatieve of positieve spanning geven, door het aan de linker- of aan de rechterkant van de aftakking voor de batterij te verbinden. Op die manier kan ik de roosterspanning ten opzichte van de kathode

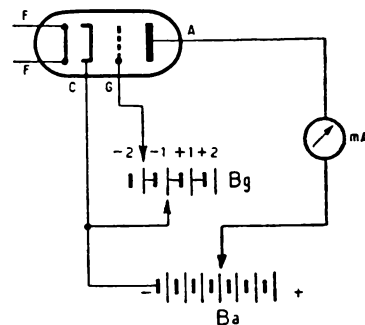


Fig. 28. Dit is een schakeling, die het mogelijk maakt de verschillende invloeden van de rooster- en plaatspanning op de anodestroom te vergelijken. De roosterbatterij  $B_g$  en de plaatbatterij  $B_a$  hebben aftakkingen, waardoor men gemakkelijk de gebruikte spanning kan veranderen.

laten variëren tussen  $- 2$  en  $+ 2$  V. Eveneens kan de plaatspanning veranderd worden door aftakkingen op de plaatbatterij Ba, waarvan de negatieve pool met de kathode is verbonden.

Vr. — Ik zie, dat je voor de plaat een batterij van 120 V hebt genomen, terwijl je voor het rooster er een van slechts 4 V gebruikt. Waarvoor is dat?

W. — Wel, omdat, zoals je dadelijk zult zien, kleine veranderingen in de rooster-spanning op de sterkte van de anodestroom dezelfde uitwerking hebben als grote veranderingen in de plaatspanning. Kijk liever zelf eens: Als we aan de anode  $+ 80$  V geven en aan het rooster  $- 2$  V, hoe groot is dan de stroom, die de milli-ampèremeter mA aangeeft?

Vr. — 1 mA.

W. — Goed! Nu breng ik het rooster op  $- 1$  V, d.w.z. ik verhoog de potentiaal met 1 V. Nu is de plaatstroom 4 milli-ampères. Hij is dus 3 milli-ampères toegenomen door een verandering van de roosterspanning met 1 V.

Vr. — Ik denk, dat hij toegenomen is, omdat het rooster, dat minder negatief werd, niet meer zo krachtig de van de kathode weggeslingerde elektronen tegenhield.

### Steilheid en versterkingsfactor

W. — Dat is goed. Ik wil je nu terloops nog zeggen, dat de verandering, die de anodestroom ondergaat, wanneer de roosterspanning met één volt wordt veranderd, de *steilheid* van de buis heet en gemeten wordt in milli-ampères per volt (mA/V). Zo is dus de steilheid van onze triode 3 mA/V, omdat bij een verandering van de rooster-spanning met 1 V de plaatstroom met 3 milli-ampères veranderd (toegenomen) is.

Vr. — Maar volgens hetgeen je me vroeger al eens hebt uitgelegd, zouden wij de plaatstroom tot op zekere hoogte ook kunnen vergroten door de aan de anode aangelegde spanning te verhogen.

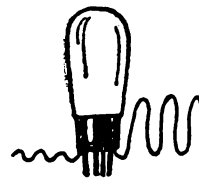
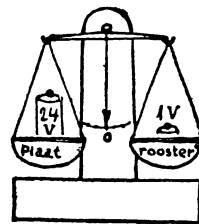
W. — Daar kom ik nu op. Laten wij de roosterspanning weer eens brengen op  $- 2$  V en dan de plaatstroom trachten te vergroten tot op dezelfde waarde van 3 milli-ampères, maar nu door de plaatspanning te veranderen. Dan zie je, dat ik verplicht ben van  $+ 80$  op  $+ 104$  V te komen, d.w.z. ik moet de plaatspanning verhogen met 24 V, ten einde hetzelfde effect te verkrijgen, dat de verandering met 1 V van de roosterspanning me reeds gaf.

Vr. — Ik zie nu in, wat je me wilde zeggen, toen je uitlegde, dat het rooster op de anodestroom een veel sterkere invloed uitoefent dan de plaat. Kortom, als het rooster op fluïstertoon de elektronen roept, heeft dat hetzelfde effect, als wanneer de plaat luidkeels schreeuwt.

W. — Je hebt het bij het rechte eind, Vraagal! En het cijfer, dat aangeeft hoeveel maal de verandering van de plaatspanning groter is dan de verandering van de roosterspanning voor het verkrijgen van dezelfde verandering in de anodestroom, wordt de *versterkingsfactor* van een radiobuis genoemd. Wat is nu bv. de versterkingsfactor van onze triode?

Vr. — Laat eens kijken. Wij hebben de plaatspanning met 24 V moeten verhogen om de plaatstroom 3 milli-ampères te veranderen. Aan de andere kant hebben we dezelfde verandering verkregen met slechts 1 V op het rooster. Bijgevolg is de verandering van de spanning aan de plaat  $24 \times$  zo groot als die aan het rooster en onze versterkingsfactor zal dus  $24 : 1 = 24$  zijn!

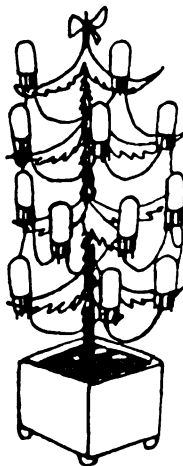
W. — Uitstekend! Ik zie, dat je het begrepen hebt. En ik hoop, dat je van alles, wat



wij vandaag bestudeerd hebben, vooral deze gewichtige gevolgtrekking zult onthouden: *kleine veranderingen in de roosterspanning veroorzaken grote veranderingen in de plaatstroom.*

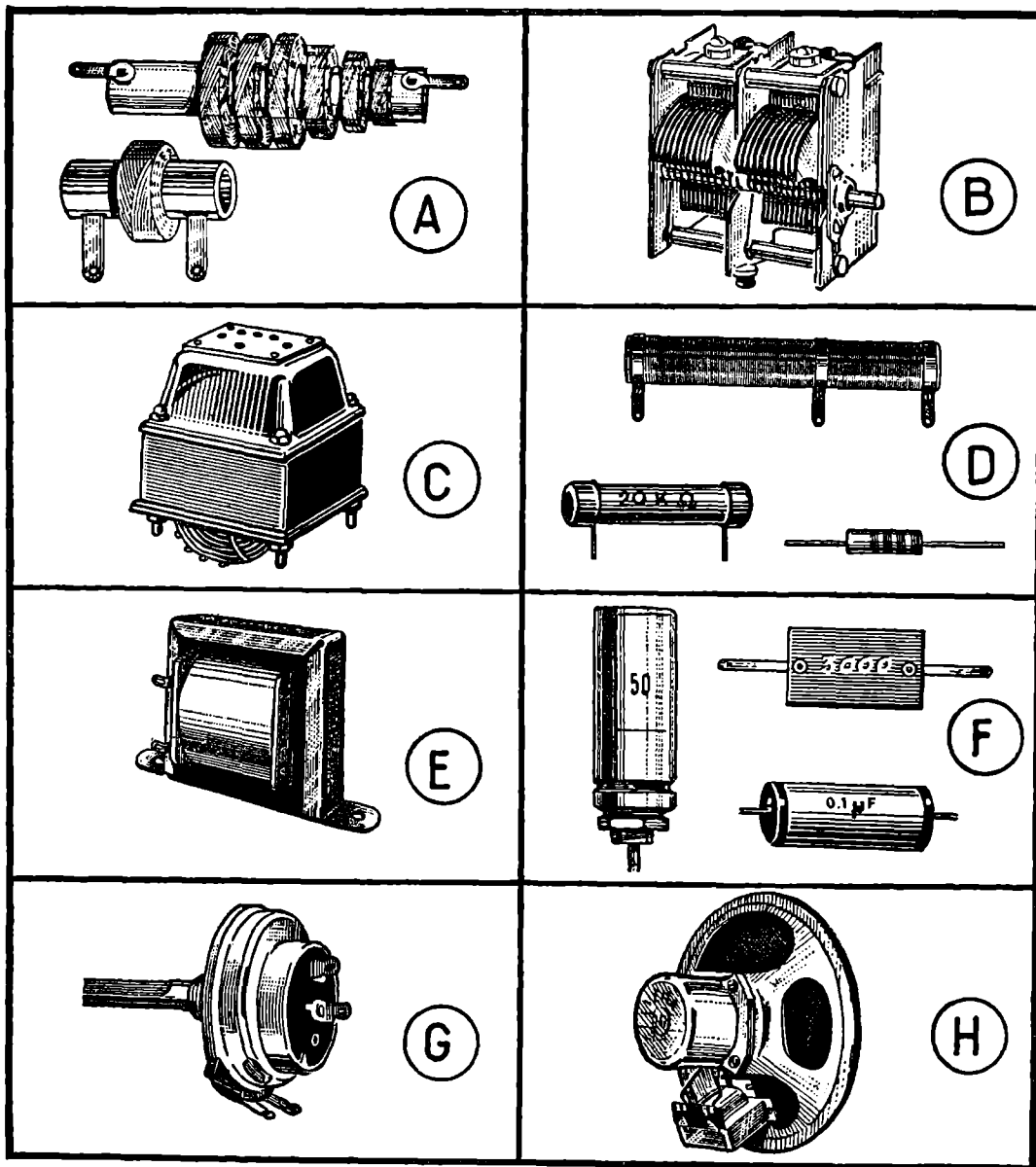
Vr. — Ik begin te vermoeden, dat dáárom de buizen als versterkers gebruikt kunnen worden.

W. — Daarin vergis je je niet!





Enige onderdelen, die in radiotoestellen worden gebruikt



A = hoogfrequentie-spoelen - B = regelbare (variabele) condensator (tweevoudige) - C = voedingstransformator - D = vaste weerstanden - E = laagfrequentie-transformator - F = vaste condensatoren - G = potentiometer of spanningsdeler - H = elektro-dynamische luidspreker.

*Wat is de „ingang” en de „uitgang” van een buis? Wat noemt men de „karakteristiek”? Hoe bepaalt men die en hoe is de vorm daarvan? Wat is het „werkpunt” en wat de „negatieve voorspanning”? Dat zijn de problemen, die Weetal aan zijn neefje uitlegt, terwijl zij de voorwaarden onderzoeken, waaronder een buis de tussen het rooster en de kathode aangelegde spanningen zonder vervorming versterkt.*

**Vraagal gedraagt zich erg slecht**



W. — Je moeder, Vraagal, heeft zich zo juist bitter beklaagd over je gedrag. Het schijnt, dat je de tafel in de eetkamer hebt bedolven onder batterijen, buizen, spoelen en allerlei andere onderdelen. Je hebt een draad aan de radiator van de centrale verwarming verbonden. Jullie dienstbode is nog niet hersteld van de smak, die zij heeft gemaakt, toen ze met haar voet achter die draad bleef haken.

Vr. — Ik geef je de verzekering, dat me dat alles tamelijk koud laat. Maar wat ik wel jammer vind, is, dat mijn ontvanger niet werkt.

W. — Heb je dan een ontvangoestel gebouwd? Maar wie heeft je dan een schema gegeven?

Vr. — Ik dacht, dat het met de kennis, die ik nu van de radiotechniek heb, niet zo moeilijk zou zijn geweest om er zelf een samen te stellen. Kijk, hier is het. Je ziet, dat er tussen de antenne en de aarde een afstemkring aanwezig is. Aan de klemmen A en B ontstaan de hoogfrequente wisselspanningen ten gevolge van de antennestroom, zoals je me hebt uitgelegd. Welnu! Die spanningen leg ik aan tussen de kathode en het rooster van een buis. De vorige keer hebben wij vastgesteld, dat kleine veranderingen van de roosterspanning grote wijzigingen in de plaatstroom veroorzaken. Zo krijgen wij dan ook in de telefoon T, die ik in de plaatkring heb ingeschakeld, veranderlijke stromen en . . . wij moeten dus muziek horen.



W. — En hoor je die?

Vr. — Helaas! Ik hoor geen enkel geluid. Misschien is de buis kapot?

W. — Het wonderlijkste van het geval is, dat je redenering volkomen juist is . . . tot op een zeker punt. Inderdaad, om de versterkingseigenschappen van de buis te gebruiken moet men de te versterken spanningen tussen het rooster en de kathode aanleggen. Die twee elektroden vormen de „ingang” van de buis. De „uitgang” bevindt zich tussen de plaat en de kathode, d.w.z. in de plaatkring, waar men de versterkte trillingen opvangt in de vorm van een veranderlijke plaatstroom. Uit dat oopunt is je schema in orde. Maar . . . om verschillende redenen zal je telefoon geen geluid laten horen: het membraan van je telefoon kan niet op de hoge frequentie van de radio-elektrische trillingen trillen.

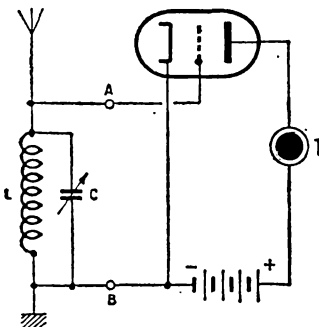
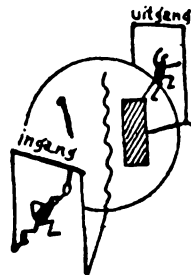


Fig. 29. De ontvanger gebouwd volgens het door Vraagal ontworpen schema. De buis is goed gemonteerd als versterker... maar de versterkte trillingen veroorzaken geen enkel geluid in de telefoon T.

## In het rijk van de kromme lijnen

Vr. — Wat moeten wij dan doen?

W. — Laat voorlopig je bouwsel maar even rusten en laten wij ons nog eens met de buis zelf bezig houden. De vorige keer hebben we zeer in het kort de verhouding behandeld, die er bestaat tussen de plaatstroom en de roosterspanning. Om haar uitvoeriger te leren kennen, zullen wij de schakeling nog eens bekijken, die wij reeds in ons vorig gesprek hebben gebruikt (fig. 30). Wij zullen nu eens zorgvuldig noteren hoe de waarde van de plaatstroom voor iedere waarde van de roosterspanning is, die hier regelbaar is tussen  $-4$  V en  $+4$  V.

Vr. — Ik zie, dat bij  $-4$  V van het rooster de stroom 0 is; het rooster is te negatief en stoot alle elektronen terug. Bij  $-3$  V hebben wij  $0,2$  mA; bij  $-2$  V,  $1$  mA; bij  $-1$  V,  $4$  mA; bij  $0$  V,  $7$  mA; bij  $+1$  V,  $10$  mA; bij  $+2$  V,  $11$  mA; bij  $+3$  V en alle spanningen daarboven blijft het  $12$  mA en neemt de plaatstroom niet meer toe.

W. — Volgens deze waarden schetsen we nu de *karakteristiek* van de buis (fig. 31).

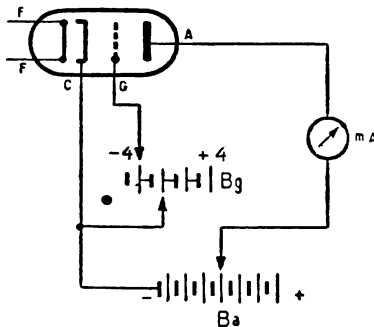


Fig. 30. Een schakeling, die het mogelijk maakt de karakteristiek van de buis op te meten.

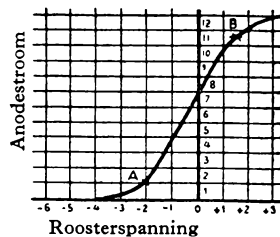


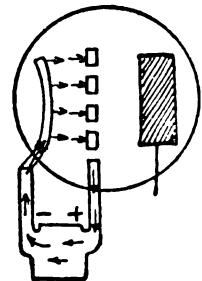
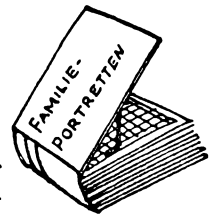
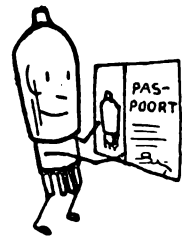
Fig. 31. De karakteristiek van een buis

Die kromme vormt als het ware het paspoort van de buis. Zij licht ons in over haar eigenschappen en staat ons toe haar zo goed mogelijk te gebruiken. Men kan bij deze kromme drie verschillende delen onderscheiden: ten eerste het deel van het linker-einde tot aan het punt A, dat heet de *onderste bocht*. Vervolgens neemt tussen A en B de stroom evenredig toe met de roosterspanning: dat is het *rechte deel* van de karakteristiek. Tenslotte, bij B te beginnen, krijgen we de *bovenste bocht*, gevolgd door een vrijwel horizontale lijn, die overeenkomt met de verzadigingsstroom: de kathode kan dan niet meer elektronen leveren. Alle door haar uitgezonden elektronen bereiken de anode.

Vr. — Zouden we dezelfde kromme hebben gekregen, als we de anode in plaats van  $80$  V een andere spanning hadden gegeven?

W. — Zeker niet! Als bv. de plaatspanning hoger is, roept de anode de elektronen krachtiger tot zich en is bijgevolg, voor dezelfde roosterspanning, de plaatstroom sterker. Men kan zo een karakteristiek tekenen voor iedere plaatspanning en op die manier verkrijgen we een hele „bundel” van karakteristieken (fig. 32).

$E_g$	$I_a$
0	0
-1	0,2
-2	1
-3	4
-4	7
0	10
+1	11
+2	12
+3	12
+4	12



Vr. — Ik zie, dat naarmate de plaatspanning hoger wordt, de karakteristiek zich meer naar links verplaatst.

W. — Men heeft er meestal belang bij hoge plaatsspanningen te gebruiken, omdat dan de karakteristiek (en vooral het rechte gedeelte) naar de linkerzijde van het nulpunt van de roosterspanning wordt verplaatst.

### Het verboden gebied

Vr. — Ik moet je bekennen, dat ik het nut daarvan niet erg inzie.

W. — Dat zal je straks wel begrijpen. Onthoud voor het ogenblik, dat men er de voorkeur aan geeft het rooster in het gebied der negatieve spanningen te houden (d.w.z. links van het nulpunt) om het ontstaan van een roosterstroom te vermijden, die zich vormt, zodra het rooster positief wordt.

Vr. — Een roosterstroom? Wat is dat nu weer . . . . ?

W. — Dat is gemakkelijk te begrijpen: als het rooster positief wordt ten opzichte van de kathode, gedraagt het zich op dezelfde manier als de plaat en trekt dus elektronen aan. Er ontstaat dan een stroom van de kathode naar het rooster, een zeer zwakke stroom weliswaar, maar deze kan onder bepaalde omstandigheden zeer nadelige gevolgen hebben.

Vr. — Kleine oorzaken, grote gevolgen, zoals mijn oom zei, toen hij over een bananeschil uitgleed en zijn been brak . . . Maar hoe kan men het rooster binnen het gebied der negatieve spanningen houden, om jouw elegante uitdrukking te gebruiken?

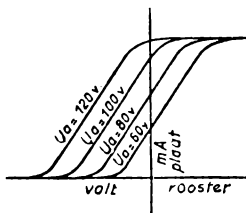
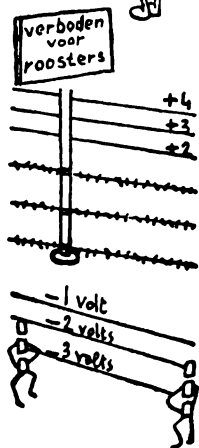


Fig. 32. Een bundel karakteristieken, waarvan elke kromme bij een bepaalde plaatspanning  $U_a$  behoort.

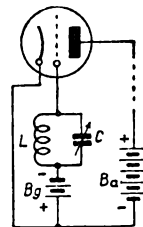


Fig. 33. Het rooster krijgt een negatieve voorspanning van de zwakke batterij  $B_g$ .

W. — In de eerste plaats, Vraagal, is het nodig, dat je volledig onderscheid weet te maken tussen de *gemiddelde spanning* van het rooster, of, zoals men zegt, de *plaats van het werkpunt* en de *ogenblikswaarden* van de spanning. De gemiddelde spanning is die, welke aan het rooster wordt gegeven, in de rusttoestand, d.w.z. bij afwezigheid van signalen, of anders gezegd, van wisselspanningen.

Vr. — Maar ik denk, dat het rooster normaal dezelfde potentiaal zal moeten hebben als de kathode, d.w.z. nul.

W. — Mis! In de meeste versterkbuizen is het rooster negatief *gepolariseerd* ten opzichte van de kathode, d.w.z. men geeft er een zekere negatieve „voorspanning” aan bv. met behulp van een batterijtje, dat geen stroom behoeft te leveren (fig. 33).

Vr. — Ja, ik begrijp het. Dat dient om het rooster binnen het gebied der negatieve spanningen te houden.

W. — Juist! Maar behalve die permanente voorspanning worden aan het rooster van een versterkbuis ook wisselspanningen gegeven. Veronderstel bv. eens, dat we behalve een voorspanning van  $-9$  V aan het rooster bovendien een wisselspanning geven van  $5$  V, hoe zullen dan de maximale ogenbliksspanningen van het rooster zijn?

Vr. — Gedurende de negatieve helft van de periode zal het rooster  $-9 - 5 = -14$  V bereiken en gedurende de positieve helft  $-9 + 5 = -4$  V.

W. — Bravo! Ik zie, dat je toch iets van algebra weet! . . . Veronderstel nu eens, dat het rooster slechts  $-3$  V negatieve voorspanning krijgt. Als we dan bovendien dezelfde wisselspanning gaven . . .

Vr. — . . . hadden we aan de ene kant  $-3 - 5 = -8$  V en aan de andere kant  $-3 + 5 = +2$  V . . . O! Ik zie, dat we in dat geval op het verboden gebied, namelijk op dat der positieve roosterspanningen zouden komen, met hun roosterstroom en deszelfs nadelige gevolgen! Bijgevolg is dan de voorspanning, die in het eerste geval voldoende was, dat nu niet meer.

### De voorwaarden voor een goede werking

W. — Je gevolgtrekkingen getuigen, dat je goed hebt nagedacht . . . Ten eerste zien wij dus, dat de aan het rooster aangelegde negatieve voorspanning op zijn minst gelijk moet zijn aan de amplitude van de wisselspanning. Maar aan de andere kant is er nog een belangrijke voorwaarde, opdat de versterking zonder vervorming kan plaats vinden: de buis moet werken in het rechte gedeelte van de karakteristiek.

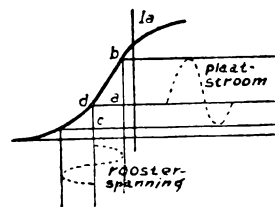


Fig. 34. Als de buis in de bocht van de karakteristiek werkt, wordt de plaatstroom vervormd.

Vr. — De reden daarvan zie ik niet in.

W. — Wel, om vervorming te vermijden, moeten de variaties van de plaatstroom absoluut evenredig zijn met de variaties van de roosterspanning. Als we nu de buis in dat rechte deel laten werken, krijgen we die evenredigheid. Maar veronderstel eens (fig. 34), dat de ogenbliksspanningen van het rooster in een krom gedeelte komen. In zo'n geval zal de positieve halve periode een versterking a-b van de plaatstroom geven, welke groter is dan die (c-d), welke door de negatieve halve periode wordt veroorzaakt.

Vr. — Ja, de dan verkregen kromme van de plaatstroom is niet even symmetrisch als die van de roosterspanning.

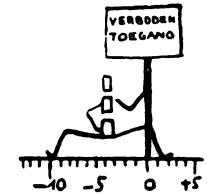
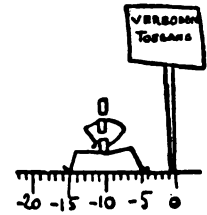
W. — En dat is een teken, dat er een ongewenste vervorming is opgewekt.

### In een neiging tot samenvatting . . .

Vr. — Kortom, als men de bundel karakteristieken heeft geschetst, die de verandering van de plaatstroom onder inwerking van de roosterspanning aangeven, weet men hoe de buis gebruikt moet worden.

W. — Ja. Ik moet daar nog bijvoegen, dat men er vaak belang bij heeft krommen te tekenen, die aangeven hoe de plaatstroom verandert onder invloed van de aan de plaat aangelegde spanning.

Vr. — Ik veronderstel, dat men zulke krommen kan bepalen door aan de rooster-spanning een vaste waarde te geven. En bovendien moet men dan een hele bundel



krommen kunnen tekenen, die ieder voor zich overeenkomen met een gegeven waarde van de roosterspanning.

W. — Je veronderstellingen zijn juist, Vraagal!

Vr. — Ik merk dus op, dat we hier steeds met drie grootheden te doen hebben:

1e. de roosterspanning  $U_g$ ;

2e. de plaatspanning  $U_a$ ;

3e. de sterkte van de plaatstroom  $I_a$  (die van de eerste twee afhankelijk is).

Men kan dus de veranderingen in die stroomsterkte onderzoeken, hetzij door de roosterspanning te veranderen (waarbij die van de plaat ongewijzigd moet blijven), hetzij door de plaatspanning te veranderen (maar dan moet de roosterspanning „vast” zijn).

W. — Je toont vandaag een prijzenswaardige neiging tot samenvatten, waarde neef!

Vr. — Ik zou zelfs nog verder kunnen gaan door te beweren, dat men op dezelfde manier de *steilheid* bepaalt (dat is de verhouding tussen de variaties van  $I_a$  en  $U_g$  bij een onveranderlijke  $U_a$ ) en de versterkingsfactor (de verhouding tussen de veranderingen van  $U_a$  en  $U_g$  bij dezelfde variatie van  $I_a$ ). Men verandert steeds twee grootheden, terwijl men de derde onberoerd laat.

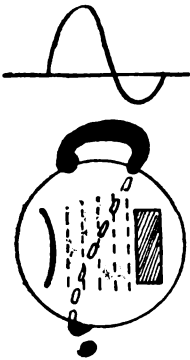
W. — Toch bestaat er nog een derde karakteristiek, waarover ik nog niet met je heb gesproken: de *inwendige weerstand* van een buis, dat is de verhouding van een geringe verandering in de plaatspanning ten opzichte van de kleine wijziging in de sterkte van de plaatstroom, die daardoor wordt veroorzaakt. . . .

Vr. — . . . . terwijl, de roosterspanning onveranderd blijft, denk ik.

W. — Natuurlijk, beste jongen. Je schijnt beslist al die dingen goed begrepen te hebben. Je kent nu dus de belangrijkste voorwaarden voor het gebruik van de radiobuis als versterker.

Vr. — Ja, maar de manier om een ontvangtoestel te bouwen, dat werkt, ken ik nog niet en ik weet nu ook nog niet, waarvoor die ontelbare roosters dienen in de moderne buizen, waarover je me verteld hebt.

W. — Er blijven ons dus nog genoeg onderwerpen voor gesprekken over!



*In dit geheel aan de uitzending gewijde gesprek legt Weetal de bouw van de heterodyne-ontvanger of buisoscillator en het proces van de muziekmodulatie uit, dat dient om de lage frequentie met de hoge samen te voegen.*

**De zonderlinge reizen van de L.F.**

Vr. — Vergeef me, dat ik daar nog eens op terugkom, maar je hebt mij beloofd uit te leggen, waarom het toestel dat ik gebouwd had, niet kon werken.

W. — Daarvoor is het nodig, dat je weet, hoe de vorm van de stroom is, die de elektromagnetische golven in je antenne induceren. En daarom ben ik verplicht je in het kort de werking van een radiozender uit te leggen.

Vr. — Ik weet al, dat er een studio is en in die studio een microfoon.

W. — Prachtig! Ik zie, dat je de zaak grondig hebt bestudeerd! Maar weet je ook, wat zo'n microfoon is?

Vr. — Wel zeker. Er zit er een aan onze telefoon. Onlangs heb ik hem eens opengemaakt en er heel kleine korreltjes kool in gevonden.

Sinds die dag werkt onze telefoon erg slecht....

W. — Je weet dus, dat een microfoon dient om geluiden op te vangen en om...

Vr. — ... ze om te zetten in een elektrische stroom.

W. — Dat is niet helemaal juist. Een microfoon bestaat uit een dun membraan, dat door het koolgruis is gescheiden van een metalen huls. De stroom van een batterij gaat van het membraan door de koolkorrels naar de huls. De sterkte van die stroom hangt vanzelfsprekend af van de weerstand van de kool. Welnu, die weerstand varieert naar gelang van de druk die door het membraan op de koolkorrels wordt uitgeoefend.

Vr. — Dat begrijp ik: als ze meer samengeperst zijn, hebben de korrels een groter contactoppervlak en gaat de stroom er gemakkelijker doorheen. Maar waardoor kan de druk van het membraan veranderen?

W. — Door de geluidgolven, die het membraan in trilling brengen. Heb je in je natuurkundelessen niet geleerd, waarde

heer, dat het geluid niets anders is dan een trilling van luchtmoleculen, die in de richting van de voortplanting van het geluid trillen in een frequentie, die naar gelang van de *toonhoogte van het geluid* oploopt van circa 16 perioden per seconde voor de laagste hoorbare toon tot circa 16 000 p/sec voor de hoogste tonen?

Sommige geleerden beweren zelfs, dat in dit opzicht bijzonder gevoelige oren geluid van 40 000 p/sec kunnen waarnemen.

Vr. — L us, als ik je goed heb begrepen, komen de geluidgolven tegen het membraan tikken en terwijl ze dat doen trillen, drukken zij de koolkorrels min of meer te zamen en veranderen zo de sterkte van de stroom, die daar doorgaat.

W. — Zo is het! Op die manier brengt de *microfoonstroom* door zijn trillingen getrouw alle trillingen van het geluid over. Overigens hebben we in de radio met de

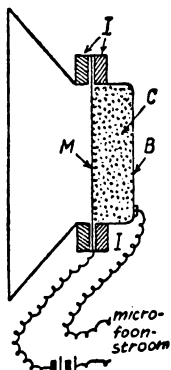
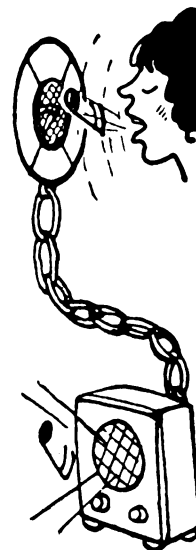
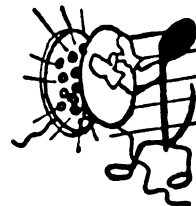
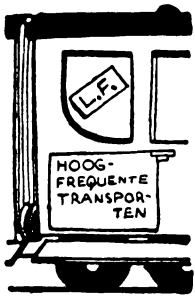


Fig. 35. Microfoon:  
M = membraan.  
I = isolator.  
C = kool. B = huls.





klank slechts te maken aan de beide einden van de overbrengingsketen, helemaal aan het begin voor de microfoon en aan het einde voor de luidspreker.

Tussen deze twee wordt het geluid vervangen door de microfoonstroom, ook *laag-frequente stroom* genoemd, gezien het feit, dat zijn frequentie zeer laag is in verhouding tot die van de stromen, welke de elektro-magnetische golven veroorzaken en die *hoogfrequente stromen* worden genoemd.

Vr. — De ene narigheid komt weer bij de andere. Voordat ik een nieuw plan bekend wil maken, komt daar al weer een nieuwe moeilijkheid roet in het eten gooien. Ik wilde je nl. juist voorstellen om de microfoonstroom regelrecht in de zendantenne te sturen, zodat hij radio-elektrische golven zou kunnen vormen . . . en nu hoor ik, dat je daarvoor hoogfrequente stromen nodig hebt.

W. — Kijk eens hier, Vraagal, de microfoonstroom kan vergeleken worden met een reiziger, die om een verre bestemming te bereiken, gebruik maakt van een trein van hoogfrequente stromen. Hij neemt daarin plaats op het station van vertrek (de zender) en verlaat hem op het station van aankomst (de ontvanger). Op die manier vervult de hoge frequentie uitsluitend de hulprol van transport- of draagmiddel voor de laagfrequente reiziger.

Vr. — Wat je me daar uitlegt, lijkt erg eenvoudig, maar in werkelijkheid zal het wel weer verduiveld ingewikkeld zijn, want ik zie helemaal niet, hoe de lage frequentie op de hoge gaat zitten, door deze laatste getransporteerd wordt en er vervolgens weer afstapt.

W. — Toch is ook dat weer heel eenvoudig. Je zult het wel begrijpen, zodra ik je de werking van de *oscillator* of *heterodyne* heb uitgelegd.



### Hoe een stroom van hoge frequentie wordt opgewekt

Vr. — In de advertenties van toestelfabrikanten heb ik gelezen, dat zij „super-heterodynes” verkopen, maar zij spreken nooit over heterodynes. Is dat soms een reclame-truc?

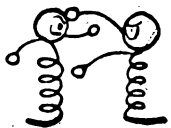
W. — Neen, wees maar gerust. De superheterodyne is een ontvangtoestel, waarover ik je later nog wel een en ander zal vertellen. Daarentegen is de heterodyne een werktuig, dat dient voor de opwekking van hoog- of laagfrequente wisselstromen. Als de heterodyne sterke stromen van hoge frequentie voortbrengt en als die stromen in een antenne worden gebracht, hebben we een radiozender. Als daarenboven een microfoonstroom met de hoogfrequente stroom wordt gecombineerd, of zoals men zegt, daarop *moduleert*, dan hebben we een radiotelefonie-zender.

Vr. — Maar ik zou wel willen weten, hoe zo'n heterodyne er uit ziet. Is het een soort van grote wisselstroomdynamo, zoals die, welke men in de elektrische centrales ziet?

W. — Wel neen, vriendje! Evenals een goede kok duizend manieren kent om eieren toe te bereiden, weten de radiotechnici de radiobuis op duizenden verschillende manieren te gebruiken. Hier heb je een zeer eenvoudig schema voor een heterodyne (fig. 36, 1). Wat zie je daar nu in?

Vr. — Ik zie een trillingskring LC, die tussen het rooster en de kathode is geschakeld. Bovendien is er een spoel  $L'$  in de plaatkring geschakeld. Tenslotte maakt de batterij Bg het rooster negatief ten opzichte van de kathode.

W. — Let er nu ook nog op, dat de spoelen L en  $L'$  zo zijn geplaatst, dat er een inductieve koppeling tussen bestaat. De wikkelingen gaan bovendien in dezelfde richting, d.w.z. dat, als de stroom L van de kathode naar het rooster gaat, hij in





dezelfde richting draait als wanneer hij in  $L'$  van de anode naar de positieve pool van de hoogspanningsbatterij  $B_a$  gaat.

Vr. — Dat is allemaal erg duidelijk op je tekening te zien, maar wat is nu het doel van dat alles?

W. — Beschouw nu het ogenblik van het in werking stellen van deze inrichting eens. Wat zal er gebeuren?

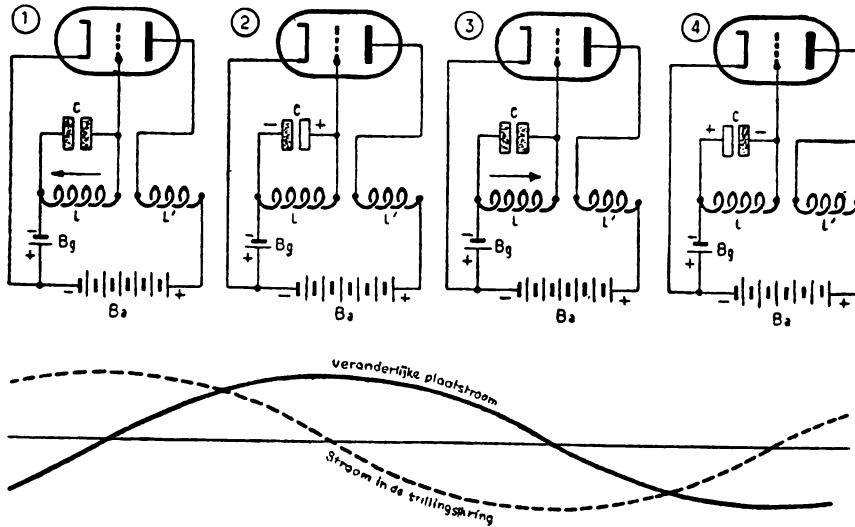


Fig. 36. Vier opeenvolgende fasen van de trilling van de stroom in de heterodyne. Daaronder de krommen, die de verandering weergeven van de stroom in de plaatspoel  $L'$  en in de roosterspoel  $L$ . Let op de verdeling van de elektronen over de platen van condensator  $C$ .

Vr. — Niets bijzonders! . . . . De door de kathode uitgezonden elektronen worden door de plaat aangetrokken dwars door het rooster heen; vervolgens gaan zij van links naar rechts door de spoel  $L'$  en keren door de batterij  $B_a$  heen naar de kathode terug. Meer zie ik niet.

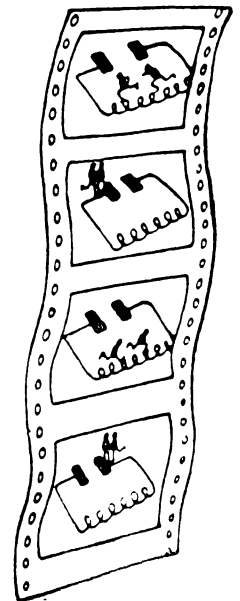
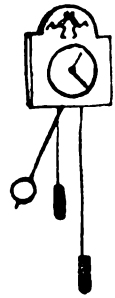
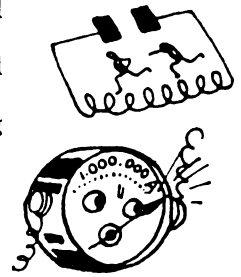
W. — Maar in werkelijkheid gebeurt er toch nog iets meer, want vergeet niet, dat de spoelen  $L$  en  $L'$  inductief zijn gekoppeld.

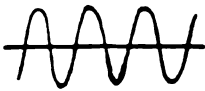
Vr. — Dat is waar! . . . . Dus op het moment, waarop in de spoel  $L'$  een stroom begint te lopen, die van links naar rechts gaat, zal hij in de spoel  $L$  een tegengestelde stroom induceren, krachtens de zucht tot tegenwerken van de inductie.

W. — Volkomen juist. Omdat de stroom in  $L'$  toeneemt, zal de in  $L$  geïnduceerde stroom de tegengestelde richting hebben, om zich op die manier te verzetten tegen de toeneming van de inducerende stroom.

Vr. — Nu, die stroom, die in  $L$  van rechts naar links gaat, zal elektronen meeslepen van het rooster en van de rechterplaat van de condensator  $C$  en hen opstapelen op de kathode en op de linkerplaat (fig. 36, 2).

W. — Je ziet dus, dat het rooster meer positief zal worden.





Vr. — Maar dan zal het een nieuwe vergroting van de plaatstroom veroorzaken, deze zal in L een nog sterkere stroom induceren, waardoor het rooster nog meer positief wordt en . . . .

W. — Stop! . . . . Als je zo doorgaat, spreek je dadelijk over miljoenen ampères. Vergeet echter niet, dat de plaatstroom niet oneindig kan aangroeien.

Vr. — O ja, hij wordt beperkt door de waarde van de verzadigingsstroom. Als dus het rooster positief genoeg is om de plaatstroom zijn verzadigingspunt te laten bereiken, zal die niet meer toenemen. En daar hij niet meer verandert, zal er geen enkele stroom meer aanwezig zijn in spoel L.

W. — Totaal mis! Zeker, er is geen door L' geïnduceerde stroom meer, maar zie je niet, dat op dat ogenblik de condensator C geladen is?

Vr. — Inderdaad! Die begint zich dus te ontladen en maakt zo het rooster meer negatief. Maar, mij dunkt, dat in dat geval de plaatstroom begint te verminderen.

W. — Natuurlijk! En die nieuwe verandering van de stroom in L' zal in L een nieuwe stroom induceren; maar in welke richting zal die nu gaan?

Vr. — Ongetwijfeld van links naar rechts. Ten eerste, omdat je het mij op die tron vraagt . . . en ten tweede, omdat, daar de stroom in L' aan het afnemen is de stroom in L met zijn lust tot tegenwerken in dezelfde richting zal gaan, d.w.z. van links naar rechts, ten einde zich tegen die vermindering te kunnen verzetten.

W. — Dat is nog eens slim geredeneerd! En zodoende zal het, als de condensator C weer ontladen wordt, niet daarbij blijven (fig. 36, 3). De stroom in L' zal voortgaan in L een stroom te induceren, die, het rooster hoe langer hoe meer negatief makend, tenslotte de plaatstroom zal doen verdwijnen.

**. . . . en dan begint alles weer van voren af aan . . . .!**

Vr. — Maar, zoals ik zie, zal op dat ogenblik de condensator C weer opgeladen zijn (fig. 36, 4). Hij begint zich dus weer te ontladen, het rooster wordt weer minder negatief. Er ontstaat dus opnieuw een plaatstroom, die toeneemt en . . . .

W. — . . . . zo begint het spel weer van voren af aan! Want zie je dan niet, dat we nu weer op het uitgangspunt van onze redenering zijn teruggekeerd?

Vr. — Dat is waar. Maar het is toch heus erg ingewikkeld!

W. — Niet zo erg! Bekijk nu eens de stromen in de roosterkring LC en in de plaatkring. Je ziet dan, dat in de roosterkring de stroom in één richting gaat, afneemt, van richting verandert, toeneemt en afneemt, opnieuw van richting verandert enz.

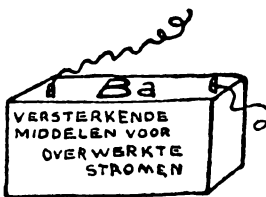
Vr. — Dat is dus een wisselstroom.

W. — Zo is het inderdaad! En van welke frequentie?

Vr. — Zeker van de eigen frequentie van de trillingskring LC. Want we hebben hier in het kort een afwisselende lading en ontlading van de condensator C dwars door de zelfinductiespoel L, zoals je me dat vroeger al eens hebt uitgelegd.

W. — In orde. Alleen in plaats van telkens zwakker te worden en na enkele trillingen tenslotte op te houden, wordt de wisselstroom in stand gehouden door de voortdurende levering van nieuwe energie, waarvoor de plaatbatterij Ba zorgt door de inductie van L' op L.

Vr. — Ik geloof wel, dat ik het nu begrepen heb. In het kort: de elektronenbeweging in de trillingskring is, zoals we al eens hebben gezegd, te vergelijken met de beweging van een slinger. En evenals de slinger na een zeker aantal bewegingen zou stilhouden, als er niets gebeurde om die beweging te handhaven, zouden ook de



elektronen in de trillingskring ophouden afwisselend van de ene plaat van de condensator naar de andere te gaan dwars door de zelfinductiespoel. Om de slingerbeweging te onderhouden is in een uurwerk de gespannen veer nodig, die bij iedere slingering een duwtje aan de slinger geeft. In de heterodyne is het de plaatbatterij Ba, die als het ware de rol van de veer vervult.

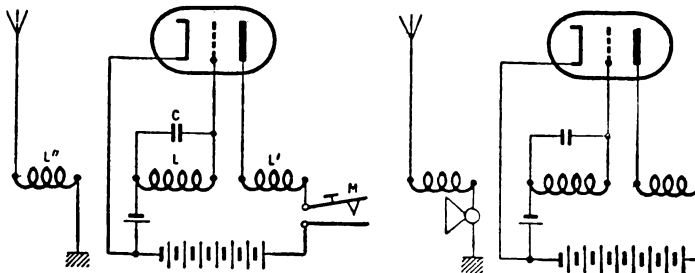
W. — En wie speelt de rol van het tandrad?

Vr. — Het rooster!

W. — Vraagal, ik moet je feliciteren. Ik voorspel je een schitterende carrière in de radiotechniek.

Vr. — Dank je wel! Maar kun je mij nu ook, nu ik weet, hoe de heterodyne de doorlopende hoogfrequente stromen voortbrengt, uitleggen, hoe de uitzending geschiedt?

Fig. 37. Links: een radiotelegrafiezender  $M =$  seinsleutel. Rechts: een radiotelefoniezender. De microfoon is aangesloten op de antennekring.



W. — Dat is erg eenvoudig. Het gaat er slechts om de wisselstroom aan de antenne door te geven. We doen dat door inductie: we koppelen aan de spoel L een spoel  $L''$ , die ingeschakeld is tussen de antenne draad en de aardleiding (fig. 37). Door in de plaatkring een stroomonderbreker — seïn- of morsesleutel genaamd — te plaatsen, kunnen wij korte of lange tekens uitzenden, die overeenkomen met de „punten” en „strepen” van het morse-alfabet. Op die manier verkrijgen we radio-telegrafie.

Vr. — Maar ik interesseer me alleen voor de radio-telefonie. En je hebt me beloofd te zullen uitleggen, hoe men de laagfrequente reiziger in de hoogfrequente stroom brengt.

W. — Je hebt gelijk. Welnu, dat is gemakkelijk te doen. We zouden bv. de microfoon in de antennekring kunnen plaatsen. Als de weerstand van de microfoon verandert onder de inwerking van de geluidsgolven, zal op zijn beurt de antennestroom in sterkte veranderen. Of anders gezegd: in plaats van een serie ongedempte trillingen met gelijke amplitude (fig. 38, a) krijgen we een serie trillingen met veranderlijke amplitude (fig. 38, c). Dat is een gemoduleerde stroom van hoge frequentie.

Vr. — Nu begrijp ik het wel. Als de weerstand van de microfoon afneemt, worden de amplituden groter. En het zijn die veranderingen in de amplitude, welke de stroomvariaties in de muziekfrequentie vertegenwoordigen.

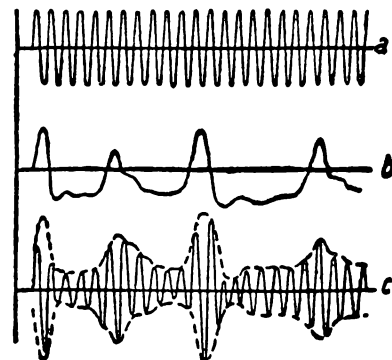
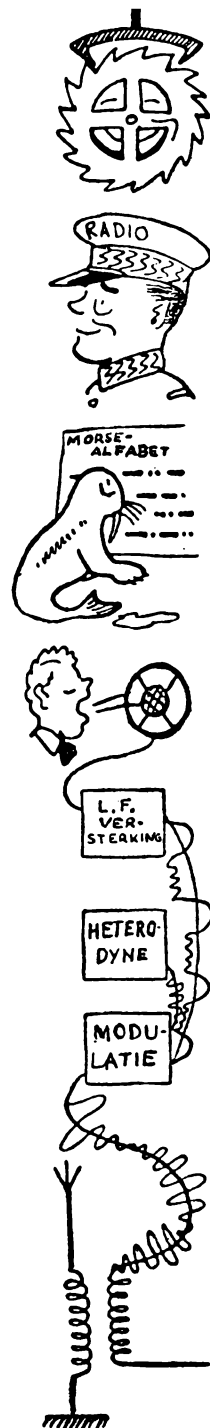


Fig. 38. a. Ongemoduleerde hoogfrequente stroom. b. Laagfrequente modulatie van de microfoon. c. De gemoduleerde hoogfrequente stroom.



*Een tot op het eenvoudigst teruggebracht ontvangtoestel moet drie dingen omvatten: een golf-ontvanger (de antenne), een detector en een telefoon. In dit gesprek beginnen de twee vrienden de rol en de samenstelling van de detector te onderzoeken. Zij beginnen natuurlijk met de eenvoudigste methode: de detectie door middel van een diode. De loodglans- of kristaldetector, die nog altijd vele aanhangers telt, wordt niet vergeten. Tenslotte legt Weetal de „plaatdetectie” uit.*

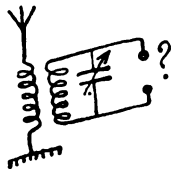
### De aankomst van de trein op het station



Vr. — Ik neem het je erg kwalijk, beste Weetal, dat je mij bij je onderzoeken hebt laten weggaan juist op het moment, dat het spannend werd. Nadat wij de laatste keer de „laagfrequente passagier” naar de „hoogfrequente trein” hadden gebracht, hebben we het vertreksein gegeven en . . . zo rijdt onze trein met de gemoduleerde hoge frequentie nog steeds verder.

W. — Dan wordt het werkelijk tijd hem te laten stoppen. Je weet trouwens al, dat de golven op het station van aankomst als het ware vanzelf stilhouden. Dat is dus in de *ontvangantenne*. In die antenne geven de golven aanleiding tot een gemoduleerde hoogfrequente stroom, die een getrouwe nabootsing is — hoewel veel zwakker — van de stroom, die door de zendantenne liep.

Vr. — Ik herinner mij zelfs, dat we, om een zekere selectiviteit te krijgen, in de ontvangantenne een trillingskring plaatsten (of met de antenne koppelden). Aan de klemmen van die kring ontstaan dan wisselspanningen. Ik wilde die spanningen doorgeven aan een telefoon, maar jij zegt, dat ik dan niets zal horen. En, inderdaad, ik heb ook niets gehoord.



W. — Daar waren ten minste drie redenen voor, die ieder voor zich al voldoende waren. Ik neem aan, dat je niet de verleiding hebt kunnen weerstaan de hoorn van je telefoontoestel te demonteren, nadat je vroeger al eens de microfoon daarvan om zeep had gebracht?

Vr. — Dat spreekt vanzelf. Ik heb gezien, dat er een elektromagneet in zit, die geplaatst is achter een membraan, gemaakt van een elastisch stalen plaatje.

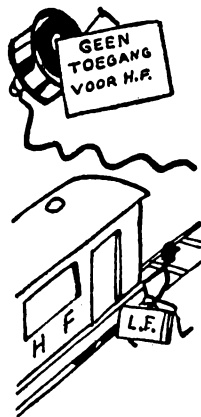
W. — Heel goed! En je raadt wel, dat de stromen, die door de wikkelingen van de elektromagneet vloeien en daardoor de aantrekkingskracht, die hij op het membraan uitoefent, variëren, dat membraan laten trillen, zodat het geluidsgolven opwekt.

Vr. — Dat vind ik allemaal nogal duidelijk.

W. — Daardoor zul je gemakkelijk de reden van je mislukking kunnen begrijpen. Vergeet niet, dat je aan de telefoon spanningen van een gemoduleerde hoge frequentie wilde geven. Nu, het membraan van de telefoon is te traag om te trillen met een even hoge frequentie als die, welke wij aanduiden als „hoge frequentie”, de traagheid van het membraan verzet zich daar absoluut tegen.

Vr. — Maar als men een membraan zou kunnen fabriceren, dat zo licht en zo dun was, dat het op de hoge frequentie kon trillen . . . ?

W. — . . . Ook dan zou je nog niets horen. Want je oor vergunt je niet om geluiden van een dermate hoge frequentie waar te nemen. En daarbij, een stroom met een dergelijke frequentie kan niet door de spoelen van de telefoon heen komen. De zelfinductie daarvan biedt hem een vrijwel onoverkomelijke hindernis.



Vr. — Maar eigenlijk interesseert die hoogfrequente stroom ons minder. Het gaat om de laagfrequente modulatie; die willen wij hoorbaar maken. Wat de hoge frequentie aangaat, haar rol als vervoermiddel is al uit. Ons rest slechts de laagfrequente passagier te laten uitstappen.

W. — Je hebt volkomen gelijk. En die operatie, welke ten doel heeft de lage frequentie uit de gemoduleerde hoogfrequente stroom te voorschijn te halen (op te sporen), draagt de naam van *detectie*.

Vr. — Als ik het goed begrijp, is detectie het tegengestelde van modulatie, waarbij wij de lage frequentie *in* de hoge brengen.

W. — Zo is het! In de gemoduleerde stroom wordt de lage frequentie uitgedrukt door de verandering der amplituden van de hoogfrequente stroom. Door deze laatste weer gelijk te richten laten wij de lage frequentie weer te voorschijn komen.

Vr. — Ik zie nog niet erg goed hoe dat gebeurt.

W. — Dat gaat zeer eenvoudig. Om de stroom gelijk te richten is het voldoende op zijn weg een geleider te plaatsen, die slechts in één richting stroom doorlaat, d.w.z. die de stroom gemakkelijk in de ene richting laat gaan, maar hem verhindert terug te keren.

Vr. — Ik begrijp absoluut niet, hoe je een dergelijke geleider-gelijkrichter kunt maken.

W. — Je kent er al een: de *diode*, waarin de elektronen wel van de kathode naar de anode kunnen, maar niet terug.

Vr. — Dat is waar . . . . Daar dacht ik niet meer aan.

### En zie hier nu, hoe men gelijkricht:

W. — Welnu, in plaats van aan de klemmen van de trillingskring alleen de telefoon te verbinden, zullen we daarmee in serie een diode plaatsen (fig. 39). In dat geval veroorzaken de gemoduleerde hoogfrequente spanningen (fig. 41, A) dwars door de diode en de telefoon een stroom in één richting (fig. 41, B). Zonder diode zouden wij hoogfrequente stoten gehad hebben, die afwisselend in beide richtingen gingen. Dank zij de gelijkrichtende werking van de diode worden slechts die stoten doorgelaten, die in dezelfde richting werken.

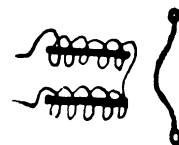
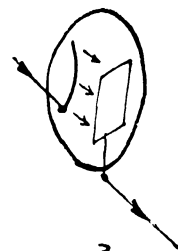
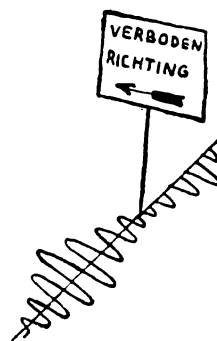
Vr. — Eureka! Ik heb het gevonden! . . . . Omdat ze in dezelfde richting gaan, oefenen ze op het membraan van de telefoon invloeden uit, die bij elkaar geteld, dat membraan min of meer zullen aantrekken. Ik zeg „min of meer”, omdat de amplituden van die stoten niet gelijk zijn: zij variëren en juist in die variatie ligt de lage muziek- of toonfrequentie, die volgens dat ritme het membraan van de telefoon in trilling brengt.

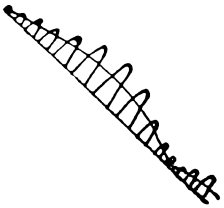
### Het reservoir: accumulator-elektronenverdeler

W. — Je hebt de loop van het verschijnsel in grote lijnen begrepen. Maar in onze redeneringen hebben we geen rekening gehouden met het feit, dat de stoten, die zelf wel één richting hebben, maar hoogfrequent zijn (fig. 41 B), niet door de spoelen van de telefoon kunnen, namelijk ten gevolge van de zelfinductie dezer spoelen.

Vr. — Wat . . . ! Horen we nu nóg niets?

W. — Jawel, maar op voorwaarde, dat we die stoten optellen, voordat wij ze aan de telefoon doorgeven. Daartoe verbinden wij aan de klemmen van de telefoon een condensator met kleine capaciteit  $C$  (fig. 39), die door de stoten min of meer met





elektronen wordt opgeladen. In de tussenpozen tussen de korte hoogfrequente stroomstootjes ontlaaft die condensator zich gedeeltelijk door de telefoon heen. De lading is groter of kleiner al naar gelang de amplitude van de stootjes. De periodieke stroomstootjes zullen naast de ontladingsstroompjes door de telefoon gaan (fig. 41, C) en het resultaat is een laagfrequente variërende stroom.

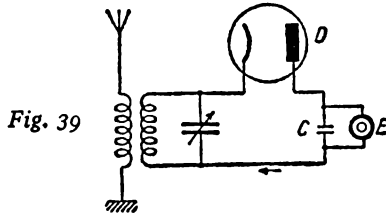


Fig. 39

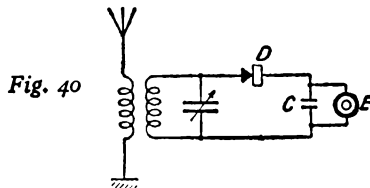
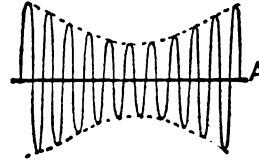


Fig. 40



Fig. 41



Fig. 39. De diode D maakt het mogelijk de trillingen gelijk te richten, die daarna hoorbaar worden in de telefoon E.

Fig. 40. De kristaldetector D kan voor detectie van zwakke stromen zorgen.

Fig. 41. A: Gemoduleerde hoogfrequente trilling. B: Dezelfde trilling, maar nu gelijkgericht. C: Een laagfrequent variërende stroom.



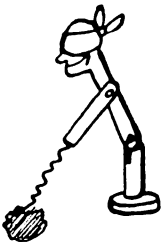
Vr. — De condensator C speelt dus de rol van een reservoir, waarin de ladingen, die elkaar zeer snel opvolgen, zich opstapelen en dat ze vervolgens telkens weer aflevert.

W. — Je voorstelling is uitstekend. Als we de vergelijking nog verder doorvoeren, kun je de condensator C vergelijken met een regenton, waaruit door de kraan een dikkere of dunnere straal water loopt al naar gelang van de hevigheid van de regenbui.

### Nu heeft Vraagal de detectie begrepen

Vr. — Ik zal nu proberen alles, wat je me over de detectie hebt verteld, samen te vatten. De gemoduleerde hoogfrequente spanningen worden door de diode gelijkgericht. Wij krijgen dan een opeenvolging van hoogfrequente stoten in een en dezelfde richting en met een ongelijke amplitude. Die stoten laden telkens de condensator C min of meer op, welke condensator aan de telefoon dan een laagfrequente stroom afstaat . . . en dan horen wij eindelijk muziek . . . Ach, had ik maar een diode gehad, dan had dat niet zo lang geduurd!

W. — Dat is niet bepaald nodig! . . . De diode is alleen onmisbaar als het gaat om het gelijkrichten van betrekkelijk hoge spanningen, maar voor lage spanningen is een kristal- of andere contactdetector voldoende (fig. 40).



Vr. — Je wilt het waarschijnlijk hebben over de ouderwetse loodglansdetector, die bestaat uit een kristal van loodglans en een metalen punt, die met lichte druk op de oppervlakte van het kristal drukt?

W. — Dat is niet noodzakelijk. Een contactdetector kan op heel wat manieren samengesteld worden. Zodra we twee geleiders in contact brengen, die op enigerlei wijze van elkaar verschillen (verschil in chemische samenstelling of van vorm of temperatuur) is de geleidendheid niet meer in beide richtingen dezelfde. En daar er praktisch geen twee volkomen gelijke stoffen bestaan, kan men zeggen, dat feitelijk bij alle contacten gelijkrichting optreedt! Maar, sommige contacten bezitten die gelijkrichtende eigenschappen in veel sterkere mate dan andere. Het is inderdaad waar, dat het contact tussen loodglans en een metaal een uitstekende gelijkrichter (detector) vormt, die alleen het gebrek heeft slechts een zeer zwakke stroom door te laten en onstabiel van werking te zijn.

Vr. — O ja, dat weet ik! Maar het is wel een interessant spelletje om het „gevoelige punt” van het kristal op te zoeken.

W. — Er bestaan echter contactdetectoren, die deze fouten niet hebben, zoals het contact tussen koper en koperoxyde of dat van germanium of silicium en een stalen punt. Deze laatste zijn vooral geschikt voor de gelijkrichting van stromen met een zeer hoge frequentie, zoals bv. die, welke voor de radar worden gebruikt.

Vr. — Wat je er ook voor gebruikt, ik merk wel, dat zo'n detector altijd een gelijkrichter is.

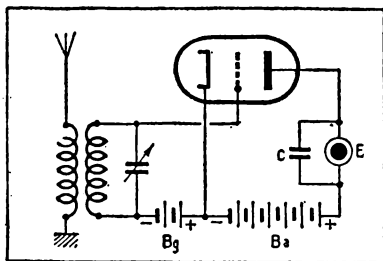


Fig. 42. Schema van de detectie in de bocht van de plaatkarakteristiek.

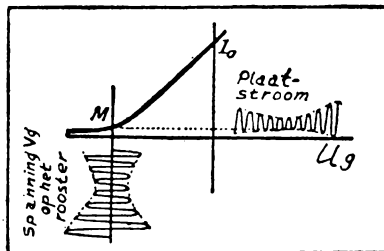
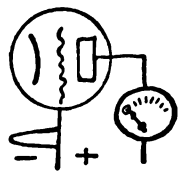
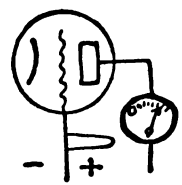
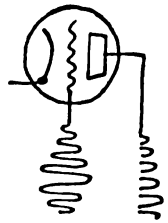


Fig. 43. In het werkpunt M veroorzaken de roosterwisselspanningen een gelijkgerichte stroom in de plaat.

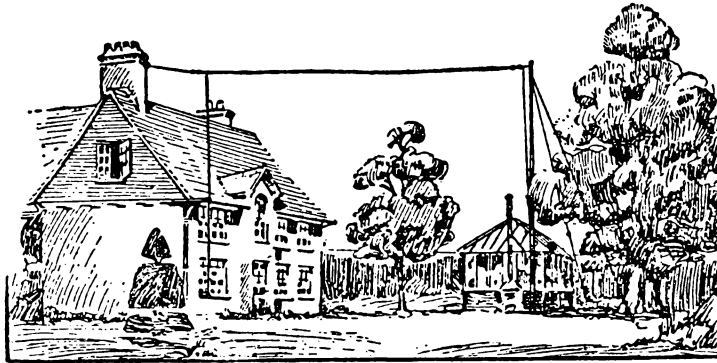


W. — Ja! Toch kan men voor die gelijkrichting ook op een minder directe wijze te werk gaan, dan die, welke wij tot nu toe hebben bestudeerd. Daarvoor gebruikt men dan een versterkbuis, waarvan het rooster van een batterij Bg (fig. 42) een zo hoge negatieve spanning krijgt, dat de plaatstroom bijna nul is. (Dat is het punt M in de onderste bocht van de karakteristiek in fig. 43.) Men legt de gemoduleerde hoogfrequente spanningen tussen het rooster en de kathode aan. De positieve halve perioden geven aanleiding tot het ontstaan van een min of meer sterke plaatstroom. De negatieve halve perioden daarentegen, die het rooster nog meer negatief maken dan het al was, veroorzaken praktisch in het geheel geen stroom in de plaatkring.

Vr. — Nu begrijp ik al, wat er gebeurt. In de plaatkring ontstaat een aantal stroomstoten in één richting, die elkaar met de hoge frequentie opvolgen en waarvan de

sterkte varieert. Door de kleine condensator C is het mogelijk ze op te tellen en terwijl deze zich door de telefoon ontlad, voedt hij die met een stroom van lage frequentie, precies als bij de diodedetectie het geval was.

W. — Je hebt ook deze soort van detectie goed gesnapt! De in fig. 42 voorgestelde detectie is de *detectie in de onderste bocht van de plaatkarakteristiek*. Je vrienden zullen waarschijnlijk praten over „roosterdetectie”. Maar luister daar niet naar. Dat is een uitdrukking, die alleen dient om de onwetendheid van sommige „technici”, die niets van de techniek begrijpen, te camoufleren. Op die zogenaamde detectie komen we spoedig terug.





*Deze keer is het lange onderhoud van onze beide vrienden geheel gewijd aan de versterking. Na de noodzakelijkheid hiervan uiteengezet te hebben, zowel voor de hoogfrequentie als voor de laagfrequentie stromen, geeft Weetal een overzicht van het principe der transformator koppeling. Als bijkomstigheid neemt hij de verschillende „voedingsvraagstukken” onderhanden, terwijl hij in het bijzonder de polarisatiemethode uitlegt, zoals die in het algemeen wordt toegepast in de ontvangers, die gevoed worden door de stroom van het lichtnet.*

### De vermoeyenissen van de reis

Vr. — Dank zij ons laatste gesprek, beste Weetal, weet ik nu eindelijk hoe men bij de detectie te werk gaat, d.w.z. hoe de laagfrequentie reiziger uit de hoogfrequentie trein stapt, die hem naar de ontvanger heeft gebracht. Nu hunker ik er naar om met het maken van een toestel te beginnen, al is het dan maar een zeer eenvoudig, want het zal uitsluitend bestaan uit een afstemkring, een diodedetector en een luidspreker.

W. — Werkelijk, Vraagal, je zit altijd vol onuitvoerbare ideeën! Je luidspreker zal zo stom als een vis blijven. Vergeet niet, dat je reiziger na een reis gemaakt te hebben met een snelheid van 300 000 km/sec erg vermoeid en verzwakt in de ontvang-antenne zal aankomen.

Vr. — Daar is reden voor!

W. — De stroom zal dus te zwak zijn om het membraan van je luidspreker te doen trillen. Hij moet na de detectie weer wat bijkomen en versterkt worden, voordat je hem aan de luidspreker doorgeeft. Daar ligt dus de rol van een laagfrequentieversterking, die ten doel heeft de amplitude van de muziekstroom op te voeren. Maar, als de reiziger van héél ver komt, zal hij zo uitgeput zijn, dat hij zelfs niet voldoende kracht meer heeft om uit de trein te stappen. Anders gezegd, de stroom, die de golven in de antenne opwekken, zal zo zwak zijn, dat het zelfs niet mogelijk is hem gelijk te richten.

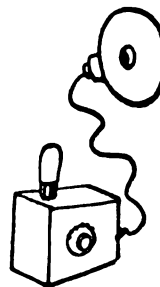
Vr. — Ik denk, dat het dan beter zou zijn de reiziger te versterken, vóórdat hij uitstapt.

W. — Dat doet men dan ook. Alvorens hem gelijk te richten, versterkt men de hoogfrequentie stroom, ten einde die goed te kunnen „gelijkrichten”. Dank zij die hoogfrequentieversterking slaagt men erin zelfs de zwakste seinen gelijk te richten. Die versterking draagt dus bij tot het verhogen van de gevoeligheid van de ontvanger en bijgevolg van de reikwijdte van de ontvangst.

### Vraagal formuleert het vraagstuk

Vr. — Kortom, in een behoorlijk toestel moet zowel vóór als ná de detectie versterking worden toegepast (fig. 44). Maar wat de versterking aangaat, daarvan hebben wij, geloof ik, alles al geleerd?

W. — Dat is weer een grote fout, vriend! Je weet heel precies, waaruit de rol van de radiobuis als versterker bestaat. Ik heb je inderdaad uitgelegd, hoe de minste veranderingen van de aan de ingangszijde, d.w.z. tussen rooster en kathode, gegeven spanningen betrekkelijk grote veranderingen in de plaatstroom veroorzaken. Maar je



weet absoluut niet, hoe de koppelkringen zijn samengesteld, die het mogelijk maken twee op elkaar volgende versterkbuizen te verbinden.

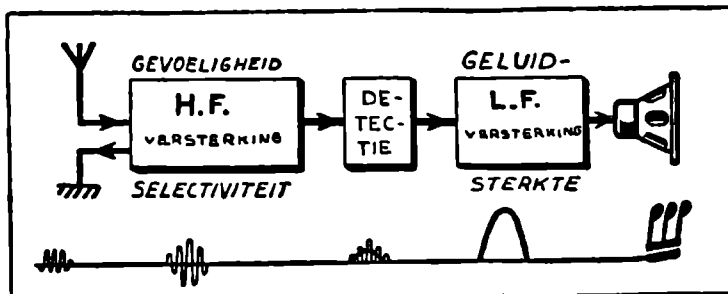
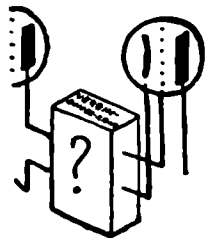
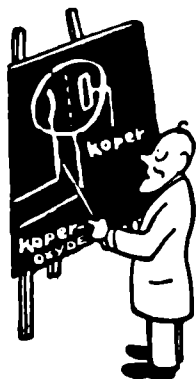


Fig. 44. Het meest „schematische” schema van een ontvangtoestel.



Vr. — Mijn wiskundeleraar heeft altijd beweerd, dat een duidelijk geformuleerd vraagstuk reeds half is opgelost. Ik ga dus proberen duidelijk het probleem uiteen te zetten, dat jij wilt gaan stellen. In de buis (fig. 45) hebben we een „ingangszijde”, dat is het rooster met de kathode. Tussen die twee elektroden leggen we een wisselspanning aan van hoge of lage frequentie. Aan de andere kant hebben we een „uitgang”, dat is de plaatkring, waar wij tussen de anode en de positieve pool van de hoogspanningsbron de veranderlijke stroom kunnen gebruiken. Maar wij willen geen veranderlijke stroom hebben om op de volgende buis te laten werken, maar een veranderlijke spanning, die wij tussen het rooster en de kathode van die buis moeten brengen.

W. — Je bent op de rechte weg van de logica: de conclusie treedt al naar voren: de veranderlijke plaatstroom moet omgevormd worden tot een veranderlijke spanning.

Vr. — Dat is gemakkelijk genoeg gezegd, maar ik zie niet in, door welk hulpmiddel je dat doen wilt.

W. — Die omvorming kan geschieden met behulp van een . . . transformator!

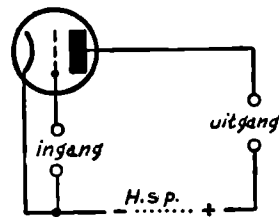
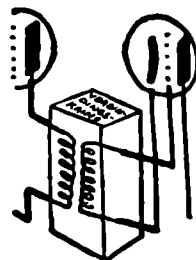
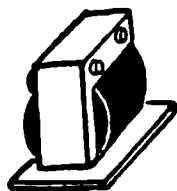


Fig. 45. De vier belangrijkste punten in de buis: de ingang tussen het rooster en de kathode; de uitgang tussen de anode en de +pool van de hoogspanning.

### Een oude kennis

Vr. — Wat is dat eigenlijk voor een instrument?

W. — De transformator is een oude bekende van je, van wie je echter de naam niet wist. Zo noemt men nl. twee door inductie gekoppelde spoelen. Nu, je weet, dat als door de eerste spoel een veranderlijke stroom loopt, in de andere spoel een stroom van dezelfde vorm wordt geïnduceerd. Als die tweede spoel „open” is (d.w.z. door geen enkele weerstand is gesloten), zal er geen inductiestroom in lopen, maar alleen een inductiespanning ontstaan. Als dus door de eerste spoel (de *primaire* wikkeling genaamd) een wisselstroom loopt, zullen in de tweede spoel (de *secundaire*



wikkeling) de elektronen zich voortdurend verplaatsen in het ritme van de inducerende stroom en zo overeenkomstige wisselspanningen veroorzaken tussen de uiteinden van die wikkeling (fig. 46).

Vr. — O, nu zie ik de oplossing: je schakelt doodeenvoudig in de plaatkring van de eerste buis de primaire wikkeling van een transformator en je koppelt de secundaire

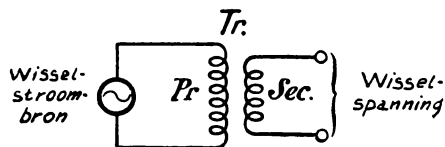


Fig. 46. De wisselstroom, die door de primaire wikkeling  $Pr$  loopt, induceert een wisselspanning tussen de klemmen van de secundaire wikkeling  $Sec.$

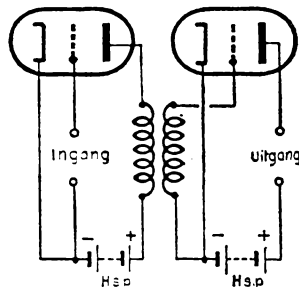
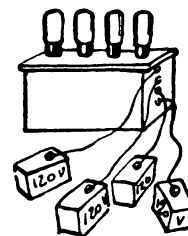


Fig. 47. Transformator-koppeling tussen twee versterkbuisen.



tussen het rooster en de kathode van de tweede buis (fig. 47). Dan zal door de primaire de veranderlijke stroom van de plaatkring van de eerste buis gaan. Deze induceert wisselspanningen tussen de einden van de secundaire en die spanningen komen dan te liggen tussen het rooster en de kathode van de tweede buis . . . zoals de bedoeling is.

W. — Roep niet te vroeg „hei”, waarde vriend! Voorlopig heeft ons schema nog een ernstig bezwaar: je ziet, dat iedere buis om te kunnen werken een speciale hoogspanningsstroombron nodig heeft voor het leveren van de plaatstroom. Welnu, die bron is tamelijk duur, hetzij dat het een batterij is of een ander voedingstoestel („plaatstroomapparaat” zoals we vroeger zeiden), dat op het lichtnet is aangesloten. En als we, bij het voortzetten van de versterking, achter de tweede buis nog een derde willen schakelen en zo verder, zullen we weldra evenveel hoogspanningsstroombronnen als buizen nodig hebben en dat zal vrij bezwaarlijk blijken te zijn.

### Het voedingsvraagstuk!

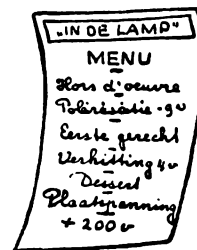
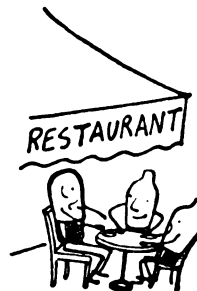
Vr. — Kan men nu niet voor alle buizen één gemeenschappelijke bron gebruiken?

W. — In de praktijk doet men dat ook. Kijk eens hier (fig. 48): Drie versterkbuisen worden door dezelfde hoogspanningsstroombron gevoed. Hun kathoden zijn met de negatieve pool verbonden en de plaatkringen aan de positieve pool.

Vr. — Dat lijkt mij zeer verstandig. In plaats van voor iedere buis afzonderlijk eten klaar te maken, voedt men ze uit de gemeenschappelijke keuken van het restaurant.

W. — Laat mij je, voordat je afdwaalt met je overpeinzingen, er even aan herinneren, dat de voeding van de buis niet alleen de verhitting van de gloeidraad en de levering van de plaatstroom op hoge spanning omvat, maar ook de polarisatie of voorspanning voor het rooster.

Vr. — Dat is waar! Ik had totaal dat voorgerecht vergeten, waarover je vroeger



al eens met me hebt gesproken. Als ik me goed herinner, moet het rooster op een negatieve voorspanning worden gebracht ten opzichte van de kathode, zodat het werkpunt van de buis zich in het rechte deel van haar karakteristiek bevindt en het rooster onder inwerking van de daaraan gegeven wisselspanning op geen enkel ogenblik positief zal worden.

W. — Je vergeet echter, dat het rooster evenmin in het gebogen deel van de karakteristiek mag komen, op straffe van vervorming van de te versterken signalen.

Vr. — En op welke manier maken wij nu het rooster negatief ten opzichte van de kathode? Ik denk, dat het allereenvoudigste zou zijn daarvoor een batterijtje te gebruiken.

W. — Dat doet men in de toestellen, waarvan de gehele voeding door batterijen wordt verzorgd. Maar bijna alle moderne toestellen worden door de stroom van het lichtnet gevoed. En om dan de genoemde negatieve voorspanning te verkrijgen, gebruikt men een even geniaal als eenvoudig middel: men maakt gebruik van de *spanningsval*, die door de plaatstroom in een weerstand wordt veroorzaakt.

**Vraagstuk steekt zich in de huid van een elektron**

Vr. — Zeg mij eerst eens wat een spanningsval is.

W. — Als een stroom op zijn tocht een weerstand ontmoet, kunnen de elektronen daar slechts met moeite doorheen. Zij hopen zich als het ware op aan de ingang en zijn minder in getal aan de uitgang van de weerstand. De ingangszijde zal derhalve meer negatief zijn dan de uitgang. De spanning, die aldus wordt verkregen door het passeren van de stroom door een weerstand heen, heet *spanningsverschil* of *spanningsval* van de stroom. Deze is natuurlijk groter naarmate de stroom sterker en de weerstand groter is.\*

Vr. — Dat is net als een menigte mensen, die door één nauwe uitgang een grote zaal willen verlaten. Zij vormen dan een opstopping bij de deur van die uitgang. Wil men daar passeren, dan wordt men eerst in elkaar geperst en pas als men er eindelijk uit is en weer vrij kan ademhalen, merkt men, wat een gedrang er was, of wat een spanningsverschil dus . . . .

\* De spanningsval (in volt) is gelijk aan het produkt van de stroomsterkte (in ampères) en de doorlopen weerstand (in ohms):  $U = I \times R$   
Dit is een nieuwe formulering van de wet van Ohm, die wij in ons eerste gesprek aldus gaven:  $I = U : R$ , en die daar onmiddellijk uit voortvloeit. Als dus een stroom van 3 A door een weerstand van 5  $\Omega$  gaat, veroorzaakt hij een spanningsval van  $3 \times 5 = 15$  V.

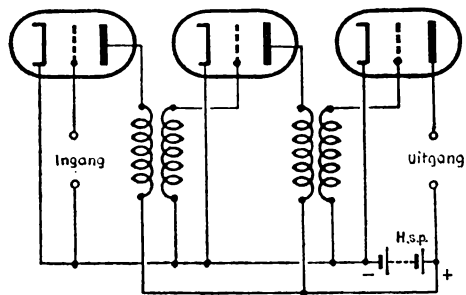
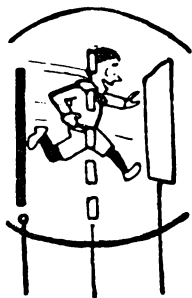
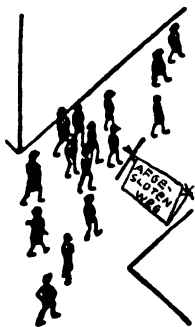


Fig. 48. Voeding van drie buizen door één gemeenschappelijke hoogspanningsstroombron.

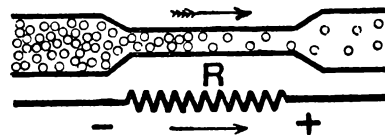


Fig. 49. Bij het passeren van een weerstand R veroorzaakt de stroom tussen de eindpunten daarvan een spanningsverschil (drukverschil).

W. — Ik merk, dat je je in gedachte gemakkelijk in de huid van een elektron weet te verplaatsen, als ik het zo eens mag zeggen. Om nu tot de polarisatie terug te keren, wij plaatsen een weerstand  $R$  op het traject van de plaatstroom tussen de negatieve pool van de hoogspanningsstroombron en de kathode (fig. 50).

De elektronenstroom gaat van de kathode naar de anode, doorloopt de transformator, gaat dwars door de hoogspanningsbron en keert door de weerstand  $R$  heen naar de kathode terug. Bij het doorlopen van de weerstand  $R$  veroorzaakt hij een spanningsval, doordat hij het ondereinde negatief maakt ten opzichte van het bovineinde. Nu, het rooster wordt met het ondereinde verbonden en de kathode met het bovineinde. Zo zal dan het rooster negatieve vóórspanning krijgen ten opzichte van de kathode. Vr. — Dat lijkt erg eenvoudig. Maar waarvoor dient die condensator  $C$ , die parallel is geschakeld aan de weerstand  $R$  (fig. 50)?

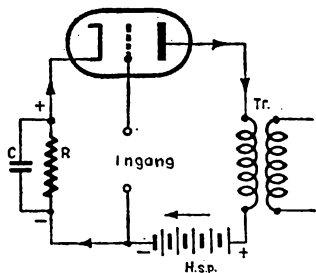


Fig. 50. De plaatstroom, die door de weerstand  $R$  gaat, wekt een spanning op tussen het rooster en de kathode.

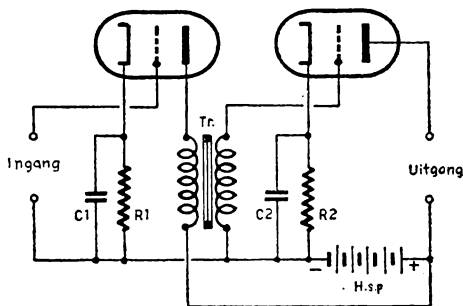


Fig. 51. Een tweetrapsversterker met polarisatie van de roosters door de weerstanden  $R_1$  en  $R_2$  („negatieve voorspanning“).

W. — Vergeet niet, dat de plaatstroom van de buis alleen dan constant is, als de potentiaal van het rooster constant is. Wanneer je aan het rooster een wisselspanning geeft, ontstaan er in de plaatkring stroomveranderingen van dezelfde frequentie. Die veranderingen gaan slechts uiterst moeilijk door de weerstand  $R$  heen, terwijl de condensator hun een gemakkelijke doortocht biedt. Men zegt, dat de condensator door de „wisselstroomcomponent“ van de plaatstroom wordt doorlopen, zodat de gelijkstroomcomponent voor een constante voorspanning kan zorgen.

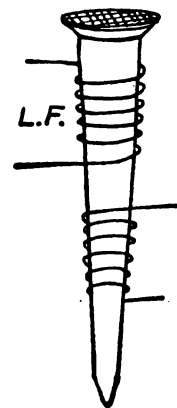
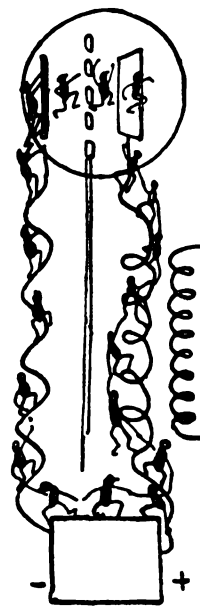
Vr. — Dus een dergelijke polarisatie-inrichting moet in de plaatkring van iedere versterkbuis ingeschakeld worden?

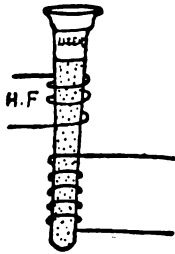
W. — Ja! Kijk (fig. 51), hier heb ik het schema van twee versterkbuisen, die door een transformator zijn gekoppeld. De eerste krijgt met behulp van een weerstand  $R_1$  vóórspanning, de tweede met behulp van  $R_2$ .

### Hoogfrequentie- en laagfrequentie-transformatoren

Vr. — En wat betekenen die evenwijdige lijnen, die je in de tekening tussen de wikkelingen van de transformator hebt getekend?

W. — Dat is het teken voor de ijzeren kern, die in de laagfrequentie-transformator wordt gebruikt. Omdat ijzer gemakkelijker dan lucht doordrongen wordt door het





magnetische veld, verhoogt men de zelfinductie der wikkelingen door ze om een ijzeren kern aan te brengen. Opdat de wisselstroom van de wikkelingen geen stromen in het ijzer zal induceren, maakt men gebruik van kernen, die bestaan uit ten opzichte van elkaar geïsoleerde plaatjes ijzer of gegloeid blik (zg. lamellen).

Vr. — En waarom maakt men alleen zulke kernen in laagfrequentie-transformatoren?

W. — Omdat hoogfrequente stromen, ten gevolge van de snelheid hunner veranderingen, in het ijzer stromen geïnduceerd zouden hebben, die evenzevele verliezen voor de inducerende stroom zouden betekenen. Daarom geeft men bij hoge frequenties veelal de voorkeur aan transformatoren zonder kern.

Vr. — Zou men toch die geïnduceerde stromen niet tot een minimum kunnen terugbrengen, als men aan die kernen een grotere weerstand gaf? Men zou ze bv. kunnen samenstellen uit uiterst dunne laagjes van geïsoleerd ijzer op elkaar.

W. — Dat doet men vaak. Men maakt dan voor hoogfrequentie-transformatoren gebruik van ijzerpoeder, zeer fijne metaalkorrels, samengeperst in een isolerende massa. Maar voor de zeer hoge frequenties geeft men de voorkeur aan luchttransformatoren.

Vr. — Kortom, het enige verschil tussen de versterking van de hoge en de lage frequentie bestaat, als ik het goed heb begrepen, in de samenstelling van de kern. In het eerste geval gebruikt men lucht of ijzerpoeder. In het tweede geval dunne plaatjes ijzer of gegloeid blik.

W. — Neen, het verschil is veel groter. Als we de laagfrequente stromen versterken, nemen we alle voorzorgen om ze allemaal in dezelfde mate te versterken, opdat alle tonen met hun eigen sterkte weergegeven zullen worden. Wij hebben er geen enkel belang bij om de ene muzikale frequentie te bevoordelen ten koste van de andere. Wat daarentegen de hoogfrequente stromen betreft, we mogen nooit het belang vergeten, dat schuilt in het uitzoeken van één bepaalde frequentie, nl. die, welke voortgebracht wordt door de zender, die wij willen horen, met uitsluiting van alle andere.

Vr. — Dus bij de hoogfrequentie-versterking moeten selectieve koppelkringen gebruikt worden, of anders gezegd: afgestemde kringen?

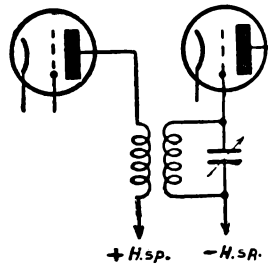
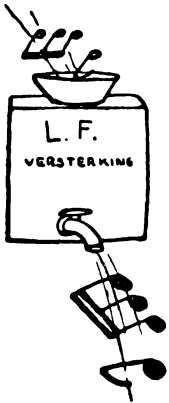


Fig. 52 (links). H.F.-transformator koppeling met afgestemde secundaire wikkeling.

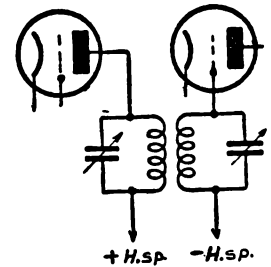
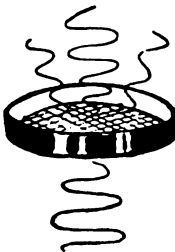


Fig. 53 (rechts). H.F.-transformator koppeling met afgestemde primaire en secundaire wikkelingen.



W. — Goed begrepen! Het is noodzakelijk, dat de selectie, die in de afstemkring van de antenne begonnen is, wordt voortgezet in de koppelkringen van de hoogfrequentie-versterker. We zullen daarvoor selectieve transformatoren gebruiken en een van beide of zelfs de beide wikkelingen afstemmen (fig. 52 en 53). Zulke transformatoren laten alleen die stroom door, welke de frequentie heeft, waarop ze zijn afgestemd, met uitsluiting van alle andere.

## De kunst om van tegenwerking gebruik te maken

Vr. — Toch is er, Weetal, nog iets, wat me dwars zit. Als een veranderlijke stroom in de primaire wikkeling van een transformator wisselspanningen opwekt tussen de einden van de secundaire, waarom maken we dan alleen gebruik van die spanning aan een der einden?

W. — Wat wil je daarmee zeggen?

Vr. — Ik vraag me af of men op de secundaire geen aftakking juist in het midden kan maken, die men dan zou kunnen verbinden aan de negatieve pool van de plaatspanningsbron. Daardoor zou ten opzichte van dat punt (dat, als ik het goed heb begrepen, als „nulpotentiaal” kan worden beschouwd) elk einde om de beurt positief en negatief zijn.

W. — Volkomen juist, beste vriend. Dat lijkt op een wip, die gemaakt is door een plank, die in het midden rust op een vast steunpunt. Het kind, dat aan de ene kant zit, gaat de hoogte in, terwijl zijn vriendje, dat tegenover hem zit, naar beneden zakt. Jouw idee is uitstekend. Men kan inderdaad de tegengestelde spanningen van de beide einden van de secundaire gelijktijdig aanleggen aan de roosters van de twee buizen. Men krijgt dan een *balanstrap* of balansversterking. Ook zegt men wel eens

symmetrische versterking of op zijn Engels een *push-pull*, want push is drukken en pull is trekken, waarmee de tegengestelde variaties in de aan de roosters gegeven spanningen worden gekarakteriseerd.

Vr. — Dat is dan alweer een uitvinding, die ze van me gestolen hebben, voordat ik hem gedaan had! Maar wat doet het er toe . . . . Ik vind het leuk op die manier twee buizen te zien wipwappen. Maar, wat me nu nog dwars zit, is de manier om hun anodestromen te gebruiken. Het is toch zo, dat, als de ene toeneemt, omdat het bijbehorende rooster positiever wordt, de andere afneemt, doordat het tweede rooster dan negatief wordt. Wat doen we daaraan?

W. — Daar zit je lelijk in de knoop, arme Vraag! De oplossing is echter zeer eenvoudig. We kunnen volstaan met die twee plaatstromen, die dus tegengestelde variaties voorstellen, af te voeren naar de einden van de primaire wikkeling van een andere transformator en op die wikkeling een middenaftakking aanbrengen, die dan weer wordt verbonden aan de plus-pool van de plaatspanningsbron (fig. 54).

Vr. — Nou, daar schieten we wel mee op! Hoe wil je, dat dat wat oplevert?

Als die twee op dezelfde wikkeling worden losgelaten, heffen onze twee stromen mekaar op, want als de ene toeneemt, wordt de andere minder en omgekeerd.

W. — Je vergeet doodgewoon, dat we ze in tegengestelde richtingen hebben geleid: van de beide einden naar het midden. Dus, als de ene stroom toeneemt, terwijl hij door de windingen vloeit (draait) in één richting, neemt de andere af, maar door in de tegengestelde richting te draaien.

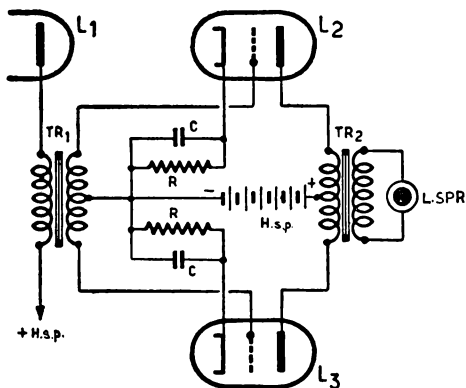
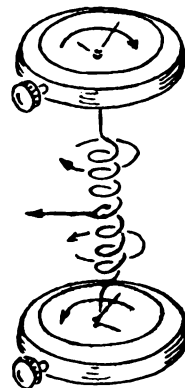
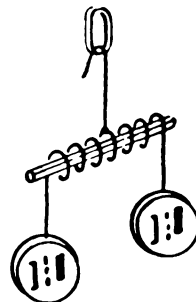
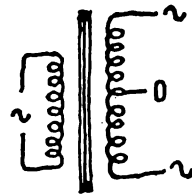
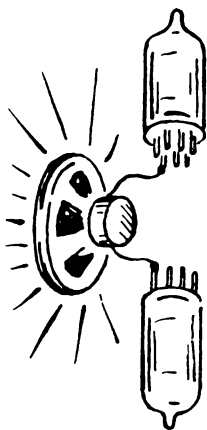


Fig. 54. Het schema van de balansschakeling.





De gevolgen, d.w.z. de in de secundaire geïnduceerde stromen, worden dus samengevoegd.

Vr. — Ik geloof, dat je gelijk hebt, want twee ontkenningen staan gelijk aan één bekenenis. Maar, als je het goed vindt, wil ik die verschijnselen wel eens even methodisch ontleden. Laten we eens aannemen, dat de stroom in  $L_2$  toeneemt, terwijl die in  $L_3$  tegelijkertijd afneemt.

W. — Neem daar dan gelijk bij aan, dat de stroom van  $L_2$  in de primaire van de tweede transformator de windingen doorloopt in de richting van de wijzers van een uurwerk, zodat die van  $L_3$  in tegengestelde richting zal draaien. Wat gaat er dan gebeuren?

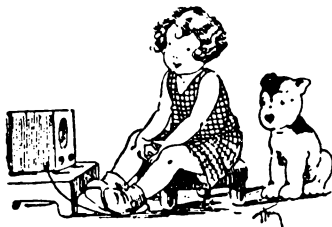
Vr. — De inductiewetten zijn onverbiddeijk. De stroom van  $L_2$ , die toeneemt, zal in de secundaire een stroom in de tegengestelde richting induceren, dus tegengesteld aan die van de wijzers van ons dierbare horloge.

W. — En de stroom van  $L_3$ ?

Vr. — Omdat-ie afneemt, moet hij een stroom in dezelfde richting induceren, dat wil zeggen, ook hij gaat tegengesteld aan die van de wijzers.

Reusachtig! De twee geïnduceerde stromen hebben dezelfde richting! . . . En waarvoor dient die push-pull, die balansschakeling?

W. — Men past die schakeling hoofdzakelijk toe in de eindtrappen om aan de luidspreker een groter vermogen te geven, dank zij de samenwerking van die twee buizen. Maar ik ben erg bang, dat, als wij vanavond onze samenwerking nog verder opvoeren, het vermogen van ons verstand erg zal verminderen . . . Wel te rusten dus!





Alles schijnt nu voor de wind te gaan. Vraagal wordt zonder moeite ingewijd in de methoden van koppeling door middel van een impedantie. Hij brengt dit met gemak in toepassing in het bijzondere geval van de koppeling tussen diode-detector en eerste laagfrequentiebuis. Nog beter: hij ontdekt opnieuw wat men gewoonlijk de „roosterdetectie” noemt. Waarom is het nu nodig, dat Weetal, eer hij een einde maakt aan dit prettige onderhoud, zijn vriend tot de diepste wanhoop brengt?

### De gevaarlijke koppelingen

W. — De vorige keer hebben we de versterkers met koppeltransformator bekeken. Ik moet je echter nog iets bekennen . . .

Vr. — Stop! Ik meen al te kunnen raden, wat je wilt zeggen: er bestaan hoogstwaarschijnlijk nog andere soorten versterkers, is het niet zo?

W. — Inderdaad. Maar hoe heb je dat zo kunnen raden?

Vr. — Misschien is het een stommitieit, maar ik krijg daar een reuze idee: Ik denk, dat men iedere transformator voor de koppeling tussen de versterkbuisen kan missen. Je hebt me de vorige keer gezegd, dat de stroom, als hij door een weerstand gaat, tussen de einden daarvan een spanningsval veroorzaakt. Als de stroom veranderlijk is, zal, denk ik, de spanning aan de einden van de weerstand dat eveneens zijn.

W. — Volkomen juist!

Vr. — Maar wat zochten wij voor de koppeling tussen de buizen? Het middel om de veranderingen van de plaatstroomsterkte in de eerste buis te transformeren in veranderingen van de spanning, die tussen het rooster en de kathode van de tweede buis gebracht moet worden. Het is dus voldoende in de plaatkring van de eerste buis een weerstand te plaatsen. De spanningsveranderingen, die de stroom in deze weerstand veroorzaakt, zullen tussen het rooster en de kathode van de tweede buis worden gebracht (fig. 55).

W. — Kalmpjes aan, beste jongen! Je idee is *in principe* uitstekend. Maar men kan het rooster van de tweede buis niet rechtstreeks verbinden met de weerstand, die in de plaatkring van de eerste buis ligt.

Vr. — Waarom niet?

W. — Omdat die weerstand met de positieve pool van de hoogspanningsbron is verbonden. En als we daar het rooster mede verbinden, zoals jij gedaan hebt, zal dit zeer sterk positief worden. Dat is een gevaarlijke verbinding . . .

Vr. — Hoe dat zo?

W. — O! Aartsdomoor! Ben je dan al weer vergeten, dat het rooster van een versterkbuis een *negatieve voorspanning* moet hebben? Het gebied der positieve spanningen is voor het rooster verboden terrein. In geval je het rooster van de tweede buis op een even hoge positieve spanning brengt als de anode in de eerste buis, gaat dat rooster als anode werken.

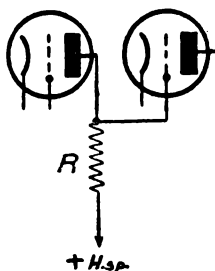
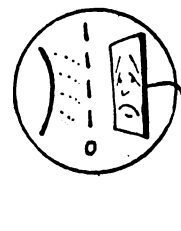
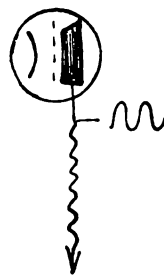
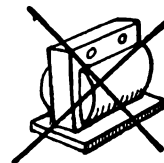
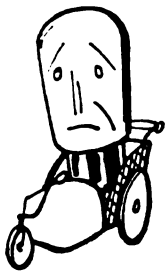


Fig. 55. De spanninggen, die in  $R$  door de plaatstroom van de eerste buis zijn veroorzaakt, worden doorgegeven aan het rooster van de tweede buis.





Vr. — Je hebt gelijk. Als het rooster te positief is, zou het alle door de kathode uitgezonden elektronen tot zich trekken.

W. — Nu zie je dus, waarheen jouw onvoorzichtige plan ons zou voeren.

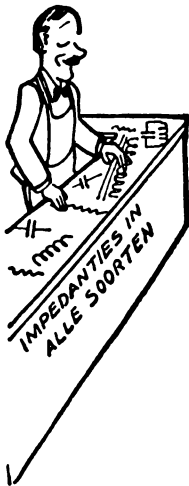
Vr. — Is er dan niets aan te doen?

W. — Ja zeker! Wat wij naar het rooster willen overbrengen, dat zijn de veranderlijke spanningen. We kunnen ze heel gemakkelijk overbrengen door middel van de capaciteit van een condensator  $C$ , die tussen de weerstand  $R_1$  en het rooster van de tweede buis wordt geplaatst (fig. 56). Op die manier wordt het rooster geïsoleerd voor de hoge positieve gelijkspanning, terwijl de wisselspanningen vrije toegang tot dat rooster hebben.

Vr. — En waarvoor dient de weerstand  $R_2$ ?

W. — Als die er niet was, zou een deel van de door de kathode uitgezonden elektronen zich ophopen op het rooster, dat voor gelijkstroom geheel en al geïsoleerd zou worden, of zoals men zegt, „dichtgeknepen” zou worden. De elektronen zouden het rooster al gauw zo negatief opladen, dat het in het geheel geen stroom meer zou doorlaten. De buis zou dan „dichtgeknepen” of „verlamd” zijn. Ten einde de elektronen te veroorloven vrij van het rooster te vertrekken, gebruiken wij die lekweerstand  $R_2$ , die de potentiaal van het rooster bepaalt door dat te verbinden met de negatieve pool van de hoogspanningsbron. Gewoonlijk is  $R_2$  een tamelijk hoge weerstand, zo ter grootte van 2 megohm. (2  $M\Omega$ ).

Vr. — Dus de wisselspanning wordt op het rooster van de tweede buis gebracht door de koppelcondensator  $C$ , en de gelijkspanning, die het werkpunt bepaalt, via de weerstand  $R_2$ ?



### In het koninkrijk der impedanties

W. — Zo is het! Dat systeem heet kortweg „weerstandskoppeling”. Maar in plaats van de weerstand  $R_1$  zou men een heel andere impedantie kunnen gebruiken, waaraan de veranderlijke stroom wisselspanningen zou ontwikkelen.

Vr. — Zou men bv. van een inductantie gebruik kunnen maken?

W. — Natuurlijk! Vaak gebruikt men in laagfrequentieversterkers een inductantiekoppeling (fig. 57). In dat geval bestaat de inductantie  $L$  uit een spoel met ijzeren kern.

Vr. — Wat is de beste van al die verschillende koppelmethode?

W. — Dat hangt er van af . . . . Ze hebben ieder hun voor- en nadelen. De weerstandkoppeling heeft het bezwaar van de grote gelijkspanningsval, die in de weerstand  $R_1$  ontstaat (fig. 56). Op die manier blijft er op de anode slechts een gedeelte over van de totale spanning van de stroombron. Daarentegen kan de gelijkstroomweerstand van een inductantie klein genoeg gehouden worden en zal bijgevolg het

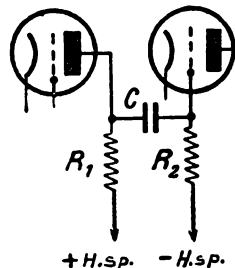


Fig. 56. Koppeling door weerstanden en een capaciteit.  $R_1$  = plaatweerstand;  $C$  = koppelcondensator;  $R_2$  = lekweerstand.

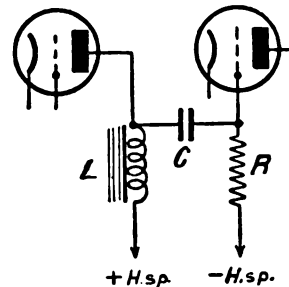


Fig. 57. Koppeling door de inductantie  $L$  met ijzeren kern. Condensator  $C$  brengt de wisselspanningen over naar de volgende buis.



gelijkspanningsverlies gering zijn. Maar aan de andere kant heeft de inductantie-koppeling het bezwaar, dat niet alle toonfrequenties in dezelfde mate versterkt worden.

Vr. — Hoe komt dat?

W. — Je weet toch, dat de inductantie van een spoel afhankelijk is van de frequentie van de stroom. Dus voor de hogere frequenties, die overeenkomen met de hoogste tonen, zal ook de inductantie hoger zijn. De aan deze reactantie verkregen wisselspanningen zijn dus hoger. Het gevolg is, dat de hoogste tonen het meest versterkt worden.

Vr. — Terwijl de gewone weerstand alle frequenties even sterk doorgeeft, nietwaar?

W. — Ja! In theorie tenminste. In werkelijkheid bestaan er in beide gevallen zg. parasitaire capaciteiten tussen de anode en de rest van de onderdelen van onze schakeling en daardoor worden de hoge tonen verzwakt.

Maar nu blijft er nog één in de koppelkringen vaak gebruikte impedantie over.

Vr. — De capacitantie?

W. — Neen, beste vriend! Men kan in de plaatkring niet zonder meer een condensator inschakelen, want dan kan de plaat geen gelijkspanning krijgen.

Vr. — Dan weet ik niet over welke impedantie je het hebben wilt en geef ik het op.

W. — Ik wil je er aan herinneren, dat ook de trillingskring een impedantie vormt en wel een van een bijzondere soort; hij biedt alleen een hoge weerstand aan de frequentie van de stroom, waarop hij is afgestemd.

Vr. — Daar dacht ik helemaal niet aan. Men kan dus een koppeling tot stand brengen door een trillingskring LC' (fig. 58) als impedantie te gebruiken. Waarschijnlijk heeft een dergelijke koppeling alleen reden van bestaan voor hoogfrequentieversterking?

W. — Zeker! En je ziet, dat het beslist een zeer selectieve koppeling is, want alleen de stromen met

de afstemfrequentie van de trillingskring zullen aan de einden daarvan wisselspanningen opwekken, die, door de koppelcondensator C heen, aan het rooster van de tweede buis worden doorgegeven.

Vr. — Ik geloof de verschillende koppelmethoden, die je mij hebt uitgelegd, goed begrepen te hebben. Toch ben ik bang ze niet te kunnen toepassen in het geval van de diodedetectie, waarbij ik de ingang en de uitgang niet goed kan onderscheiden.

### Een bijzonder geval

W. — Dat is inderdaad een beetje een bijzonder geval. Maar de oplossing kan niet eenvoudiger. Je herinnert je, dat we dank zij de eenzijdige geleidendheid van de diode in de kathode-anodekring stoten in één richting krijgen, die door een condensator opgehoopt worden, zodat door de telefoon een laagfrequente stroom loopt.

Vr. — Ja maar, omdat het er om gaat die stroom te versterken, zal er niet onmiddellijk achter de diode een telefoon volgen.

W. — Dat spreekt vanzelf. In plaats van de telefoon zetten we een weerstand  $R_1$  te zamen met de reservoircondensator  $C_1$  (fig. 59). De laagfrequente stroom, die door  $R_1$  gaat, zal aan de einden van die weerstand een wisselspanning veroorzaken, die wij

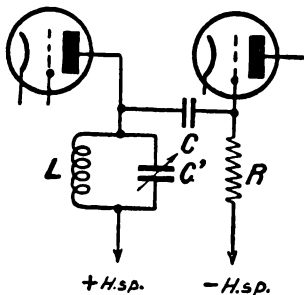
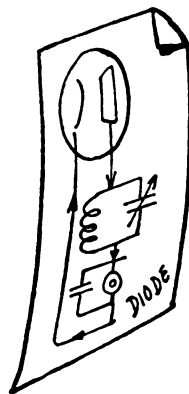
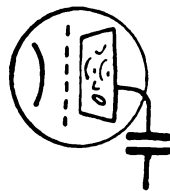


Fig. 58. Koppeling door een trillingskring LC' met koppelcondensator C en lekweerstand R.



via de koppelcondensator  $C_2$  op het rooster van de eerste laagfrequentiebuis brengen.  
 Vr. — En de weerstand  $R_2$ ?  
 W. — Dat is de klassieke lekweerstand, die je onmiddellijk had moeten herkennen.  
 Vr. — De polarisatieweerstand  $R_3$  van de laagfrequentiebuis heb ik wel herkend!  
 W. — Mooi zo! Merk nu ook nog op, dat de trillingskring even goed in verbinding met de anode (zoals ons schema aangeeft) als met de kathode kan worden geplaatst.  
 Vr. — Natuurlijk. In beide gevallen bepaalt hij de potentiaalveranderingen van een der elektroden van de diode ten opzichte van de andere.

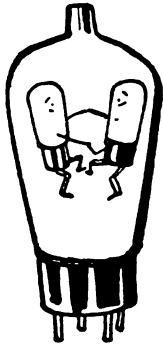


Fig. 59 Koppeling tussen diode en LF-triode.  
 De aan  $C_1R_1$  ontwikkelde spanningen worden via  $C_2$  doorgegeven aan het rooster van de LF-buis, waaraan de lekweerstand  $R_2$  ligt.  $R_3$  en  $C_3$  zorgen voor de voorspanning van het rooster van deze LF-buis.

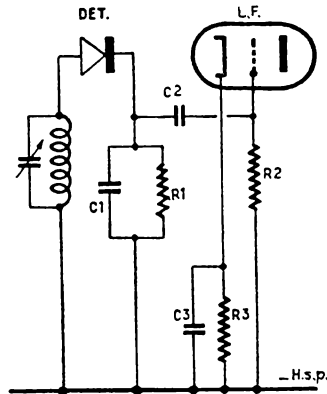
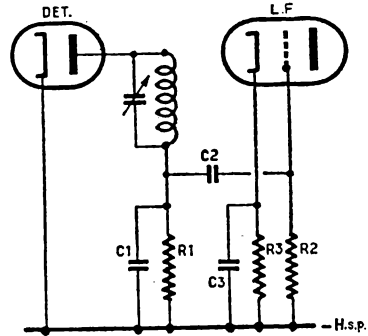


Fig. 60. Toepassing van een contact-diode in plaats van de buisdiode van fig. 59.

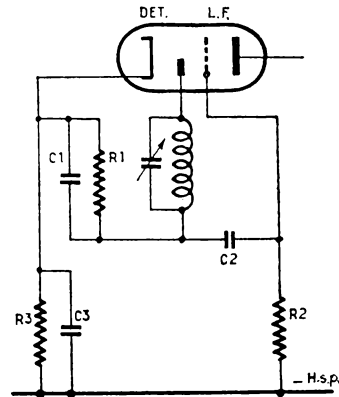


Fig. 61. De twee buizen van fig. 59 zijn nu verenigd in één diode-triode. Het schema blijft hetzelfde, zoals men bij vergelijking van de figuren, waarvan de onderdelen met dezelfde letters zijn aangegeven, ziet.

W. — Ik voeg daar nog bij, dat de vacuüm-diode (een buis dus) kan worden vervangen door een contact-detector (fig. 60).  
 Vr. — Dat is dan toch zeker niet meer het oude loodglans, maar germanium of silicium?

W. — Inderdaad . . . . Maar nu wil ik er de aandacht op vestigen, dat meestal in plaats van een onafhankelijke diode en een aparte laagfrequentieversterker een gecombineerde buis wordt gebruikt: een *diode-triode*, waarbij in dezelfde ballon de beide elektrodensystemen zijn verenigd. De vereenvoudiging gaat overigens nog verder, want de diode en de triode hebben nu een gemeenschappelijke kathode gekregen.



Vr. — Die buis geeft dus een besparing van ruimte en gloeistroom. Dat is een modelbuis voor deze dure tijden . . . .

W. — Het toestel, waarin de diode-triode wordt toegepast (fig. 61), is volkomen gelijk aan dat met een afzonderlijke diode en triode. Je zult opmerken, dat de aanwezigheid van de weerstand  $R_3$  het mogelijk maakt aan het rooster een negatieve vóórspanning te geven door de kathode positief te maken ten opzichte van de negatieve pool der hoogspanning. Maar de anode van de diode is bij afwezigheid van trillingen op dezelfde potentiaal als de kathode, want de stroom van de diode keert na door  $R_1$  te zijn gegaan, onmiddellijk naar de kathode terug.

### Een idee van Vraagal

Vr. — Daar krijg ik een idee . . . !

W. — Gewoonlijk vertrouw ik dat niet erg. Maar enfin, zeg op!

Vr. — Ik vraag me af, of men de vereenvoudiging nog wat verder kan doorvoeren door heel simpel de plaat van de diode te verenigen met het rooster van de triode. De op die manier tussen het rooster en de kathode gebrachte hoogfrequente span-

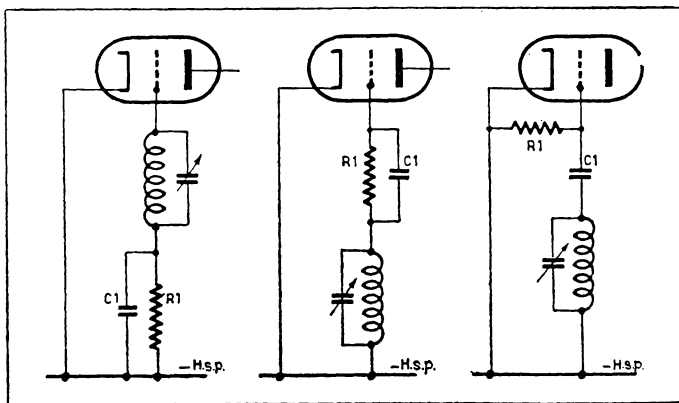
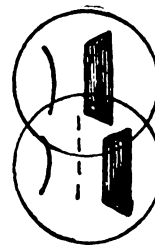


Fig. 62. De zgn. „roosterdetectie”.

Fig. 63. Wijziging van het schema van fig. 62.

Fig. 63a. Variant van het schema van fig. 63.



ningen (fig. 62) zullen op de gewone wijze gelijkgericht worden door de diode-detectie, het rooster zal voor die gelegenheid de rol van de plaat uit de diode vervullen. De laagfrequente spanningen, die ten gevolge daarvan aan de einden van de weerstand  $R_1$  zullen ontstaan (dank zij de opzamelende werking van de condensator  $C_1$ ), worden dan tussen dat rooster zelf en de kathode gebracht. De buis zal dan als laagfrequentieversterker functioneren . . . . Waarom lach je, Weetal? Heb ik weer iets stoms gezegd?



W. — Integendeel! Wat me echter doet lachen is, Vraagal, dat je zojuist een vroeger wel gebruikte methode opnieuw hebt ontdekt en duidelijk uitgelegd, nl. de zgn. „roosterdetectie”. Zoals jij het zo goed hebt gezegd, het betreft hier geen speciale detectiemethode, maar de diodedetectie, gecombineerd met de laagfrequentieversterking, door dezelfde elektrode de rol te laten spelen van diodeplaat en triode-rooster. Nu, dit overigens zeer logische gezichtspunt is ontsnapt aan vrijwel alle technici, die, om die beroemde „roosterdetectie” te kunnen verklaren, even ingewikkelde als dikwijls duistere verhandelingen daarover uitgaven.

Vr. — Ik ben steeds gaarne bereid om op die manier alle problemen van de radio-techniek op te helderen!

W. — Wordt nu niet overmoedig, mijn waarde Vraagal, anders laat ik je het ware schema van die „roosterdetectie” niet zien.

Vr. — Het is dus niet het mijne?

W. — Het verschilt er niet veel van. Ten einde de opbouw gemakkelijker te maken, verwisselt men de plaatsen van de trillingskring en van de weerstand  $R_1$  met de condensator  $C_1$  onderling (fig. 63), daardoor verandert er niets. Voorts kan de weerstand  $R_1$  in plaats van door de trillingskring met de kathode te worden verbonden (fig. 63), daar rechtstreeks aan gekoppeld worden (fig. 63a) . . . Maar wat krabbel je daar . . . ?

### Een „Vraagal-schema”

Vr. — Aangemoedigd door je complimentjes heb ik het schema voor een ontvanger-toestel met vijf buizen getekend (fig. 64). Het bevat, zoals je ziet, een tweetraps-hoogfrequentieversterking. De koppeling tussen de eerste twee buizen komt tot stand met behulp van de impedantie van de trillingskring  $L_3C^1$  en van de koppelcondensator  $C_2$ . Tussen de tweede hoogfrequentieversterker en de diode geschiedt de koppeling met behulp van een H.F.-transformator  $L_4L_5$  met een door  $C''$  afge-

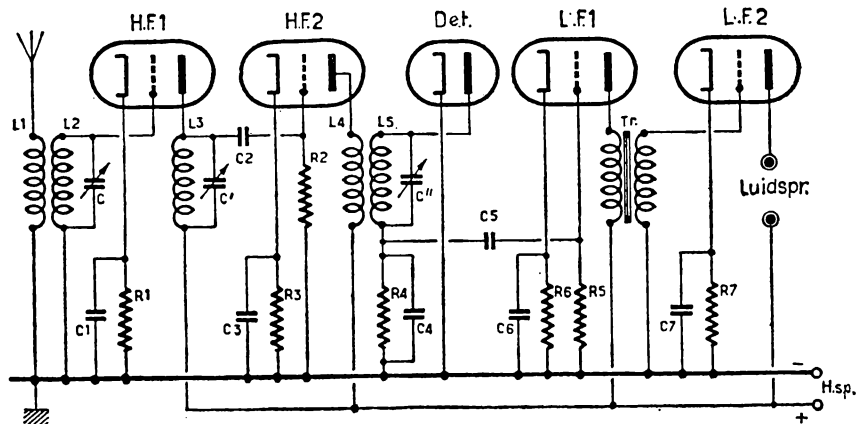
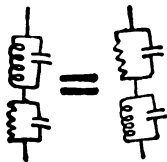


Fig. 64. Dit is een schema volgens het ontwerp van Vraagal!... De voorspanningsweerstand zijn aangeduid met  $R_1$ ,  $R_3$ ,  $R_6$  en  $R_7$  en de overeenkomstige condensatoren met  $C_1$ ,  $C_3$ ,  $C_6$  en  $C_7$ .  $R_2$  en  $R_5$  zijn lekweerstand.

stemde secundaire wikkeling. De gelijkgerichte en aan  $R_4$  gegeven spanningen worden via de condensator  $C_5$  aan het rooster van de eerste laagfrequentiebuis toegevoerd. Op deze sluit via een transformator Tr de laatste buis aan, waarvan de plaatkring de luidspreker zal doen werken.

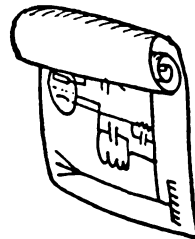
Is mijn schema in orde?

W. — Zo in orde als het maar zijn kan! Maar als je een toestel volgens jouw schema maakte, had je grote kans, dat het zeer slecht werkte!

Vr. — Mijn hemel! Waarom?

W. — Omdat er bij de samenstelling dingen zullen voorkomen, die je schema niet aanwijst, maar die daarom niet minder nadelig kunnen zijn.

Vr. — Dat lijkt me weer bijzonder ingewikkeld en volkomen geschikt om mij een reuze hoofdpijn te bezorgen.



De terugkoppeling, die vroeger de genoegens van de eerste radio-amateurs vormde en die nog steeds in de moderne toestellen is waar te nemen (echter zonder dat men het wil), vormt het onderwerp van dit gesprek. Van de verschillende methoden, die voorgesteld zijn voor de regeling van de terugkoppeling, bespreekt Weetal alleen de voornaamste... Tenslotte heeft Vraagal het genoegen kennis te maken met de buizen met meer dan drie elektroden: de buizen met een schermrooster en die met drie roosters of de pentoden. Wilt u hem op die weg volgen?



„Terugwerkende besluiten”

Vr. — Je hebt me een behoorlijk koude douche gegeven, Weetal. Nu eens zing je me lofzangen toe, dan weer vernielt je ironie de schoonste uitingen van mijn scheppende gedachten als radiotechnicus . . .

W. — Doe niet zo dramatisch, Vraagal, en zeg me liever, waarin ik onrechtvaardig tegenover jou ben geweest.

Vr. — De vorige keer heb ik niet zonder moeite het schema voor een uitstekend radiotoestel ontworpen. Nadat je het onderzocht had en mij er een compliment voor had gemaakt, verklaarde je ijskoud, dat „wegens dingen, die je niet op papier ziet, maar die desniettemin bestaan”, dat toestel niet zal werken. Dat is duister en . . . verdrietig!

W. — Wees gerust, vriendje. Ik bedoelde alleen de ongewilde koppelingen, die niet zouden nalaten de werking van je toestel te storen. Het gaat vooral om koppelingen tussen de plaatkring en de roosterkring van elke buis.

Vr. — Wat is de aard en het gevolg van die verderfelijke koppelingen?

W. — Om het je duidelijk te maken gaan we even terug naar het schema voor de generator (fig. 65). Daarin is de spoel  $L'$  van de plaatkring gekoppeld met de spoel  $L$ , die deel uitmaakt van de roostertrillingskring. Herinner je je, wat het gevolg is van zulk een koppeling?

Vr. — Natuurlijk! Er ontstaan trillingen in de rooster- en in de plaatkring en daardoor vormt onze generator als het ware een kleine zender.

W. — Precies! Tenminste, als de mate van koppeling tussen de twee spoelen sterk genoeg is. Is de koppeling los, dan zullen er geen trillingen komen, maar het feit is daarom niet minder belangrijk, want we houden toch steeds een inductieve werking van de plaatkring op de roosterkring, een inwerking van de uitgangskring op de ingangskring. Dat noemt men *terugkoppeling*.

Vr. — Dat is als het symbool der wijsheid bij de Oude Volken: de slang, die haar eigen staart opeet, niet?

W. — Zoals je wilt! Merk nu op, dat een dergelijke buis met terugkoppeling gebruikt wordt als versterkbuis in een ontvanger (fig. 65). We hebben dus aan de kring LC de te versterken spanningen en in de spoel  $L'$  versterkte stromen. Maar die versterkte stromen zullen in de roosterspoel  $L$  nieuwe spanningen induceren. Als de „terugkoppelspoel”  $L'$  behoorlijk afgesteld is ten opzichte van  $L$ , zullen de door  $L'$  in  $L$

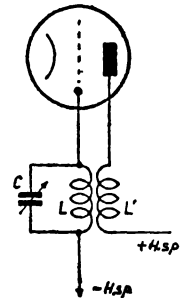


Fig. 65. Schema voor een generator.  $L$  = roosterspoel.  $L'$  = plaatspoel.





geïnduceerde spanningen de spanningen komen versterken, die oorspronkelijk daarin waren geïnduceerd.

Vr. — Dus, als ik het goed begrijp, versterkt de terugkoppeling van  $L'$  op  $L$  de trillingen in  $L$ . Maar in dat geval zullen die versterkte trillingen op hun beurt weer versterkt worden door de buis en in de terugkoppelspoel  $L'$  een nog sterkere stroom veroorzaken. Door inductie versterkt die stroom de trillingen in  $L$  nog meer, enz. De versterking zal dus oneindig hoog worden.

W. — Kalm aan, beste jongen! Als de trillingen in de plaatkring sterker worden, zullen de energieverliezen (ten gevolge van de weerstand en ook om nog andere redenen) daar gelijkelijk groter worden en dan houden de trillingen op, doordat de verliezen in evenwicht komen met de energietoevoer van de plaatkring. Toch is de dank zij de terugkoppeling behaalde versterking zeer belangrijk, vooral als de koppeling vast genoeg is om de trillingen te brengen tot aan de grens, waarop generatortrillingen zouden ontstaan.

### Hoe men de terugkoppeling kan regelen

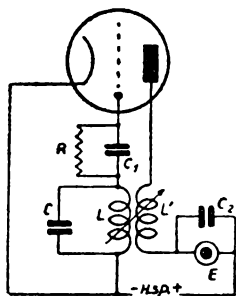


Fig. 66. Detector met regelbare terugkoppeling door verandering van de koppeling tussen  $L$  en  $L'$ .

Vr. — De terugkoppeling doet me aan muggebeten denken.

W. — Ik moet je eerlijk bekennen, dat ik het verband niet zie.

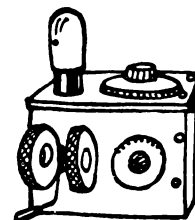
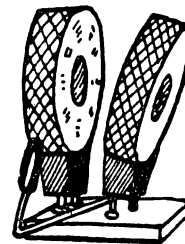
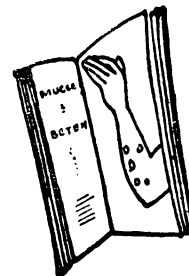
Vr. — Toch is het erg duidelijk: Als je door een mug wordt gebeten, wrijf je allicht de gestoken plek om te trachten de jeuk te verdrijven. Die wordt daardoor natuurlijk erger. Dan krabbel je jezelf nog verwoeder en daardoor jeukt het nog meer . . . Eindelijk verlies je, dol van woede, je kalmte en alles eindigt met een stukgekrabbelde en bloedende huid . . . Op dezelfde manier wordt de zwakke trilling van de plaatkring wegens de inductieve koppeling versterkt door de versterkte plaatstroom. Zij brengt dan in de plaatkring een sterkere stroom voort. Die doet de roosterspanning weer aangroeien enz. maar dit eindigt zonder bloedverlies, omdat de stroomverliezen in de plaatkring die kalmerende rol spelen, welke ons verstand had móeten spelen in het geval van de muggebeet.

W. — Vind je het goed, dat wij nu van de muggen weer tot ons onderwerp terugkeren? Ik heb je dus gezegd, dat de uitwerking van de terugkoppeling het krachtigst is, als de koppeling tussen de kring van de plaat en die van het rooster de buis tot aan de drempel brengt van de opwekking van trillingen, zonder daar echter overheen te gaan.

Vr. — Mij dunkt, dat is gemakkelijk te verkrijgen. Men moet eens voor altijd de beide spoelen  $L$  en  $L'$  op een zodanige afstand plaatsen, dat de sterkste koppeling is verzekerd, die de buis verdraagt zonder in trilling te geraken.

W. — Welnu, die koppeling, die goed is voor een bepaalde uitzending, zal dat voor alle andere niet zijn. Want — en dat heb je vergeten, Vraagal — de werking van de inductie verandert met de frequentie en wordt daarmede groter.

Dus de terugkoppeling, die prima is voor een bepaalde uitzending, zal te vast zijn voor een uitzending op een hogere frequentie en niet vast genoeg voor een uitzending op een lagere frequentie.



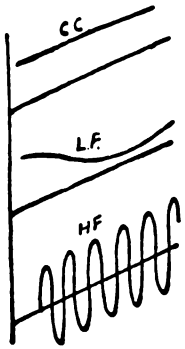
Vr. — Het wordt weer ontzettend ingewikkeld! Ik zie geen middel om de zaak voor elkaar te brengen.

W. — Toch valt dat erg mee: je hoeft alleen maar de koppeling tussen de beide kringen regelbaar te maken, bv. de plaatspoel  $L'$  beweegbaar ten opzichte van de roosterspoel  $L$ . Dit is (fig. 66) het schema voor de detector met terugkoppeling, die zo omstreeks 1925 de genoegens mogelijk maakte van alle luisteraars. Het is een buis, als zg. „roosterdetector” gemonteerd. In de plaatkring is een spoel  $L'$  ten opzichte van de roosterspoel  $L$  beweegbaar (zoals de pijl aanduidt, die dwars door de spoelen is getekend).

Vr. — Ik denk niet, dat het erg gemakkelijk was die spoel zo te verwisselen.

W. — Toch was het een spannende sport. Maar men heeft natuurlijk praktischer middelen gevonden voor de regeling van de terugkoppeling. Men heeft het nl. veel gemakkelijker gevonden deze te regelen met behulp van een draaibare condensator.

Vr. — Ik moet bekennen, dat ik niet inzie, waarin die mogelijkheid gelegen is.



### De „kraancondensator”

W. — Kijk, waarde vriend, de plaatstroom van de zg. „roosterdetector” bestaat uit drie verschillende dingen: ten eerste is er de gelijkstroom, die in rusttoestand steeds door de buis gaat. Vervolgens hebben wij de laagfrequente component, d.w.z. de golving, die uit de gelijkrichting voortvloeit. Tenslotte is er ook de hoogfrequente component, die gevormd wordt door de stroomstoten in één richting, waarvan de op-eenhoping juist de laagfrequente stroom oplevert. Het is die hoogfrequente component, die — alleen — het effect der terugkoppeling veroorzaakt. We gaan hem dus van de beide andere componenten afscheiden . . . . .

Vr. — Hoe dan?

W. — Hier heb je het schema (fig. 67): We laten de plaatstroom zich in twee verschillende wegen vertakken. De met H.F. aangeduide weg bevat een condensator met geringe capaciteit. Noch de gelijkstroom, noch de laagfrequente component kan er doorheen. Alleen de hoogfrequente kan van deze weg gebruik maken, die hij tamelijk gemakkelijk kan volgen al naar gelang de capaciteit van de condensator  $C'$ .

Vr. — Nu ben ik er! Ik heb het gesnapt! De condensator  $C'$  is variabel en vormt voor de hoge frequentie als het ware een kraan, die meer of minder wijd opengezet of gesloten kan worden. Wij regelen dus met behulp van die condensator de toelating van de stroom van hoge frequentie in de spoel  $L'$  en beperken bijgevolg zo het effect van de terugkoppeling. Maar waarom zou de hoogfrequente component niet even gemakkelijk gebruik maken van de tweede weg, die je L.F. hebt genoemd?

W. — Omdat we daar een *smoorspoel* hebben geplaatst, d.w.z. een spoel met een zeer hoge zelfinductie. Zoals je weet, biedt die spoel aan de stroom een inductieve reactantie, die groter is naarmate de frequentie hoger is. Terwijl de gelijkstroom en de laagfrequente component gemakkelijk door de smoorspoel passeren, vormt deze een praktisch onoverkomelijke hindernis voor de hoge frequentie.

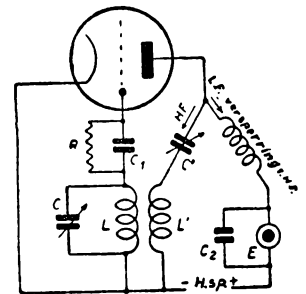
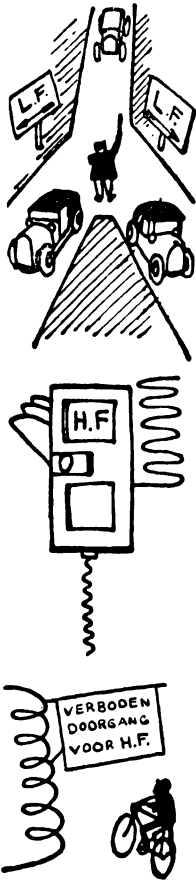


Fig. 97. Regeling van de terugkoppeling met behulp van de draaibare condensator  $C'$ .

Vr. — Die nieuwe toepassing voor het oude devies *divide et impera* (verdeel en heers!) is wel vernuftig gevonden.

W. — Bravo voor je Latijn! . . . Als je overigens een werkelijk vernuftig schema wilt zien, dan is het dat van Hartley, hetwelk een variant is van de teruggekoppelde detector en dat zo wordt genoemd naar een Amerikaanse amateur, die echter zweert het nooit uitgevonden te hebben. In die schakeling (fig. 68) dient een en dezelfde spoel L voor de afstemming van de roosterkring en voor terugkoppeling. Voorzien van een aftakking in het midden vormt zij in haar geheel met de variabele condensator C een afstembare roosterkring. Maar door de onderste helft bovendien de hoog-frequeente component van de plaatstroom. En de condensator C' dient om de sterkte daarvan te regelen op dezelfde manier als in het voorgaande schema.

Vr. — Dat is prachtig en als men dat schema de „Vraagal-schakeling” had gedoopt, zou ik niet, zoals mijn Amerikaanse collega, geprotesteerd hebben . . . Maar goed beschouwd, zie ik nog niet in, waardoor het principe van de terugkoppeling de goede werking kan belemmeren van het toestel, dat ik je in ons vorige onderhoud heb voorgetekend.

W. — Je zult het nu wel gauw begrijpen. Er kunnen in een ontvanger terugkoppelingen, d.w.z. koppelingen tussen de plaatkring en de roosterkring, ontstaan, zonder dat wij dat willen. Als ze aan onze controle ontsnappen, worden ze gevaarlijk.

Vr. — Ik moet bekennen niet te kunnen ontdekken, hoe die koppelingen tussen de plaat- en de roosterkring ontstaan en waardoor zij een gevaar kunnen vormen.

### De terugkoppeling is het beste en het slechtste van alles

W. — Als iedere terugkoppeling zijn ze in staat ongewenste trillingen op te wekken,

hetgeen de technici *wild genereren* noemen. De buis wordt dan in plaats van versterker zender, wat helemaal haar rol niet is. Wat de redenen zelf van die ongewenste koppelingen, die het terugkoppel-verschijnsel veroorzaken, aangaat, deze zijn verschillend. Veronderstel eens, dat een versterkbuis een roostertrillingskring LC heeft en een andere L'C'-kring in de plaatketen (fig. 69). Hoewel van elkaar verwijderd, bevinden de spoelen L en L' zich in elkanders magnetisch veld. Dus de spoel L' werkt terug op L. Behalve die inductieve koppeling kan zij nog een andere hebben, door ongewilde capaciteiten, gevormd tussen aangrenzende verbindingen van de rooster- en de plaatkring.

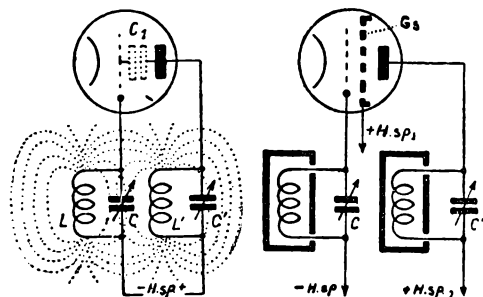


Fig. 69. (links). Ongewenste koppelingen door inductie (de magnetische velden zijn gestippeld aangegeven) en door de capaciteit  $C_1$  tussen rooster en plaat.

Fig. 70. (rechts). Opheffing van de koppelingen door afscherming van de spoelen en door het schermrooster, dat tussen het rooster en de anode is geplaatst.

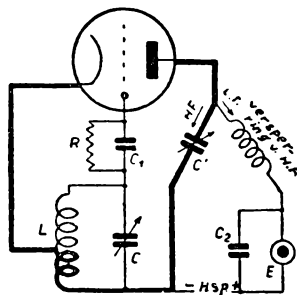
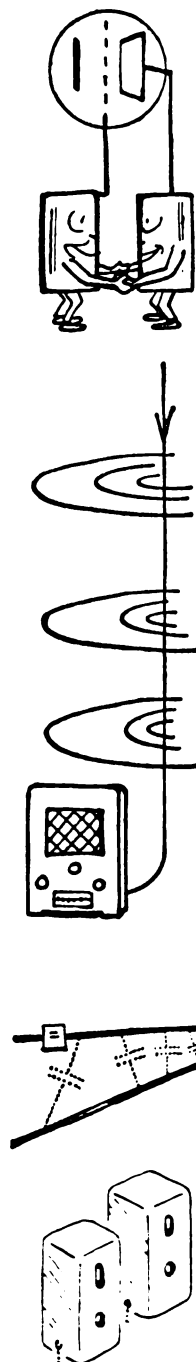
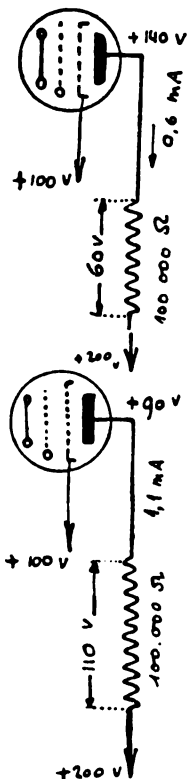
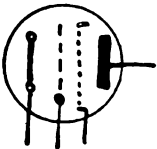
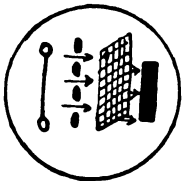
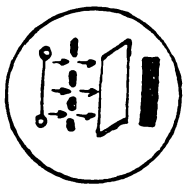


Fig. 68. Het zg. „Hartley-schema”. De weg van de H.F.-stroom is met dikke lijnen aangeduid.





Vr. — Kan men die verbindingen niet voldoende van elkander verwijderd houden, om de daardoor gevormde capaciteiten tot een minimum terug te brengen?

W. — Dat doet men inderdaad. Er blijft echter één capaciteit over, waarvan men zich vroeger niet kon bevrijden en die zo jarenlang iedere vooruitgang van de techniek heeft tegengehouden.

Vr. — Welke is die verwenste capaciteit?

W. — Dat is die kleine capaciteit, welke gevormd wordt tussen het rooster en de plaat, die samen als het ware twee platen van een condensator vormen ( $C_1$  in fig 69). De koppeling, die daardoor tussen de rooster- en de plaatkring wordt veroorzaakt, is voldoende, om de stabiliteit van een hoogfrequentieversterker in gevaar te brengen, zodra het aantal trappen meer dan één bedraagt.

Vr. — Ik zou dit een verschrikkelijke toestand vinden, als ik niet van te voren wist, dat jij de gewoonte hebt hinderpalen op te hopen, ten einde ze vervolgens in één ruk om te gooien. Wat is dus de remedie?

W. — Er bestaan er drie: afscherming, afscherming en nog eens afscherming!

Iedere groep spoelen wordt hermetisch opgesloten in een metalen doos, die het magnetische veld onderschept en de spoelen verhindert door inductie op haar soortgenoten in te werken. Dan is er nog de afscherming, die we binnen in de buis zelf aanbrengen om de capaciteit tussen het rooster en de plaat op te heffen (fig. 70).

### De afscherming tussen rooster en plaat

Vr. — Nu moet ik je even onderbreken. Als je een afscherming tussen het rooster en de plaat aanbrengt, zal de doortocht van de elektronen versperd worden en zal er geen plaatstroom meer lopen.

W. — Bedaar een beetje, Vraagal! Die afscherming binnen in de buis zal er een zijn met ontelbare gaatjes, waardoor de elektronen passeren en des te gemakkelijker als wij haar brengen op een potentiaal, die ongeveer gelijk is aan de helft van die van de plaat, zodat zij de beweging van de elektronen versnelt door haar aantrekkingskracht te voegen bij die van de plaat. In werkelijkheid bestaat die afscherming uit een nauw gewikkeld rooster, dat men *schermrooster* noemt. De aldus samengestelde buis heet *schermroosterbuis*, of, daar zij vier elektroden bevat: *tetrode* (het Griekse woord „tetra” betekent „vier”).

Vr. — Het doet me genoeg eindelijk iets te horen over het bestaan van een buis met meer dan drie elektroden. Dat is nu nog eens een moderne buis!

W. — Niet zo erg meer, vriend! Zij heeft nl. een gebrek, dat, om het te onderdrukken, de technici gedwongen heeft er nog een elektrode aan toe te voegen. Als een wisselspanning, om versterkt te worden, aan het rooster van die buis wordt aangelegd, verandert de plaatstroom van die buis natuurlijk. Die stroom veroorzaakt aan de impedantie, die in de plaatkring is geplaatst, spanningsvallen, die eveneens in verhouding tot de stroomsterkte variëren. Die spanningsvallen nemen af, naarmate de spanning, die werkelijk tussen de plaat en de kathode overblijft, toeneemt en . . .

Vr. — Wacht even, Weetal, een voorbeeld met cijfers zou het me duidelijker maken.

W. — Hier heb je er een: Veronderstel, dat de hoogspanningsbron 200 V heeft. Die spanning wordt tussen de kathode (ik verwaarloos hier even de vóórspanning) en de plaatimpedantie aangelegd. Neem nu aan, dat deze laatste, om de zaak te vereenvoudigen, wordt voorgesteld door een weerstand van 100 000  $\Omega$  en dat de plaatstroom in rust 0,6 mA is. In dat geval is de spanningsval in de impedantie  $100\,000 \times 0,0006 = 60$  V, zodat er tussen de plaat en de kathode geen 200, maar slechts 140 V

staat. Aan de andere kant veronderstel ik, dat het schermrooster op  $+100\text{ V}$  is gebracht. Als we nu aan het eerste rooster een wisselspanning geven, die de plaatstroom laat variëren tussen  $0,1$  en  $1,1\text{ mA}$ , zal de spanningsval in de impedantie variëren tussen  $10$  en  $110\text{ V}$  en de werkelijke spanning van de plaat ten opzichte van de kathode zal tussen de  $190$  en  $90\text{ V}$  schommelen. Je ziet dus, dat de plaat voor een ogenblik op een lagere potentiaal zal zijn dan het schermrooster. Dat maakt niet veel indruk op je...

Vr. — Neen, inderdaad niet. Waarom kan dat verontrustend zijn?

### De secundaire emissie

W. — Door je onwetendheid kun je rustig langs de verschrikkelijkste afgronden gaan! Denk eens in, wat er gebeurt, als op zo'n ogenblik een door de kathode uitgezonden elektron na het rooster en het schermrooster, dat de beweging nog versnelde, doorkruist te hebben, als een bom in de oppervlakte van de plaat slaat. Door zijn schok rukt het van de plaatatomen een of meer elektronen af, die opspringen als water bij de sprong van een zwemmer. Die elektronen gedragen zich als al hun soortgenoten:

zij gaan naar de elektrode, die hen het meest aantrekt, d.w.z. naar de meest positieve elektrode. Gewoonlijk is dat de plaat en zij keren in hun woonplaats terug zonder de werking van de buis ook maar enigszins te verstoren. Maar voor die speciale gelegenheid wordt het schermrooster de meest positieve elektrode, tenminste voor enkele momenten. Daarheen snellen dus de plotseling van de plaat bevrijde elektronen.

Vr. — Geweldig! . . . Dan is er dus een stroom van de plaat naar het schermrooster? En de plaat vervult dan ten opzichte van het schermrooster de rol van secundaire kathode?

W. — Zo is het! Men zegt trouwens, dat er een secundaire emissie ontstaat, die van de plaat naar het schermrooster gaat. Die emissie verzwakt zo de plaatstroom en vervormt deze daardoor.

Vr. — Daar staan we weer tegenover een hindernis. Gooi hem om, alsjeblieft!

W. — Dat is niet moeilijk. Om de nadelige gevolgen van de secundaire emissie te onderdrukken, plaatsen we tussen de plaat en het schermrooster een derde rooster (remrooster genaamd) met zeer wijde mazen, dat op de potentiaal van de kathode wordt gehouden (meestal is het er binnen in de buis mede verbonden).

Dat rooster belet de elektronen van de secundaire emissie zich naar het schermrooster te begeven.

Vr. — Welnu, ik ben er niet boos om op deze manier kennis gemaakt te hebben met de vijf-elektrodenbuis, die, als mijn kennis van het Grieks me niet bedriegt, pentode zal heten.

W. — Precies! Je ziet dus, dat de pentode een verbetering is van de tetrode en dat hij gemaakt is om de zeer nadelige uitwerking van de secundaire emissie te doen verdwijnen. Zie hier (fig. 71), hoe een versterktrap met een pentode wordt geschakeld.

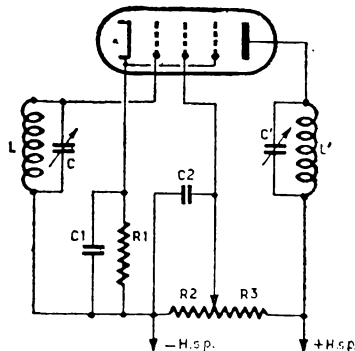
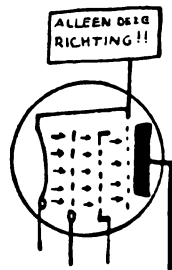
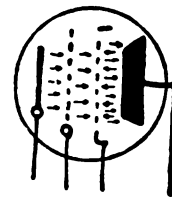
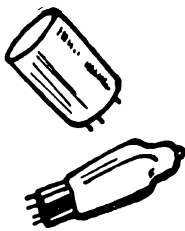


Fig. 71. Schakeling van een pentode.  $R^1$  met  $C^1 =$  voorspanning.  $R_2$ ,  $R_3$  en  $C_2$  voor de spanning van het schermrooster.

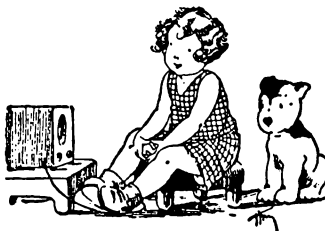




De weerstanden  $R_2$  en  $R_3$ , die tussen de polen van de hoogspanningsbron zijn geplaatst, dienen om de potentiaal van het schermrooster ten naaste bij op de helft van die hoogspanning te houden. Wat de condensator  $C_2$  betreft, zijn rol bestaat uit het laten passeren van een zwakke hoogfrequente stroom, die in het schermrooster wordt opgewekt door elektronen van de stroom, die van de kathode naar de plaat gaan en die door het schermrooster worden opgenomen. In het merendeel van de tegenwoordige modellen der pentoden kan men eveneens de potentiaal van het schermrooster bepalen door gebruik te maken van de spanningsval, die de stroom van die elektrode veroorzaakt over een weerstand. Laat in het schema van fig. 71 de weerstand  $R_2$  weg en je krijgt het bedoelde schema. De spanningsval in  $R_3$  zal dan de potentiaal van het schermrooster bepalen. Wat de condensator  $C_2$  betreft: die behoudt altijd de taak om de veranderlijke component van de stroom van die elektrode door te laten.

Vr. — Ik hoop, dat de afschermingen, de tetroden en de pentoden de definitieve oplossing zullen brengen van het probleem der ongewenste koppelingen.

W. — Een ijdele hoop, Vraagal!



*Hoe minder verband er bestaat tussen de kringen van de ene buis en die van de naburige, des te beter is dat voor de goede werking van het ontvangtoestel. Dat is de gevolgtrekking van de studie. die onze vrienden hebben voortgezet over de ongewenste koppelingen. Behalve de vroeger reeds aanbevolen afschermingen onderzoeken zij de „ontkoppeling”, waardoor het mogelijk is de gevaarlijke koppelingen te vermijden... Bij de bestudering van een praktisch schema vertelt Weetal interessante bijzonderheden over de overschakeling van de afstemkringen.*

**Onontwarbare koppelingen**

W. — Tot nu toe hebben wij alleen gesproken over koppelingen door magnetische inductie of door een capaciteit. Maar er bestaan ook koppelingen door middel van een gemeenschappelijke weerstand (of op een meer algemene manier: door een gemeenschappelijke impedantie).

Vr. — Ik kan niet inzien, waar die gemeenschappelijke weerstanden zich bevinden.

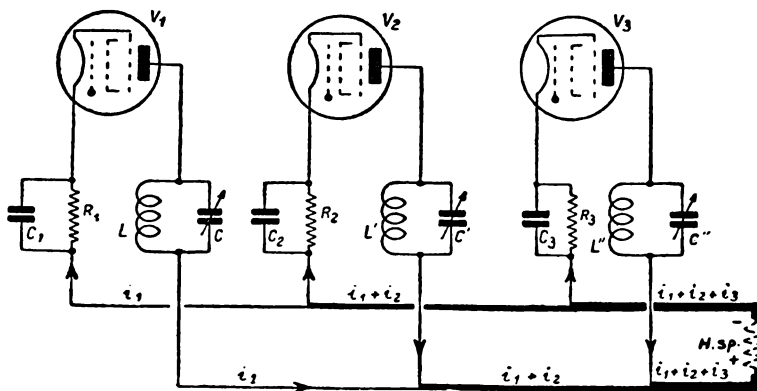
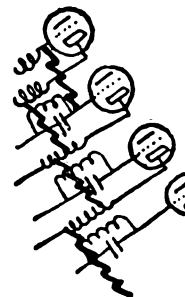
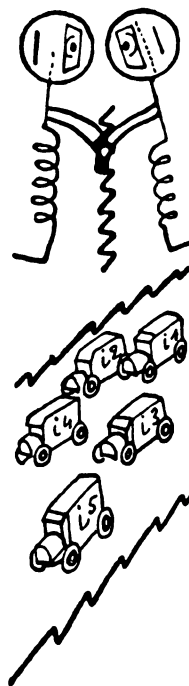
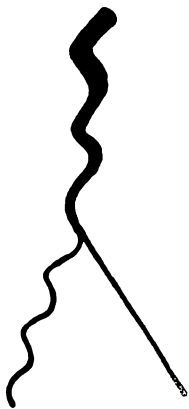


Fig. 72. In deze schakeling doorlopen de plaatstromen van verschillende buizen gedeeltelijk gemeenschappelijke banen. De hoogspanningsbron is als weerstand aangegeven.

W. — Hier zie je, zeer schematisch getekend, drie trappen hoogfrequentieversterking (fig. 72). Voor grotere duidelijkheid heb ik alleen de wegen van de plaatstromen  $i_1$ ,  $i_2$  en  $i_3$ , respectievelijk van de buizen  $V_1$ ,  $V_2$  en  $V_3$  getekend. De kringen van de roosters en van de schermroosters zijn weggelaten. Volg nu eens met je potlood de wegen van de plaatstromen. Je ziet, dat  $i_1$ , na de kathode van  $V_1$  te hebben verlaten, door LC loopt, door de met  $i_1$  aangeduide leidingen, door de hoogspanningsbron van de plaatstroom en weer door andere met  $i_1$  aangeduide leidingen dwars door  $R_1$  heen (de voorspanningsweerstand voor de negatieve roosterspanning) naar de kathode terugkeert. Volg nu op dezelfde manier de plaatstroom  $i_2$  van de tweede buis. Wat zie je dan?





Vr. — Inderdaad! Voor een deel van zijn weg loopt hij door dezelfde leidingen en ook door dezelfde hoogspanningsbron als de stroom  $i_1$ . En hetzelfde geldt voor  $i_3$ ; zowel door de hoogspanningsbron als door de leidingen, die met  $i_1 + i_2 + i_3$  zijn aangeduid, lopen tegelijkertijd drie stromen. Er moet daar een niet te ontrafelen warboel ontstaan!

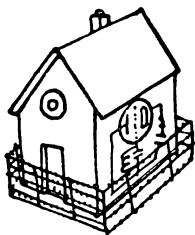
W. — Als de hoogspanningsbron en de leidingen geen enkele weerstand bezaten, zou er helemaal geen vermenging te vrezen zijn. Helaas, dat is niet het geval. Ieder van de stromen veroorzaakt in die gemeenschappelijke weerstanden een spanningsval. Die, welke veroorzaakt worden door de constante componenten (gelijkstroomcomponenten) van de stromen, zijn zelf constant en vormen geen enkel bezwaar. Maar dit is niet het geval voor wat de veranderlijke componenten aangaat. Die wekken in de gemeenschappelijke weerstanden veranderlijke spanningen op, die ook op de andere kringen terecht komen. Zo zal blijken, dat de spanningen, die opgewekt zijn door de veranderlijke component van  $i_1$ , tussen de kathoden en de anoden van  $V_2$  en  $V_3$  komen te staan. En hetzelfde zal gelden voor de andere stromen.

Vr. — Ik zie, dat dit een verschrikkelijke koppelaarij tussen alle buizen wordt, want de stroomvariaties van iedere buis afzonderlijk werken onmiddellijk terug op de spanningen van de elektroden der overige buizen. Dat zal ongetwijfeld aanleiding geven tot zeer onaangename verschijnselen.

W. — Dat spreekt! Al naar het geval is, ontstaat er een afnemende versterking (als de spanningen, die van de andere buizen komen, in de tegengestelde richting werken als de trillingen van de buis zelf), of, vaak geven deze koppelingen aanleiding tot wild genereren (ingeval de door de andere buizen opgedrongen trillingen in dezelfde richting werken als de eigen trillingen van de buis).

Vr. — Maar er moet toch een middel bestaan om de buizen onafhankelijk van elkaar te maken?

W. — Ja! Dat middel, *ontkoppeling* genaamd, bestaat hierin, dat men de variabele componenten van de plaatstroom niet door het hele ontvangtoestel en door de gemeenschappelijke verbindingen en de hoogspanningsbron laat lopen.

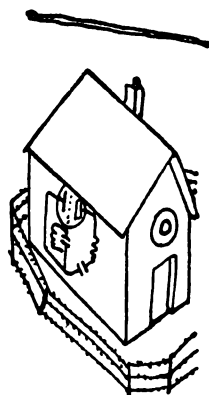


## De triomf van het individualisme

Vr. — Ik veronderstel, dat te dien einde in de eerste plaats de wisselstroomcomponent van de gelijkstroomcomponent gescheiden moet worden?

W. — Dat is zo! Zodra de gehele plaatstroom  $i_1$  door de plaatimpedantie is gegaan — in dit geval de kring LC (fig. 73) — scheidt men de wisselstroomcomponent van de gelijkstroomcomponent door een vertakking, gelijk aan die, welke je toegepast hebt gezien voor de regeling van de terugkoppeling met behulp van een draaibare condensator. De wisselstroomcomponent keert onmiddellijk naar de kathode terug via de condensator  $C_4$ , die zich daarentegen verzet tegen het passeren van de gelijkstroom. Deze laatste maakt gebruik van de weg door de weerstand  $R_4$  en keert pas naar de kathode terug, als hij door de hoogspanningsbron en de voorspanningsweerstand  $R_1$  is gegaan. Zo zie je, dat de baan van de wisselstroomcomponent beperkt is tot de eigen kathode-anodekring van elke buis. (In fig. 73 met dikke lijnen aangeduid.) Nergens loopt de wisselstroomcomponent van de ene buis door de stroomwegen van die der andere buizen.

Vr. — Kortom, als ik het goed heb begrepen, de ontkoppeling verzekert aan de buizen de volledige overwinning van het individualisme.





W. — Je hebt volkomen gelijk. Merk nu nog op, dat de ont koppeling ook het voordeel heeft de gevaren van de ongewenste inductieve koppelingen te verminderen, doordat de wegen der wisselstroomcomponenten verkort worden. Nu kan ik het volledige schema voor je tekenen (fig. 74) van een versterktrap, zoals men die in de moderne ontvangoestellen maakt. Het is precies hetzelfde als het schema van fig. 73. Vr. — Toch niet helemaal, lijkt mij. In fig. 73 komen de ont koppelcondensatoren  $C_4$ ,  $C_5$  en  $C_6$  direct bij de kathoden der overeenkomstige buizen. In fig. 74 echter ligt de ont koppelcondensator  $C_3$  aan de — H-sp. \*

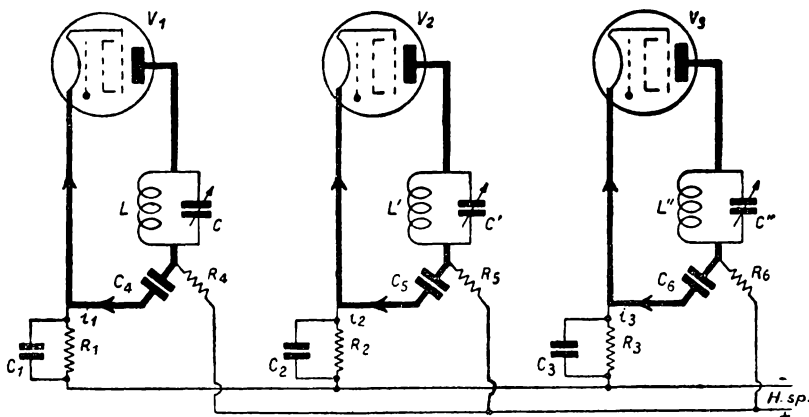
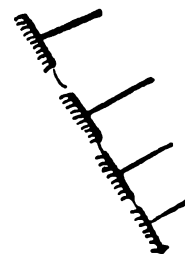
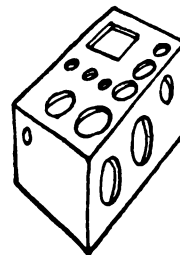
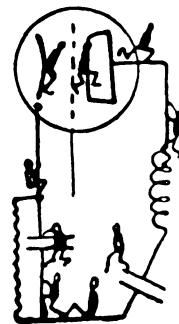


Fig. 73. Hier doorloopt, dank zij de ont koppeling, de wisselstroomcomponent van de stroom van elke buis een eigen weg. (Met dikke lijnen aangegeven.)

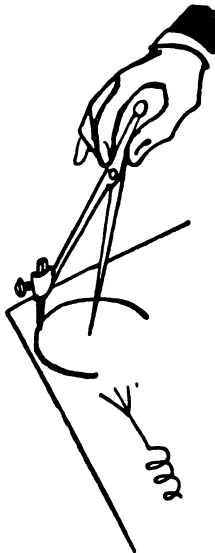
W. — Je hebt gelijk. Theoretisch is deze laatste constructie minder doeltreffend, want de variabele component van de plaatstroom moet in plaats van alleen door de ont koppelcondensator naar de kathode terug te keren, daarentegen ook de polarisatiecondensator  $C_1$  doorlopen, wat natuurlijk vermoeiender voor hem is. Toch biedt deze montage in de praktijk vele voordelen. Je hebt ongetwijfeld al opgemerkt, dat een aantal verbindingen van een ontvanger uitloopt op de negatieve pool van de hoogspanning. Ten einde die negatieve pool op de kortst mogelijke afstand van de ermee verbonden onderdelen te hebben, brengt men een gemeenschappelijke —H-sp.-leiding aan van dik draad, die de gehele ontvanger doorloopt. Of, wat nog vaker gebeurt, de hele ontvanger wordt op een metalen raamwerk gebouwd; de massa van dat raamwerk zelf wordt dan als gemeenschappelijke minus-hoogspanning gebruikt. Overigens zegt men, in plaats van dat een verbinding uitloopt op de —H-sp., dat zij aan „massa” ligt of dat zij „geaard” is.

Vr. — Kortom, als ik het goed begrijp, is het eenvoudiger de ont koppelcondensatoren te verbinden met de massa van het raamwerk, dan een verbinding tot aan de kathode door te voeren.

\*)—H-sp. = negatieve hoogspanning.



## Van het „geraamteschema” (principeschema) naar het volledige schema



W. — Zo is het zeker, Vraagal! Voorts heeft men de gewoonte aangenomen om „massa” met hetzelfde symbool aan te duiden als „aarde”, zodat men in plaats van een enkele gemeenschappelijke verbinding te tekenen van de —H.sp. op verschillende plaatsen „massa” of „aarde” tekent. Volgens deze wijze van voorstelling zal fig. 74 overgetekend worden in het schema van fig. 75. Maar je dient je wel goed in te prenten, dat als je in een schema verscheidene malen „massa” ziet, het in werkelijkheid slechts gaat om één enkele verbinding, die naar de negatieve pool van de hoogspanning loopt.

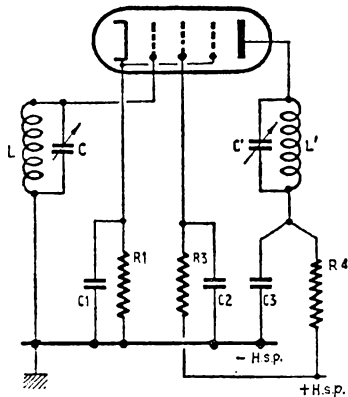


Fig. 74. Ontkoppelde schakeling van een pentode.

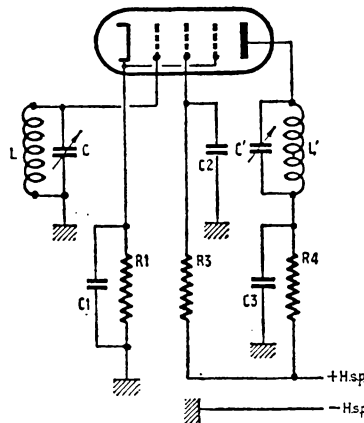
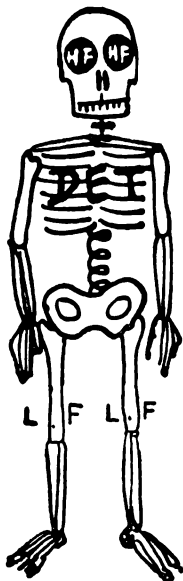


Fig. 75. Hetzelfde schema als in fig. 74, maar nu getekend met het symbool voor „aarde.”



Vr. — En weet ik nu alles, wat men moet weten over de voetangels en klemmen, van de ontvangtoestellen om een geschikt schema te kunnen samenstellen, waarnaar men een ontvanger kan bouwen, die werkelijk werkt?!

W. — Ja, ik denk, dat je nu op enkele dingen na alles weet, wat daarvoor noodzakelijk is. Overigens behoeven we niets anders te doen, dan het schema weer ter hand te nemen, dat je in je naïeve onschuld al had geschetst in ons twaalfde gesprek. We trachten het nu voor de praktijk geschikt te maken. Laten we het eerst — dat is een uitstekende methode — eens schematisch schetsen.

Vr. — Ik hoop, dat je de twee hoogfrequentietrappen met pentoden zult uitrusten . . .

W. — Zoals je uit fig. 76 kunt zien, ga ik zelfs nog verder, door ook voor de tweede laagfrequentietrap een pentode te gebruiken. Tegenwoordig worden pentoden graag daarvoor gebruikt. Je ziet, dat in dit schema alleen de voornaamste verbindingen tussen de buizen zijn aangegeven. Wat de ontkoppelementen betreft, deze bevat het schema niet, evenmin als de weerstanden, die de negatieve roostervoorspanning en de schermroosterspanning bepalen.

Vr. — Je hebt nu het principeschema, het „geraamte”, getekend voor een toestel met twee trappen hoogfrequentieversterking met diodedetectie en met twee trappen laagfrequentieversterking. Zou je dat „geraamte” nu kunnen bekleden met „vlees”, waardoor het een compleet organisme wordt?

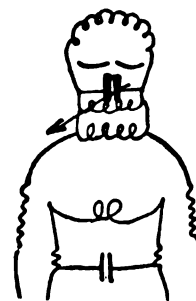
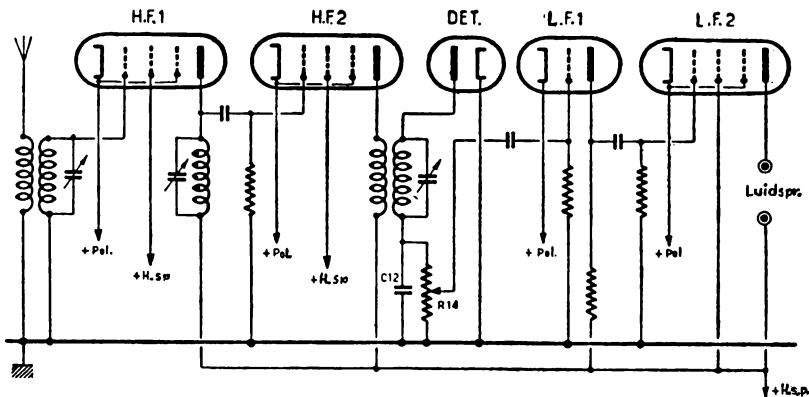


Fig. 76. Het „geraamteschema” of „principeschema” van een ontvanger met twee trappen H.F.-versterking.

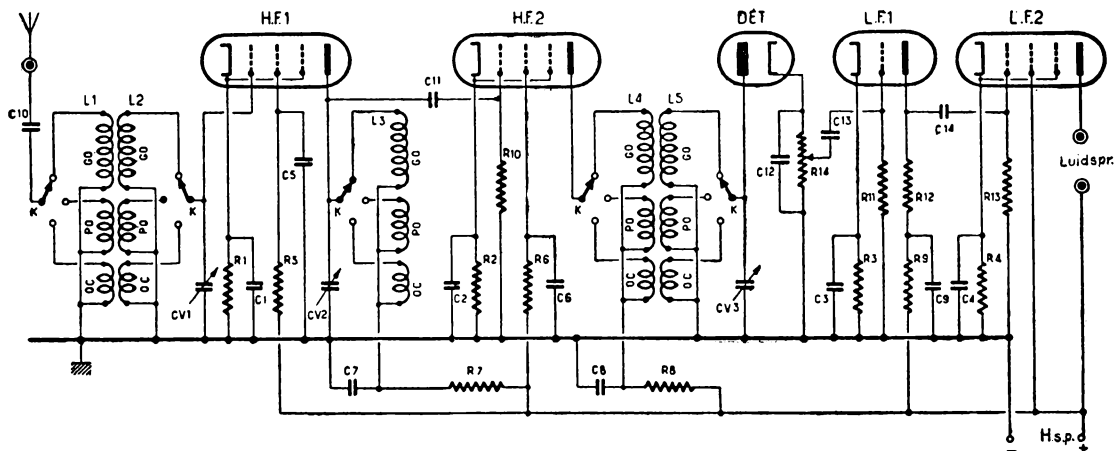
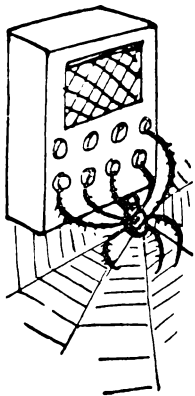


Fig. 77. Het definitieve schema voor het ontvangtoestel.

W. — Dat is niet moeilijk. Hier heb je het volledige schema (fig. 77). Let vóór alles op de weerstanden  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  en  $R_4$  voor de negatieve voorspanning; de weerstanden, die de spanningen van de schermroosters bepalen, zijn  $R_5$  en  $R_6$ ; de ontkoppelweerstand zijn  $R_7$ ,  $R_8$  en  $R_9$ ; de daarmee overeenkomende ontkoppelcondensatoren dragen dezelfde nummers.

## Er zijn golven en golven . . . .



Vr. — Wacht even . . . ! Er is nog iets anders, dat me erg nieuwsgierig maakt, nl. die spoelen  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$ ,  $L_4$  en  $L_5$ ; zij schijnen in drie delen verdeeld te zijn.  
W. — Ja, daar is een verklaring voor nodig. Je weet wel, dat er over de hele aardbol verdeeld een groot aantal radiozenders bestaat. Hun golflengten zijn hoofdzakelijk in drie „schalen” verdeeld:

1. de *lange golf*: van  $\pm 600$  m tot  $\pm 2000$  m;
2. de *middengolf*: van  $\pm 200$  m tot  $\pm 600$  m;
3. de *korte golf*: van  $\pm 10$  m tot  $\pm 200$  m.

Met elk van deze schalen, gebieden of banden zoals men ook wel zegt, komt een van de drie wikkelingen, waaruit onze spoelen bestaan, overeen. Men brengt ze naar behoefte in de kring met behulp van de golflengteschakelaar K.

Vr. — Maar moet je nu om al die spoelen op de gewenste golfband over te schakelen achtereenvolgens vijf knoppen omdraaien? Dan mag je wel net als een spin een heleboel poten hebben om snel te kunnen afstemmen . . . .

W. — Maak je maar niet ongerust, Vraagal, één enkele regelknop is voldoende om al die verbindingen gelijktijdig uit te voeren.

Vr. — Wat een geluk, dat er maar drie schalen zijn, anders werd het weer een verdraaid ingewikkelde boel.

W. — In werkelijkheid wordt er ook nog op andere golflengten, in andere banden dus, uitgezonden. Ik heb je daarnet voor het gemak maar aansluitende grenzen voor de golfgebieden gegeven, maar de korte golf loopt gewoonlijk maar tot 50 à 60 m. Wil je nu met draaibare condensatoren ter grootte van  $0,0005\mu\text{F}$  het gehele golfgebied van 12 tot 2000 m doorlopen, dan moet je over vijf zelfinductiewaarden kunnen beschikken. Men heeft dan een golflengteschakelaar voor vijf standen nodig (fig. 78).

Vr. — Gelukkig, dat er niet nog kortere golven worden gebruikt.

W. — Alweer mis! Voor televisie en ook voor F.M. (frequentiemodulatie), waar we later nog wel eens over zullen praten, worden metergolven gebruikt. En in de *radar* gaat het zelfs om decimeter- en centimetergolven. Maar daar hebben we het nu niet over.  
Vr. — Ik bekijk nog eens het schema van het toestel (fig. 77), maar ik kan mij de merkwaardige plaats van condensator  $C_7$  niet verklaren. Waarschijnlijk is dat de ontkoppelcondensator (met een weerstand  $R_7$ ) van de plaatkring van de eerste buis. Maar waarom is-t-ie geplaatst in de trillingskring, die door  $L_3$  en  $CV_2$  wordt gevormd?!

W. — Om een zeer prozaische reden: in de moderne variabele condensatoren zijn de draaibare platen niet meer geïsoleerd ten opzichte van het metalen condensatorhuis (alleen de vaste platen zijn geïsoleerd). Op zijn beurt is het condensatorhuis aan de metalen massa van het toestel bevestigd, dat de negatieve potentiaal van de hoogspanning heeft. Het is dus noodzakelijk, dat in ons toestel de beweegbare platen

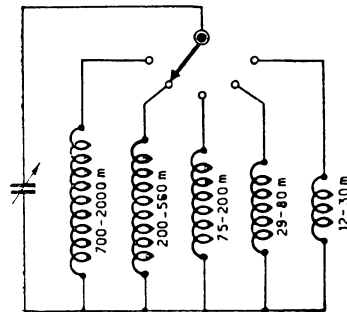
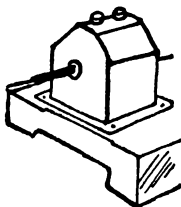
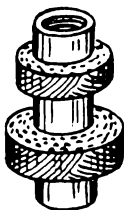
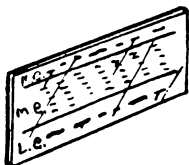


Fig. 78. Wijze van overschakeling voor vijf golfbanden.

van  $CV_2$  dezelfde potentiaal hebben als de  $-H$ -sp. Nu, spoel  $L_3$  is via  $R_7$  verbonden met  $+H$ -sp. Met het oog op de gelijke spanning is het dus nodig  $CV_2$  van  $L_3$  te scheiden, zonder evenwel de trillingskring voor de hoogfrequente stroom te onderbreken. Condensator  $C_7$ , die een tamelijk grote capaciteit heeft, leent zich zeer wel daartoe; terwijl hij de hoge frequentie heel vrij laat passeren, verhindert hij de gelijkstroom om door  $R_7$  heen van  $+H$ -sp. naar  $-H$ -sp. te gaan.

Vr. — Die uitlegging van zoëven heldert voor mij een ander probleem op, waarnaar ik gedurende een ogenblik erg nieuwsgierig was. Ik vroeg me af, waarom de detectieonderdelen  $R_{12}$  en  $C_{10}$ , die zich in het prinseschema tussen de kring  $L_2CV_3$  en de massa bevonden, nu tussen die kring en de anode van de diode zijn geplaatst. Ik denk ook, dat je dat met de bedoeling gedaan hebt om de platen van  $CV_3$  aan de massa te leggen.

W. — Ik zie, dat je de zaak goed begrepen hebt en ik meen, dat, waar zelfs de meest achterlopende klokken al middernacht hebben geslagen, wij hier ons onderhoud wel mogen afbreken.

### Een bedrieglijke naam . . . .

Vr. — Zeg mij alleen nog even, waarom staat die pijl op de detectieweerstand  $R_{14}$ ?

W. — In werkelijkheid is die weerstand een *potentiometer* . . . .

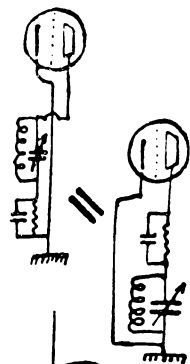
Vr. — Is dat een instrument om de potentiaal te meten?

W. — Neen, Vraagal, de afleiding van dat woord brengt je in de war. Een *potentiometer* is een weerstand, waarop een *schuifcontact* (in het schema door die pijl voorgesteld) het mogelijk maakt contact te maken op een der tussenvolgende punten.

Vr. — Maar waarom zit hij in dit toestel?

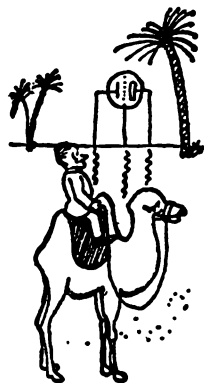
W. — Aan de weerstand  $R_{14}$  treden de gelijkgerichte spanningen op. Nu kan het voorkomen, dat deze te hoog zijn en dat zij na de laagfrequente-versterking een te krachtig geluid opleveren. Om de geluidsterkte te verminderen, is het nu voldoende als aan de volgende buis slechts een deel van de gelijkgerichte spanning wordt aangelegd. Dat is hier mogelijk dank zij de potentiometer  $R_{14}$ , waarvan het schuifcontact een groter of kleiner deel van de opgewekte spanning aftakt. Dus  $R_{14}$  dient voor de regeling van de geluidsterkte (*geluidsterkteregelaar*).

Vr. — Dat is dan inderdaad een zeer nuttig ding, en ik vind het erg jammer, dat mijn bovenbuurman, die verzot is op een trekpiano, niet wat vaker van zo'n potentiometer gebruik maakt.



Tot nu toe heeft Weetal met opzet het voedingsprobleem terzijde gelaten. Hij sprak wel over de bronnen voor de gloeistroom en de plaatstroom, zonder echter de samenstelling daarvan nader te omschrijven. Nu zal Vraagal horen, hoe de onderdelen voor gelijkrichting en afvlakking van de wisselstroom zijn samengesteld. De mogelijkheid van de voeding uit het gelijkstroomlichtnet zal eveneens behandeld worden, zodat de voeding voor onze lezer geen enkel geheim meer heeft.

### Voedingsproblemen



Vr. — Ik heb soms het gevoel van een dorstige reiziger, die in de woestijn achter een misleidende luchtspiegeling aan gaat. Zo was het, toen ik tijdens ons laatste onderhoud meende eindelijk een volledig en definitief schema voor een ontvangtoestel te hebben. Maar toen ik eenmaal weer thuis was, moest ik met teleurstelling constateren, dat er nog wel wat aan ontbrak.

W. — Wat dan, arme jongen?

Vr. — Een zeer belangrijk onderdeel: het voedingsapparaat, dat jij eenvoudig met de letters H-sp. (hoogspanning) hebt aangegeven. Maar die hoge spanning komt waarschijnlijk niet als een bliksemflits uit de hemel vallen?

W. — Je hebt gelijk! Maar je kunt altijd veronderstellen, dat het ontvangtoestel gevoed wordt door een batterij van elementen of door accu's.

Vr. — Ik houd er helemaal niet van zulke veronderstellingen te maken. Ik weet heus wel, dat men al sinds lang alleen nog elementen of accu's voor de voeding van draagbare ontvangtoestellen gebruikt of voor toestellen, bestemd voor de binnenlanden, waar men de zegeningen van de elektriciteit nog niet kent. Maar in vrijwel alle moderne toestellen zorgt tegenwoordig altijd de stroom van het lichtnet voor de voeding. Zoals de advertenties zeggen: „Een stopcontact . . . meer hebt u niet nodig.” Maar wat mij onbegrijpelijk voorkomt, is, dat hoewel de stroom in de meeste plaatsen wisselstroom is, men er toch gebruik van maakt om een gelijkspanning tussen de kathoden en de anoden der buizen te verkrijgen.

W. — Men bereikt dat door de wisselstroom vooraf gelijk te richten. Een wisselstroom *gelijkrichten* wil zeggen: hem verhinderen in de beide richtingen te lopen door hem één bepaalde richting op te dringen.

Vr. — Feitelijk is die gelijkrichting dus niets anders dan *detectie*.

W. — Ja, de methode en de gebruikte middelen zijn dezelfde. Alleen, hier hebben wij te doen met zgn. technische stroom van een frequentie, die ligt tussen 25 en 60 perioden per seconde (in Europa gewoonlijk 50, in Amerika 60 per sec) en ook moeten wij een vrij hoge stroomsterkte gelijkrichten: verscheidene tientallen mA. Voor de gelijkrichting gebruiken wij vanzelfsprekend een diode, waarvan de elektroden echter veel groter zijn dan die van een ontvangstdetectiediode. Deze diode wordt, „gelijkrichtbuis” of „plaatstroombuis” genoemd.

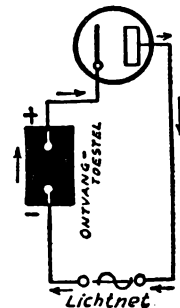
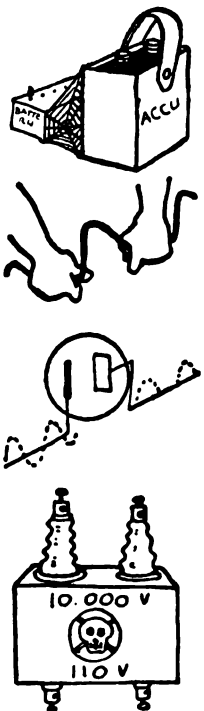


Fig. 80. Het schema van een allereenvoudigste gelijkrichter.

Vr. — Men behoeft dus slechts een dergelijke gelijkrichtbuis op het lichtnet aan te sluiten, om aan de stroom daarvan één richting op te dringen, want de elektronen kunnen zich alleen van de kathode naar de anode bewegen en niet omgekeerd.

W. — Zo is het! Het komt er niet op aan, of die buis (fig. 80) aan de plus- of aan de minus-zijde van de hoogspanning wordt geplaatst, d.w.z. bij de uitgang of bij de ingang van de elektronen. Het voornaamste is erop te letten, dat de richting van de door de buis toegelaten stroomloop zodanig is, dat de elektronen de ontvanger binnen komen, ten einde in de buizen wegen te volgen, die van de kathoden naar de anoden leiden.

### Pas op . . . ! Hoogspanning!

Vr. — Maar ik ben bang, dat de aldus verkregen hoogspanning onvoldoende is. Bv. ons net geeft maar 110 V. Nu, je hebt me verteld, dat sommige buizen tussen de anode en de kathode een spanning eisen van verscheidene honderden volts. Wat moet ik dan met mijn honderd en tien beginnen . . . ?

W. — Bovendien zal je daar nog een deel van verliezen door het spanningsverlies in de buis, die, dat mag je niet vergeten, een zekere inwendige weerstand heeft. Je bent er dus nog niet veel op vooruitgegaan . . . ; gelukkig beschikken wij over een zeer eenvoudig middel, dat het mogelijk maakt de spanning van de wisselstroom tot de gewenste hoogte op te voeren.

Vr. — Wat is dan dat wonderlijke middel?

W. — Een oude kennis van ons: de *transformator*. Veronderstel eens, Vraagal, dat we een transformator hebben met een gelijk aantal primaire en secundaire windingen. Als je nu aan de primaire honderdtien volt geeft, welke spanning zal er dan aan de einden van de secundaire ontstaan?

Vr. — Dezelfde, denk ik, want de beide wikkelingen zijn eender.

W. — Dat is goed geredeneerd. Maar veronderstel nu eens, dat de transformator verscheidene secundaire wikkelingen heeft, drie bv. die elk hetzelfde aantal windingen hebben als de eerste. Als we in dat geval aan de primaire 110 V geven, krijgen wij steeds 110 ook op elk der secundaire. Laten wij nu die drie secundaire wikkelingen eens in serie met elkaar verbinden. De spanningen worden dan samengevoegd, zodat wij tussen het begin van de eerste en het einde van de derde een spanning van 330 V verkrijgen.

Vr. — Ik zie, dat onze drie secundairen te zamen dus één wikkeling vormen. En om je te tonen, dat ik nog in staat ben gevolgtrekkingen te maken: ik concludeer hieruit, dat het met een transformator mogelijk is een spanning evenveel maal te verhogen of te verlagen, als de secundaire spoel meer, respectievelijk minder windingen heeft dan de primaire.

W. — Enorm Vraagal! Je spreekt als een natuurkundige verhandeling en je bent je naam hoe langer hoe minder waard. (Je weet nu meer dan je vraagt.) Zo zie je dus, dat het met een transformator erg gemakkelijk is de spanning te verhogen vóór de gelijkrichting van de stroom (fig. 81). Wij kiezen de verhouding van het aantal windingen (of: de *transformatieverhouding*) in overeenstemming met de spanningsverhoging, die wij willen verkrijgen.

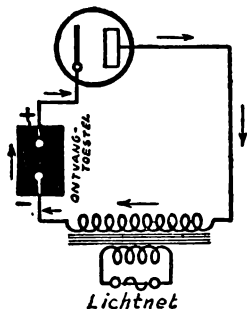
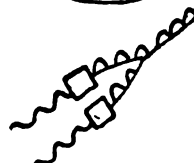
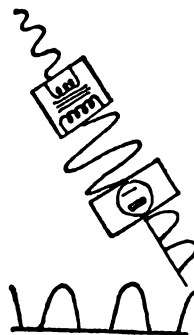
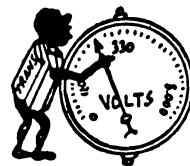
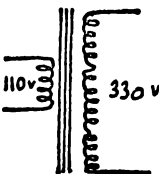
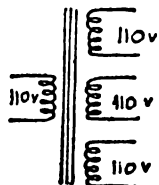
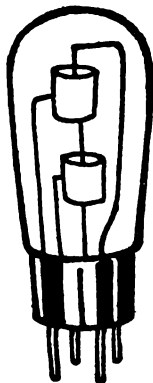
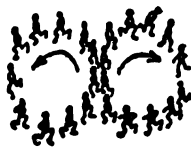


Fig. 81. Gelijkrichter met een transformator, die de spanning opvoert.



## De kunst om ook de overgeschoten stroomwisselingen te gebruiken



Vr. — Toch is er in dit alles nog iets, dat mij hindert. Iedere periode van de wisselstroom heeft twee fasen: één heen en één terug. Nou, wij gebruiken er maar één van (fig. 82). Zou men niet, door een of ander trucje, ook de stroom van de tweede halve periode (fase) kunnen verplichten om in de door hem gevoede ontvanger dezelfde vereiste richting aan te nemen?

W. — Ja, dat wordt verwezenlijkt bij de „tweezijdige of dubbelfasige gelijkrichting”. Wij zullen daartoe twee voedingselementen gebruiken, gelijk aan die van fig. 81. Door ze naast elkaar te plaatsen zien wij, dat in alle twee de stroom de ontvanger in dezelfde richting doorloopt (fig. 83). Zo kunnen wij dus één enkele ontvanger voeden (fig. 84). Elk der buizen zal een der twee stroomhelften gelijkrichten. Je kunt de stroombaan van elke halve periode natuurlijk gemakkelijk volgen.

Vr. — Inderdaad! Als gedurende één halve periode de elektronen de secundaire wikkelingen van links naar rechts doorlopen, zullen zij door de ontvanger gaan na  $S_1$  verlaten te hebben. Dan gaan zij in  $V_1$  van de kathode naar de anode en keren naar  $S_1$  terug. Zij kunnen daarentegen niet door  $S_2$  lopen, want de stroomrichting van de anode naar de kathode in  $V_2$  is hun versperd. Als zij tijdens de volgende halve periode in de secundaire van rechts naar links gaan, zullen zij bij het verlaten van  $S_1$  tegen de anode van  $V_1$  botsen, waar zij tegengehouden worden. Maar zij zullen bij het verlaten van  $S_2$  daarentegen met gemak door de ontvanger en de buis  $V_2$  heensnellen om naar  $S_2$  terug te keren. In beide gevallen doorkruisen de elektronen de ontvanger in dezelfde richting.



Fig. 82. Met getrokken lijnen: de vorm van de door de schakelingen volgens fig. 80 en 81 gelijkgerichte stroom. Met stippe lijnen: de door de buis tegengehouden, niet gebruikte halve perioden.

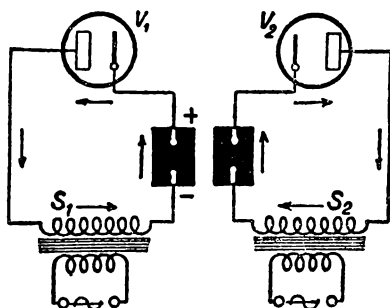
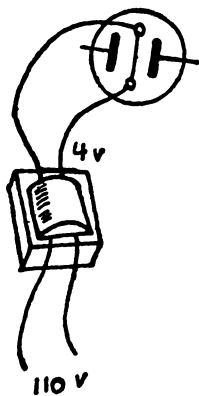


Fig. 83. Deze twee gelijkrichters zijn gelijk aan die van fig. 81. Zij richten elk één halve periode gelijk.

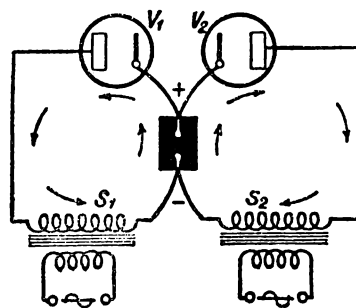


Fig. 84. De twee gelijkrichters van fig. 83 voeden dezelfde ontvanger, waarbij zij beide halve perioden gelijkrichten.

W. — Zo zie je, dat we beide halve perioden van de stroom gebruiken (fig. 86). Merk nu nog op, dat de twee secundaire spoelen één punt gemeen hebben. Wij kunnen dus de twee transformatoren door één enkele vervangen, waarvan de



secundaire in het midden een aftakking heeft. Bovendien worden de kathoden der beide buizen gecombineerd. Laten we verder de twee buizen in een gemeenschappelijke glazen bol plaatsen en de twee kathoden door één gemeenschappelijke vervangen. Zo krijgen we dan een buis met twee anoden of een „dubbelfasige gelijkrichtbuis”, waarvan de schakeling in fig. 85 is voorgesteld.

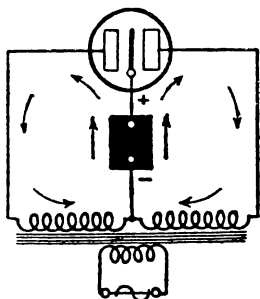
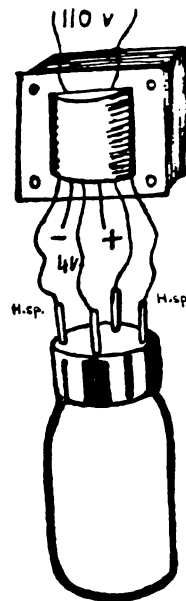


Fig. 85. Men kan de twee buizen van fig. 84 vervangen door één buis met twee platen: de zg. „dubbelfasige gelijkrichter”.



Fig. 86. Met getrokken lijnen: De vorm van de stroom, die verkregen wordt door gelijkrichting van beide halve perioden. Met stippellijnen: De door de ene anode tegengehouden, maar door de andere gelijkgerichte halve perioden.



### Evenwichtsvraagstukken

Vr. — Maar hoe voed je in al die gelijkrichtschakelingen de gloeidraad van de buis ten einde de kathode op de temperatuur te brengen, die nodig is voor de elektronen-emissie?

W. — Die gloeidraad wordt verhit door een wisselstroom van lage spanning (4 tot 6,3 V gewoonlijk). Men kan daarvoor ook een tweede transformator gebruiken, die de spanning verlaagt. Maar meestal wordt de gloeispanning verkregen door een kleine secundaire wikkeling, die behalve de hoogspanningswikkeling op de voedings-transformator is aangebracht. Overigens, gezien het feit dat de stroom, die de buizen moeten leveren, betrekkelijk sterk is, hebben zij meestal een direct verhitte kathode: de gloeidraad zelf dient als kathode, die de elektronen uitzendt.

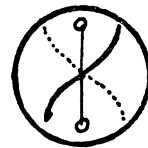
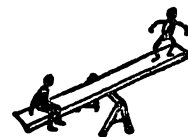
Vr. — En wordt zij in dat geval eveneens door wisselstroom gevoed?

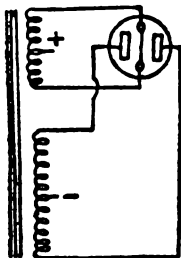
W. — Natuurlijk. Zo zien dan onze voedingsgelijkrichters (plaatstroom- of plaatspanningsapparaat noemden we dat vroeger) voor één (fig. 81) of voor twee (fig. 85) halve perioden er in de praktijk uit, zoals de fig. 87 en 88 aangeven.

Vr. — Maar waarom is dan in die schema's de ontvanger in plaats van direct met de gloeidraad van de buis verbonden te zijn, gekoppeld aan een aftakking in het midden van de gloeispanningswikkeling van de transformator?

W. — Omdat, terwijl de kathode van de buizen met indirecte verhitte op alle punten dezelfde potentiaal had, hier daarentegen de gloeidraad, waar de wisselstroom door loopt, in alle punten een veranderlijke spanning heeft. Ten opzichte van het middelpunt hebben de einden afwisselend een spanning van + 3,15 en - 3,15 V in de op 6,3 verhitte buizen.

Vr. — Dat doet me denken aan die wipplank uit mijn jeugd, die ik maakte door een lange plank op een schraag in evenwicht te leggen.





W. — Goed! Het enige punt, van die wip, dat onbeweeglijk bleef, was het middelpunt. Zo is ook in de gloeidraad het punt, welks potentiaal constant is, het middelpunt. Maar, omdat het moeilijk is daar binnenin de buis bij te komen, verbinden wij de ontvanger met het middelpunt van de gloeispanningswikkeling. Uit het ooppunt van de potentiaal zijn die twee punten dus in evenwicht.

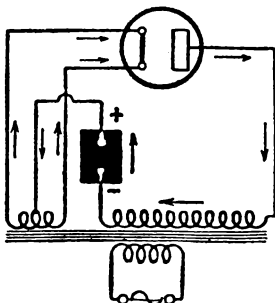


Fig. 87. Het praktische schema van de gelijkrichter van fig. 81.

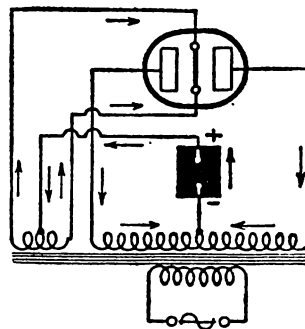


Fig. 88. Het praktische schema van de gelijkrichter van fig. 85.

(De pijlen geven de richting van de gelijkgerichte stroom aan.)

Overigens past men tegenwoordig hoofdzakelijk buizen met indirect verhitte kathode toe, zodat de positieve pool van de hoogspanning wordt gevormd door die kathode zelf.

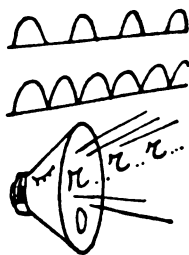
### Eau de cologne en . . . „afvlakking” van de gelijkgerichte stroom

Vr. — Wat mij enigszins verontrustend voorkomt, is, dat in onze gelijkrichters de kathode de positieve pool is en de wikkeling, die aan de anode ligt, de negatieve. Tot nu toe was ik gewend in de buizen van ons ontvangtoestel de plus te vinden aan de zijde van de anode en de minus aan de kant der kathode.

W. — Je maakt je nodeloos ongerust, Vraagal. Het is toch gewoon, dat datgene wat als energieleverancier dienst doet, juist het omgekeerde is van de verbruiker . . . En dan, vergeet niet, dat wij „anode” noemen het punt, waar de elektronen vertrekken en „kathode”, dat waar zij binnenkomen. Welnu, als zij de anoden der buizen van de ontvanger *verlaten*, komen de elektronen binnen bij de kathode van de gelijkrichter, *verlaten* diens anode en *komen binnen* in de kathoden der ontvangbuizen. Je ziet, dat het alles heel normaal is.

Vr. — Werkelijk. Maar . . . neem me niet kwalijk, ik heb vandaag reuze zin om tegenwerpen te maken . . . Maar, zeg ik, de stroom, die de gelijkrichter levert (fig. 82 of 86) heeft lang niet die mooie gelijkmatigheid, waardoor de gelijkstroom wordt gekarakteriseerd. Jouw gelijkgerichte stroom, al verandert hij dan ook niet van richting, is desniettemin een stroom van een voortdurend veranderende sterkte.

W. — Zeker. Als je hem zo ruw doorgeeft aan de ontvangbuizen, zullen de plaatstromen daarvan die veranderingen volgen, welke dan in de luidspreker worden omgezet in een oorverdovend geroffel.



Vr. — Maar er zal toch zeker wel een middel zijn om van die gelijkgerichte stroom een volkomen gelijkstroom te maken, niet?

W. — Natuurlijk! Dat geschiedt door „afvlakking”, of zoals men ook wel zegt: door *zeving*. De ongezeefde gelijkgerichte stroom is te vergelijken met zo'n straal eau de cologne, als die goedkope sproeiflacons geven, die maar één bal hebben, waarin men herhaaldelijk moet knijpen. Door een ventiel aan weerskanten van de bal veroorzaakt de afwisselende beweging van samenpersing en uitzetting een beweging van de lucht in één richting, hoewel erg hortend en stotend.

Vr. — Dat is dus een gelijkrichter!

W. — Net als je zegt! . . . Maar bij de betere soort vaporisator verkrijgt men een regelmatiger straal eau de cologne, dank zij een tweede bal, die achter de eerste wordt geplaatst. De tweede bal, waarvan de rubberwanden erg dun en rekbaar zijn, zet uit op het ogenblik, dat hij van de eerste een hoeveelheid lucht toegevoerd krijgt. Vervolgens, terwijl de eerste weer lucht inzuigt en opzwellt, loopt de tweede langzaam leeg en blaast in het gat van de flacon een regelmatige straal lucht. Zo vervult de tweede bal de rol van reservoir, dat bestemd is om de luchtdruk te regelen, doordat hij het overschot van de lucht opneemt op het moment, dat hij samengedrukt wordt en daarna leegloopt. . . . Herinner je je niet een ding, dat in de elektriciteit dezelfde rol vervult?

Vr. — De condensator! . . . Die heeft ook het vermogen zich te laden en te ontladen.

W. — Daarom gebruiken we voor de afvlakking of *zeving* een condensator. Door hem tussen de positieve en de negatieve pool van de gelijkrichter te plaatsen, vlakken wij het afgegeven vermogen daarvan af. Toch zal één condensator, zelfs met een grote capaciteit, misschien niet voldoende zijn. Dan doen wij een beroep op het principe van het vliegwiel, dat bij de stoommachines en de verbrandingsmotoren dient tot effening van de onregelmatigheid der door de heen en weer gaande zuigers opgewekte beweging. Door zijn traagheid handhaaft het vliegwiel de regelmaat van de beweging. Ken je nog een elektrische grootheid, die zich op de manier van de traagheid verzet tegen de veranderingen van de stroom?

Vr. — Natuurlijk: de zelfinductie!

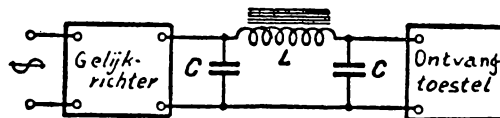
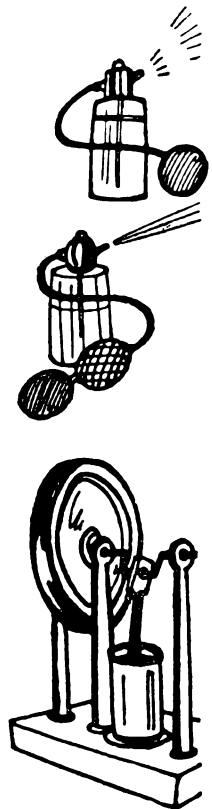
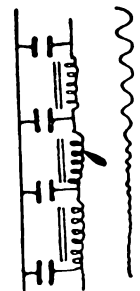


Fig. 89. Een zeefkring CLC, die geplaatst is tussen de gelijkrichter en de ontvanger dient tot „afvlakking” van de stroom.

W. — Prachtig! In de weg van de gelijkgerichte stroom plaatsen wij dan ook een spoel met een ijzeren kern (wij hebben immers te maken met een zeer lage frequentie) en met een zeer hoge zelfinductie. Tenslotte voltooiën wij onze zeef of filter (fig. 89) door een tweede condensator, die dient om de afvlakking te verbeteren. Voorts kan men, als men een uiterst zorgvuldige afvlakking wil hebben, van twee of drie in serie geschakelde *zeefkringen* (cellen) gebruik maken, die samengesteld zijn, zoals fig. 89 laat zien. Maar gewoonlijk is na één zeefkring de stroom voldoende afgevlakt om gebruikt te worden, zonder dat hij aanleiding geeft tot gebrom.



Vr. — Nog een laatste vraag: hoe verhit men de buizen van de ontvanger? Ik denk: óók door wisselstroom.

### De laatste woorden over de verhitting

W. — Daarin vergis je je niet. Te dien einde brengt men op de voedingstransformator (fig. 90) nog een derde secundaire wikkeling voor lage spanning aan, welke dient voor de verhitting van de gloeidraden der buizen. Om die gloeidraden op een constante en vooraf bepaalde potentiaal te houden, verbindt men die derde wikkeling soms aan de negatieve pool van de hoogspanning. En om het evenwicht volkomen te krijgen maken we de verbinding bovendien nog op het midden van de gloei-spanningswikkeling . . . En nu, Vraagal, weet je alles, wat je weten moest over de voeding van de ontvangtoestellen.

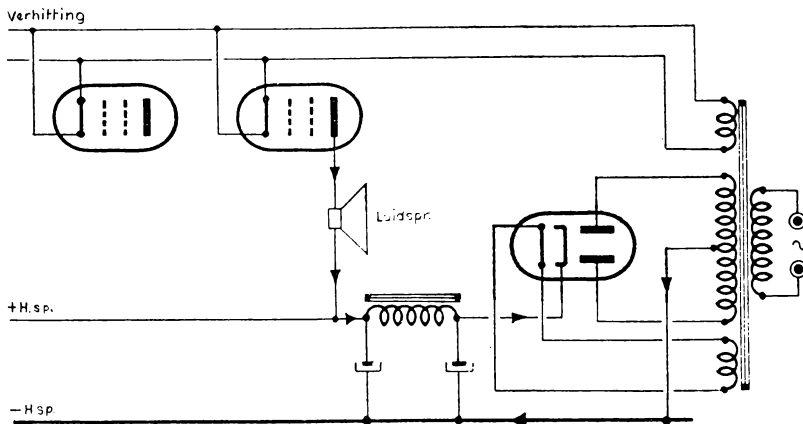
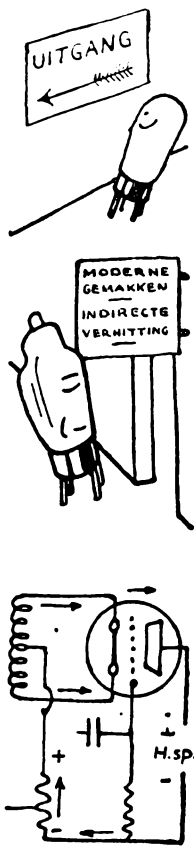


Fig. 90. De volledige voeding van een ontvangtoestel voor wisselstroom: gloei-stroom H-sp.-gelijkrichting door een dubbelfasige gelijkrichter met indirecte verhitting en afvlakking van de hoogspanning.

*Wat jammer dat de tekenaar de kathoden in de buizen heeft vergeten . . .*

### Vraagal begaat een onvergeeflijke fout

Vr. — Dat ben ik niet helemaal met je eens. Vergeet niet, dat ik een oom heb, die krantenstrips tekent, aan wie ik beloofd heb een ontvangtoestel te bouwen. Hij krijgt zijn stroom uit een gelijkstroomnet van 110 V.

W. — Juist, zegt wel „krijgt"! Want in het geval van een gelijkstroomnet heeft hij er niet aan te denken de spanning aldus te verhogen, tenzij hij een elektromotor gebruikt, die op zijn beurt weer een dynamo nodig heeft.

Vr. — En de transformator dan?

W. — Maar Vraagal! Je doet me blozen over zoveel domheid! Heb je dan, o domoor, alweer vergeten, dat een transformator gebaseerd is op het principe van de inductie en dat er in het geheel geen sprake is van inductie als er geen *verandering* van de stroom is?

Vr. — Ja, dat is zo, daar heb ik niet aan gedacht. Bijgevolg zou een transformator bij gelijkstroom nergens voor dienen. Maar wat moet ik dan doen?



W. — Tevreden zijn met de spanning, die je hebt en er zo min mogelijk van verkwisten door verlies. Er bestaan gelukkig speciaal voor dit geval gebouwde buizen, die zelfs bij een plaatspanning van 110 V nog een behoorlijk nuttig effect opleveren. Het spreekt vanzelf, dat wij nu de stroom niet behoeven „gelijk te richten”. Het blijft niettemin nodig hem af te vlakken . . .

Vr. — Gelijkstroom afvlakken?? Terwijl hij „gelijk” is?!

W. — Wind je niet zo op, vriendje! De stroom van het net, die wij gelijkstroom noemen, is in werkelijkheid aan een lichte variatie onderhevig. Dat komt door de manier van opwekking zelf, door de zg. „gelijkstroomdynamo's”. In werkelijkheid verwekken zij een wisselstroom, die gelijkgericht wordt door een synchrone, mechanische gelijkrichter, *collector* geheten.

Vr. — Het is weer allemachtig ingewikkeld en ik begrijp er niets meer van.

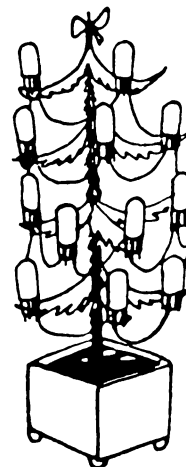
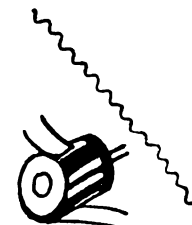
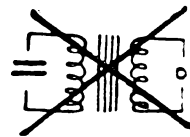
W. — Als je nog enig restje van begrip van de elektrische machines had overgehouden, zou je mij begrepen hebben. Maar dat begrip is helemaal niet noodzakelijk voor onze radiostudie. Het is genoeg, als je maar weet, dat de gelijkstroom van het net wegens die lichte golving gezeefd (afgevlakt) moet worden, door een zeef, gelijk aan die van fig. 89. Dit geschiedt, vóórdat de stroom aan de ontvangbuizen wordt doorgegeven.

Vr. — En de verhitting?

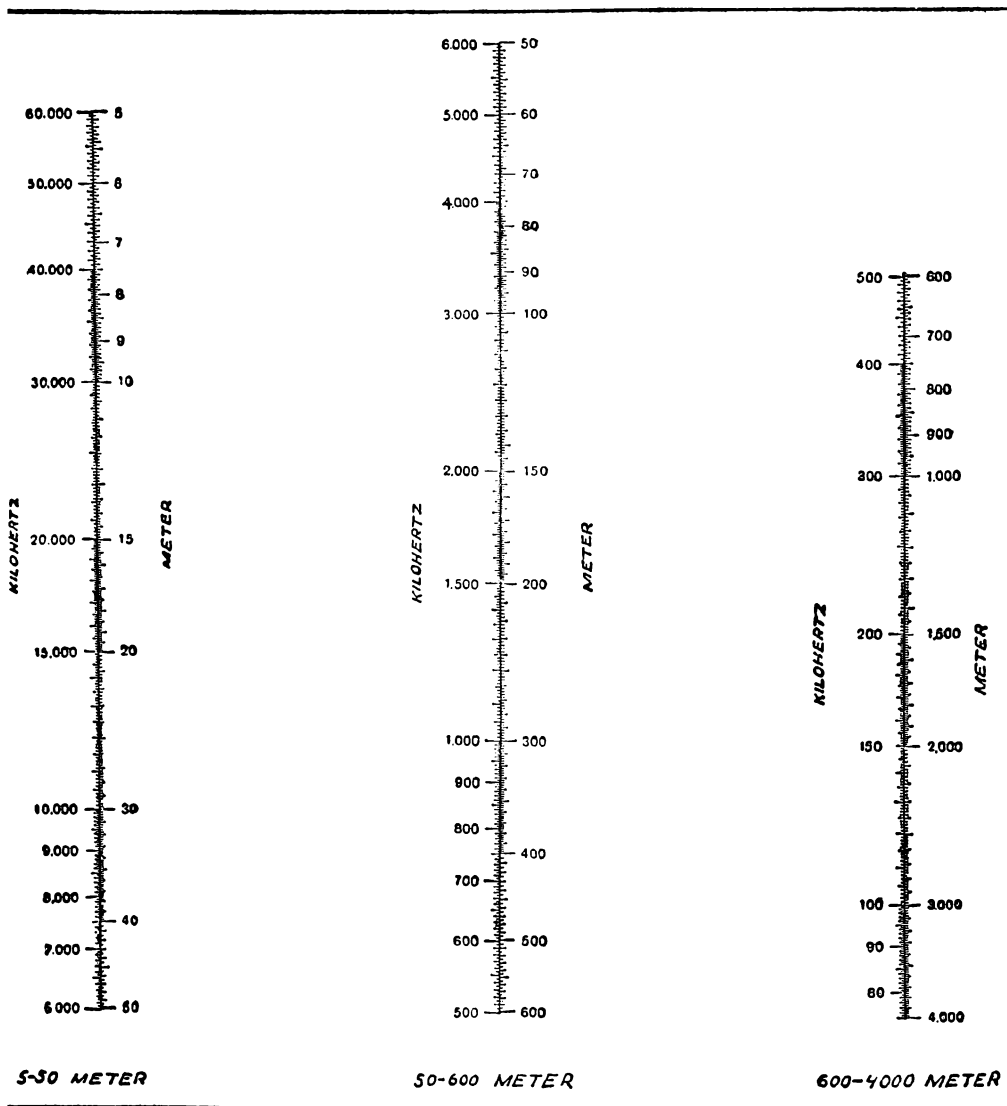
W. — Ook daarvoor is de gelijkstroom minder handelbaar dan de wisselstroom. Daar men in de onmogelijkheid verkeert de spanning met behulp van een transformator te verlagen, moet men een spanningsval veroorzaken in een zorgvuldig berekende „voorschakel”-weerstand, zodat aan de gloeidraden juist de noodzakelijke spanning gegeven wordt, niet meer en niet minder. Overigens maakt men voor verhitting door gelijkstroom speciale buizen, waarvan de gloeidraad wordt verhit onder een spanning van tientallen volts. Men moet die gloeidraden in serie schakelen. Zodoende is voor vijf gloeidraden, die elk 20 V behoeven, als zij in serie geschakeld worden, 100 V nodig. Men kan ze dus zonder gevaar op 110 V aansluiten, mits je de 10 V, die er nog teveel zijn overgebleven, in een serieweerstand „wegwerkt”.

Vr. — Dat is dan hetzelfde systeem als gebruikt wordt om een kerstboom te verlichten. Dan gebruikt men een snoer met lampjes van een lage spanning, die in serie zijn geschakeld.

W. — Zo is het! En, Vraagal, nu je alle geheimen kent van de gelijk- of wisselstroomvoeding, mag ik zeker wel wat gaan uitrusten?



## Het verband tussen frequentie en golflengte



Om een golflengte te vinden, die met een bepaalde frequentie overeenkomt (of omgekeerd), bepaalt men het overeenkomstige punt op de schaal van de frequenties en datzelfde punt wijst dan op de schaal aan de andere kant van de lijn de golflengte aan. De frequenties zijn uitgedrukt in kilohertz, d.w.z. in duizendtallen perioden per seconde.

Voorbeelden: 20 000 kilohertz = 15 m.

1 200 kilohertz = 250 m.

400 kilohertz = 750 m.

*In dit gesprek behandelen onze vrienden eindelijk het principe der frequentietransformatie, waarop die ontvangoestellen zijn gebaseerd, welke wij „superheterodynes” noemen. Het begin van dit gesprek eist ditmaal van de zijde van Vraagal — en ook van de lezer — bijzondere aandacht. Als het kritieke ogenblik eenmaal voorbij is, is er niets eenvoudiger dan de verschillende bestudeerde schakelingen, met inbegrip van die met een heptode of een octode.*

**Vraagal brengt zijn buurman tot razernij**

Vr. — Ik wil mij niet als martelaar voordoen, beste Weetal, maar toch schijnt het me toe, dat ik een slachtoffer van de wetenschap ben . . .

W. — Waarom dan, arm schaap?

Vr. — Toen ik zoëven mijn huis verliet, kwam ik op de trap mijn buurman tegen, die me, razend van woede, beloofd heeft mij een pak slaag te geven de eerste de beste keer, dat ik zijn radio weer zou laten gillen. Hoe kan ik nou zijn muziekdoos laten gillen, zingen of huilen!! . . .

W. — Ik zal je uit de droom helpen, Vraagal. Met jouw teruggekoppelde detector (waarover je moeder mij al bittere verwijten heeft gemaakt) kun je prachtig alle ontvangoestellen in de buurt laten gillen. Om dat te bereiken is het voldoende,

dat je de grens van genereren overschrijdt. Op dat moment wordt je teruggekoppelde detector een waar zendertje.

Vr. — Wat zeg je me daar, Weetal! Zelfs als ik aanneem, dat de anderen de door mij uitgezonden golven kunnen waarnemen, dan zullen die toch tot geen enkel geluid aanleiding geven? Zij zijn immers afkomstig van een zuivere hoogfrequente stroom zonder enige geluidsmodulatie?

W. — Het is waar, dat jouw zendertje een ongemoduleerde hoge frequentie uitzendt. Na gelijkrichting in het toestel van je buurman zou die stroom niets laten horen, als hij niet gecombineerd (*gesuperponeerd of gemengd*) werd met de hoogfrequente stromen van de stations, waarnaar je buurman wil luisteren. Welnu, als twee wisselstromen van verschillende frequentie gemengd worden, ontstaat tussen hen een *interferentieverschijnsel* of een *zweving*, die aanleiding kan geven tot een stroom van hoorbare frequentie.

Vr. — Dat is zonderling. Mij dunkt, dat als twee hoogfrequente stromen gemengd werden, zij een stroom met een nog hogere frequentie zouden voortbrengen.

W. — Laten we, als je het goed vindt, die zaak eens wat nader bekijken. Veronderstel eens, dat wij twee stromen hebben, waarvan de frequenties (en dus ook het periodental) niet helemaal dezelfde zijn ( $f_1$  en  $f_2$  in fig. 91) en dat die twee stromen op hetzelfde ogenblik „beginnen”. In het begin versterken zij elkaar onderling dwz. hun amplituden worden gewoon opgeteld. Maar na verloop van enkele perioden wordt het verschil in periode meer merkbaar, de amplituden worden niet meer

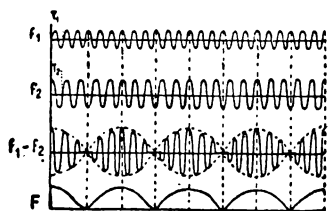
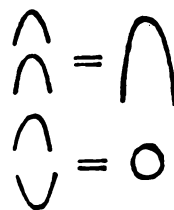
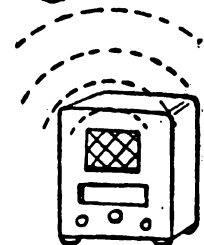
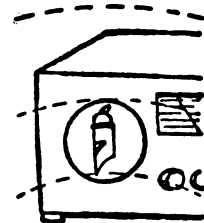
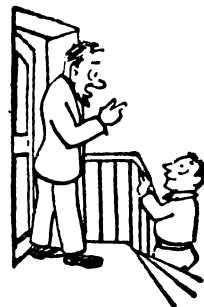
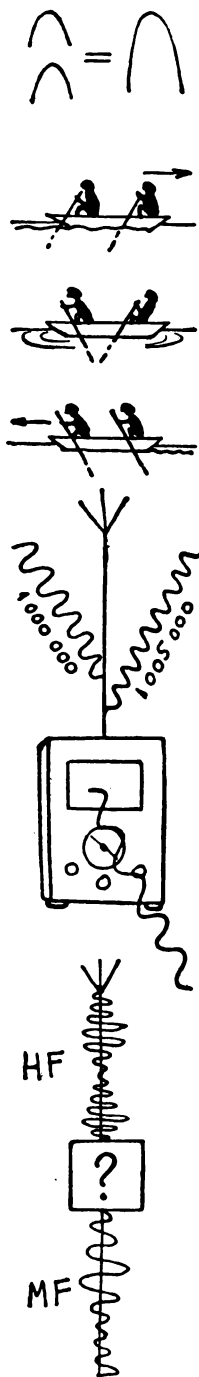


Fig. 91. Door superpositie (menging) geven twee trillingen  $f_1$  en  $f_2$  aanleiding tot een samengestelde trilling  $f_1-f_2$ , die na gelijkrichting de stroom  $F$  doet ontstaan.





samengevoegd en weldra beginnen de stromen, die nu in tegengestelde richtingen lopen, elkaar te verzwakken tot het punt, waarop zij elkaar gedurende een kort moment opheffen. Op dat punt werken zij elkaar volkomen tegen. Maar het periodenverschil blijft en langzamerhand verzwakken zij elkaar weer hoe langer hoe minder, daarna versterken zij elkaar meer en meer enz. En alles begint van voren af aan, want het periodenverschil blijft bestaan. Je ziet dus, dat de resulterende stroom bestaat uit een serie stoten, waarvan de amplitude periodiek toe- en afneemt ( $f_1 - f_2$  in fig. 91) en met een frequentie, die ver beneden die van onze twee samengestelde stromen afzonderlijk ligt. Als je die resulterende stroom gelijkricht, krijg je een stroom (fig. 91) met een frequentie  $F$ , die de variatie van de amplitude der stoten karakteriseert. De frequentie van de resulterende stroom is gelijk aan het verschil van de beide frequenties der samenstellende stromen.

Vr. — Och hemel, wat is het toch ontzettend ingewikkeld! . . . Ik geef maar liever de voorkeur aan een eenvoudig voorbeeld . . . Is het niet net als met twee roeiers, die zonder de riemen uit het water te halen, met een klein verschil van ritme roeien? Ook bij hen zal, dunkt mij, een trilling of schommeling ontstaan. Als hun bewegingen samenvallen, zal hun bootje erg schokken. Daarna komt er een verschil in hun bewegingen, dan neemt het schokken af. Tenslotte zijn hun bewegingen tegengesteld. Dan komt de boot niet vooruit. Langzamerhand vallen de bewegingen weer samen en het bootje gaat wederom schokken. En zo verder. Afwisselend zal de boot schokken en stil liggen.

W. — Ik merk, dat je het interferentieverschijnsel, dat voortvloeit uit de bijeenvoeging van periodieke bewegingen van ongelijke frequentie, hebt begrepen. Veronderstel nu eens, dat je buurman naar een uitzending luistert, uitgezonden op een frequentie van 1 000 000 perioden per seconde en dat jij met die fraaie teruggekoppelde detector „uitzendt” — want dat is het eigenlijk — op 1 005 000 per seconde. Die twee stromen, die gemengd worden in het ontvangoestel van je arme buurman, zullen daar aanleiding geven tot een stroom, waarvan de frequentie gelijk is aan het verschil der beide andere, alzo 1 005 000 — 1 000 000 = 5000 per seconde. Die resulterende stroom is volkomen hoorbaar en laat van zich blijken in de vorm van een schelle fluittoon. En zo val jij dus je buurman lastig!

Vr. — Ik verzeker je, dat ik onbewust gezondigd heb en nu ik het weet, kan . . .

W. — . . . je met gemak de theorie van de *superheterodyne* begrijpen, dat is het ontvangoestel, dat gebaseerd is op het interferentieverschijnsel.

Vr. — Is dat een voortdurend gillende ontvanger?!

W. — Neen, dat niet; het is een toestel met „onhoorbaar gefluit”!

Vr. — Ondanks dat je me dergelijke uitleggingen geeft, wil je toch nog maar steeds beweren, dat de radio-techniek zo eenvoudig is? . . .

### Van de hoge, door de midden-, naar de lage frequentie

W. — Word maar niet boos, beste jongen. In de *superheterodyne* wekt men zwevingen op tussen de hoogfrequente stroom van het beluisterde station en de hoogfrequente stroom van een *oscillator* — men zegt ook wel *hulposcillator* —, die in de ontvanger zelf is geplaatst. Alleen stemt men de oscillator op een dusdanige frequentie af, dat de resulterende stroom van de interferentie zelf een betrekkelijk hoge frequentie heeft, gewoonlijk hoger dan 100 000 Hz; een stroom van een dergelijke frequentie is natuurlijk onhoorbaar.



Vr. — Ik zie nog niet erg het nut in van dat vervangen van een hoge frequentie door een andere, die niet zo hoog is, maar niettemin onhoorbaar.

W. — Laat mij je in een paar woorden de werking van de *superheterodyne* of *zweivingsontvanger* uitleggen, dan zal alles je wel duidelijk worden. Wij krijgen dus in de superheterodyne de hoofdfrequentie stroom, die door de golven van een zender in de antenne is geïnduceerd. Bovendien hebben wij de stroom, die met een klein verschil van frequentie door de eigen oscillator is voortgebracht. Die twee stromen worden gemengd en geven aanleiding tot een derde stroom met een veel minder hoge frequentie, welke men de *middenfrequentie* (M.F.)\* noemt; die stroom is op dezelfde wijze gemoduleerd als de oorspronkelijke stroom van de antenne, want door de frequentie-omzetting wordt niet in het minst de geluidsmodulatie aangetast, die de microfoon in de studio van de zender aan de hoogfrequente stroom heeft gegeven. Maar onze middenfrequente stroom is veel gemakkelijker te versterken dan de oorspronkelijke stroom, omdat de frequentie lager is en de ongewenste capaciteiten er dus minder inwerking op hebben. Wij versterken die stroom dus in de versterktrappen voor de middenfrequentie, vervolgens richten wij hem gelijk, zoals iedere hoogfrequente stroom en tenslotte, nadat wij de aldus verkregen laagfrequente stroom hebben versterkt, sturen wij hem naar de luidspreker.

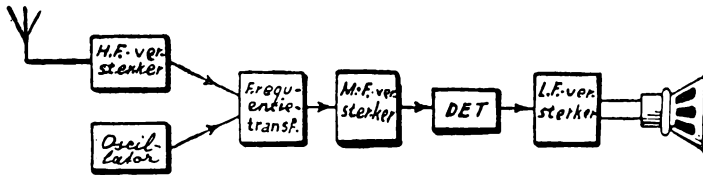
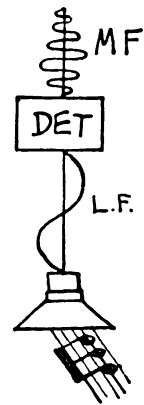
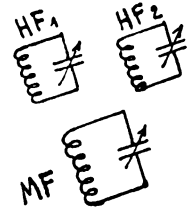


Fig. 92. Schematische samenstelling van een superheterodyne (zweivingsontvanger).



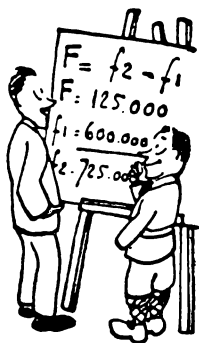
Vr. — Ik zie, dat de superheterodyne een verschrikkelijk ingewikkeld werktuig is. Tot nu toe bestonden de door ons bestudeerde ontvangtoestellen uit H.F.-trappen, een detector en L.F.-trappen. Daarentegen heeft men in de superheterodyne een oscillator, een frequentie-omvormer, M.F.-trappen, een detector en L.F.-trappen. Een dergelijk ontvangtoestel zal wel erg moeilijk te regelen zijn: in plaats van de kringen op één enkele frequentie af te stemmen, zoals wij tot nu toe hebben gedaan, moet men de ingangskring afstemmen op de frequentie van de gewenste uitzending, de oscillatorkring op een andere frequentie en dan de kringen van de M.F.-versterker nog weer op een derde . . . .

### Vraagstuk gevoelt zich al tot de superheterodyne aangetrokken

W. — Wees maar gerust, Vraagstuk, een der belangrijkste voordelen van de superheterodyne heb ik nog niet voor je onthuld: de M.F.-kringen worden eens en voor altijd op een bepaalde frequentie afgestemd. Men regelt dus de oscillator voor iedere uitzending zo, dat de stroom, welke met die van de antenne wordt gemengd, steeds dezelfde resulterende frequentie veroorzaakt.



\* Men moet M.F. (= middenfrequentie) niet verwarren met F.M. (= frequentiemodulatie)! Maar dat wordt nog besproken....



Vr. — Ik geloof, dat een voorbeeld met cijfers niet overbodig zou zijn.

W. — Veronderstel maar eens, dat wij een superheterodyne hebben, waarvan de M.F.-trappen zijn afgestemd op 125 000 Hz. Om een uitzending van 600 000 Hz te ontvangen (d.i. een golflengte van 500 m) moet men dus de oscillator afstemmen op 725 000 Hz. In werkelijkheid is dan de resulterende frequentie gelijk aan het verschil der beide samenstellende frequenties, dus:

$$725\ 000 - 600\ 000 = 125\ 000\ \text{Hz.}$$

Om een andere uitzending, van bv. 850 000 Hz, te ontvangen, stemmen wij de oscillator af op 975 000 Hz, want dan krijgen we weer:

$$975\ 000 - 850\ 000 = 125\ 000\ \text{Hz.}$$

Vr. — Nu geloof ik wel, dat ik het begrijp. De M.F.-afstemkringen behoeven derhalve, als men van de ene uitzending op de andere overgaat, niet telkens afgestemd te worden. Ik denk, dat men daar zelfs geen draaibare condensatoren bij nodig heeft, want hun afstemming verandert toch niet. Dus, in een superheterodyne moeten slechts twee kringen afgestemd worden: de ingangskring (op de uitzending) en de oscillatorkring (op een frequentie boven de te ontvangen frequentie ter waarde van de middenfrequentie). Zo wordt de regeling dan eigenlijk erg simpel!

W. — Zelfs nog simpeler dan je denkt. De beide condensatoren worden gewoonlijk met één en dezelfde knop geregeld. Men richt het zo in, dat de beide frequenties in alle standen van de condensator hetzelfde verschil hebben.

Vr. — Maar hoe brengt men in de praktijk dat mengen van de beide trillingen tot stand?

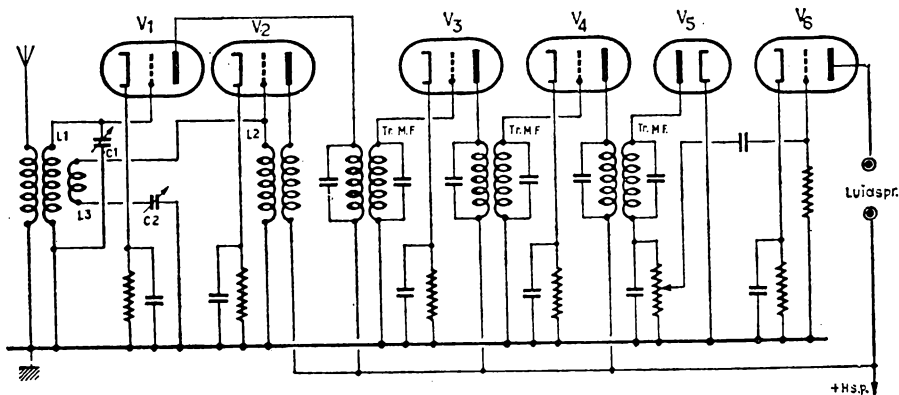
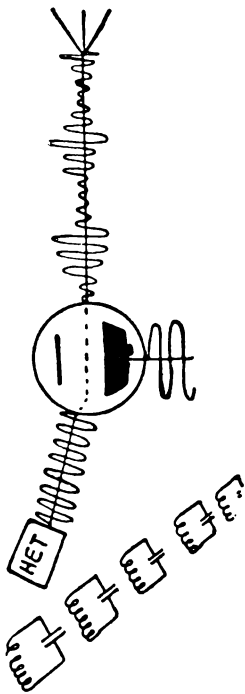
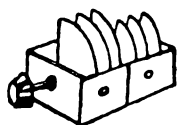


Fig. 93. Schema van de superheterodyne met afzonderlijke oscillatorbuis  $V_2$ .

W. — Voor de frequentie-omvorming bestaan talloze systemen. Hun principe is vrijwel hetzelfde, zodat het voldoende is als ik je de voornaamste en vooral de meest gebruikelijke beschrijf. Het oudste systeem is dat, wat in zeker opzicht het principe van de superheterodyne zelf als schema heeft (fig. 93). Een afzonderlijke oscillator  $V_2$  bevat in de trillingskring  $L_2C_2$  een kleine „koppelspoel”  $L_3$ , die inductief gekoppeld is met spoel  $L_1$  van de ingangskring. Dank zij deze koppeling brengt de

oscillator zijn trillingen over in de kring  $L_1C_1$ . Zo worden dan aan het rooster van buis  $V_1$  tegelijkertijd twee wisselspanningen gegeven: die van de antenne en die van de oscillator. De buis  $V_1$  werkt als detector in de bocht van de plaatkarakteristiek al naar gelang de geschikte voorspanning, waarvoor de kathodeweerstand zorgt. De plaatstroom vertegenwoordigt dan ook de trilling, die het resultaat is van de menging der beide aan het rooster gegeven trillingen: dat zal dan de middenfrequente stroom zijn. Zoals ik de ontvanger heb getekend, bevat hij achtereenvolgens twee versterktrappen voor M.F. ( $V_3$  en  $V_4$ ), gekoppeld door transformatoren met afgestemde primaire en secundaire. Vervolgens komt de diodedetector ( $V_5$ ) en de L.F.-versterker ( $V_6$ ).

Vr. — Ik zie, dat de M.F.-koppelkringen uit zes trillingsketens bestaan. Ik veronderstel, dat zij het ontvangtoestel een enorme selectiviteit zullen geven.

W. — Zeker! En dat is nog een voordeel van de superheterodyne. In de ontvangtoestellen met directe hoogfrequente versterking kan men niet gemakkelijk het aantal afgestemde kringen vergroten wegens de moeilijkheid gelijktijdig zoveel variabele condensatoren te regelen en het gevaar van sterke ongewenste koppelingen. In een superheterodyne daarentegen is er niets, dat zich verzet tegen een vergroting van het aantal trillingskringen, want hun afstemming, tenminste wat de M.F. aangaat, is steeds dezelfde.

Vr. — Ik voel me nu ten zeerste aangetrokken door de voordelen van de frequentie-transformatie. Zou ik volgens jouw schema nu een toestel kunnen maken?

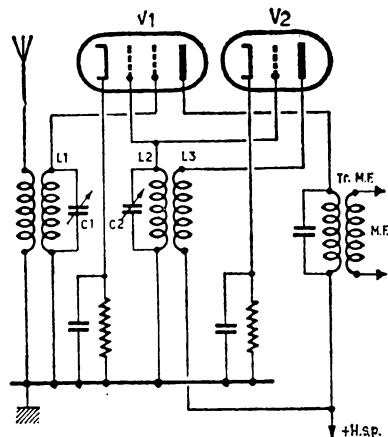
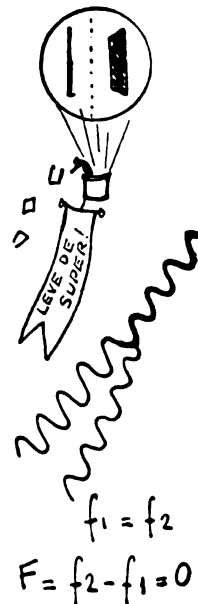


Fig. 94. Frequentie-transformatie door de dubbelrooster-modulatorbuis of mengbuis  $V_1$  en een triode-oscillator  $V_2$ .

W. — Dat middel bieden de buizen met verscheidene roosters, bv. een buis met twee roosters: de dubbelroosterbuis. De trilling van de oscillator wordt aan het eerste rooster gegeven en die van de opgevangen uitzending aan het tweede (fig. 94). Op die manier beïnvloeden beide trillingen gelijktijdig de plaatstroom, die er het gevolg van is. Je ziet, dat er bij deze schakeling geen enkele magnetische koppeling bestaat tussen de kringen  $L_1C_1$  en  $L_2C_2$ .



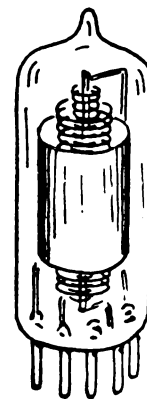
### Het aantal roosters groeit

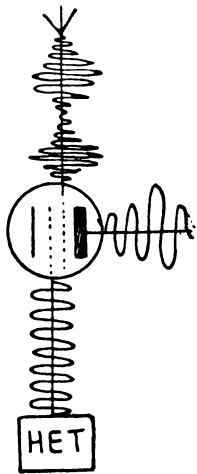
W. — Geen denken aan! Dit schema heeft veel gebreken. Sinds lang geeft men niet meer de beide trillingen aan dezelfde elektrode van de buis en ook vermijdt men een zo vaste koppeling tussen de trillingskring van de ingangszijde en die van de oscillator.

Vr. — Is er dan een nadeel aan die vaste koppeling verbonden?

W. — Ja, en wel een zeer groot. Omdat hun afstemmingen niet veel verschillen, kan de oscillator niet alleen gaan oscilleren op de frequentie van de *eigen* kring  $L_2C_2$ , maar ook op die van de ingangskring  $L_1C_1$ ; en dan krijgen wij geen enkele frequentieverandering. Men noemt dat het „meeslepen” of „meetrekken” der trillingen.

Vr. — Dat is erg vervelend. Toch zie ik geen middel om de trillingen te mengen met algehele onderdrukking van de koppeling tussen de beide kringen.





Vr. — Inderdaad. De twee trillingen beïnvloeden de plaatstroom onafhankelijk van elkaar.

W. — Toch wordt die schakeling, ofschoon vroeger erg in trek, nu niet meer toegepast, want hij heeft — naast nog andere fouten — het gebrek een ongewenste koppeling op te leveren tussen de twee afgestemde kringen door . . .

Vr. — . . . dat snap ik al: door de capaciteit tussen de twee roosters. Is het niet zo?

W. — Je hebt het bij het rechte eind. En nu je zo op dreef bent met het raden van mijn gedachten: zou je een middel tegen deze narigheid kunnen aanbevelen?

Vr. — Natuurlijk! We kunnen volstaan met tussen de twee roosters een afrastering te plaatsen, m.a.w. een schermrooster.

W. — Men gaat zelfs nog verder, waarde vriend, door een der roosters, en wel dat waaraan de oscillator is verbonden, tussen twee schermroosters te plaatsen, terwijl men er dan nog een remrooster bijvoegt.

Vr. — In je schema (fig. 95) zie ik, dat het aldus ingeblikte rooster datgene is, wat het dichtst bij de anode staat. Ik heb daar overigens ook geen bezwaar tegen. Maar hoe noem je nu zo'n buis met zeven elektroden?

W. — Dat heet een *hexode*. Men beschouwt namelijk de twee schermroosters als één elektrode, zodat er in totaal maar zes elektroden zijn. En zes is in het Grieks *hexa*. Met een dergelijke buis heeft men niet meer bang te zijn voor ongewenste koppelingen tussen de op de te ontvangen uitzending afgestemde kring en die van de met een triode uitgeruste oscillator. Die laatste kan overigens zonder enig bezwaar in dezelfde ballon worden geplaatst als de hexode. De twee elektrodesystemen kunnen dan nog een gemeenschappelijke kathode hebben ook. En dat is dan de *triode-hexode*, die men tegenwoordig veelal in de moderne frequentiemengtrappen gebruikt.

Vr. — Ik zie, dat de beide schermroosters binnenin de buis met elkaar zijn verbonden.

W. — Dat is volkomen in de haak, want ze hebben allebei dezelfde potentiaal, die men kan bepalen met behulp van een lekweerstand  $R$ , verbonden aan de positieve pool van de hoogspanning en ontkoppeld door de condensator  $C$ .

### In het koninkrijk der roosters

Vr. — Je triode-hexode is allemachtig ingewikkeld met zijn acht elektroden. Zou men nu niet, in plaats van die twee groepen elektroden naast elkaar te plaatsen, ze tot één geheel kunnen samenvoegen? Ik zou veel liever een triode zien, waarvan de anode zo klein was, dat hij net voldoende zou zijn om de trillingen van de oscillator op gang te houden. Hij zou op die manier de elektronenstroom laten passeren naar de volgende elektroden, die dan de onderdelen waren van de hexode bv. naar een eerste schermrooster, het rooster, waaraan het te ontvangen signaal wordt doorgegeven . . .

W. — Men noemt dat het signaalrooster . . .

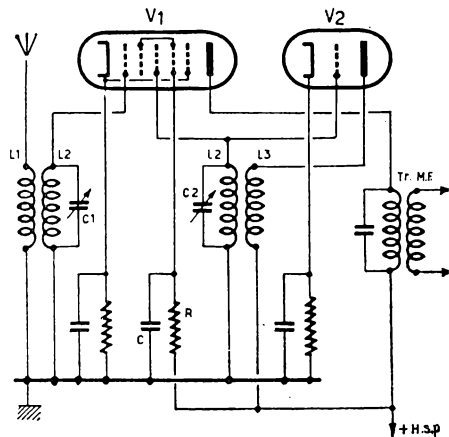
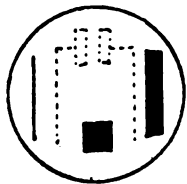
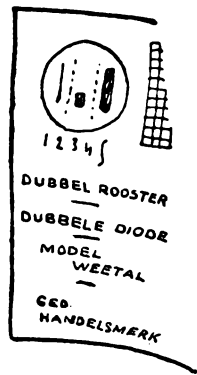


Fig. 95. Een hexode zorgt beter voor het mengen van de frequenties dan de ouderwetse dubbelroosterbuis.



Vr. — Dank je wel! En ten slotte het tweede schermrooster en de anode.

W. — Daar heb je nu zojuist de *heptode*, dat is dus een buis met zeven elektroden, opnieuw uitgevonden, arme technicus! En als je er nu nog een *remrooster* aan toevoegt, krijg je de acht elektroden van de *octode* (fig. 96).

Vr. — Die bestaat dus ook?!

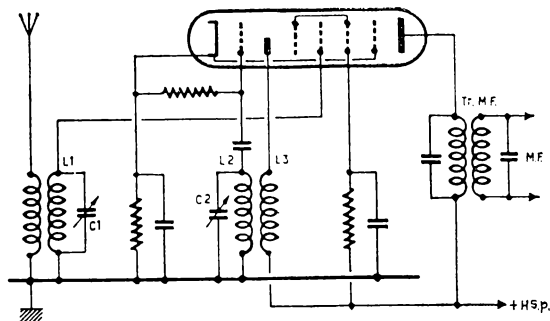
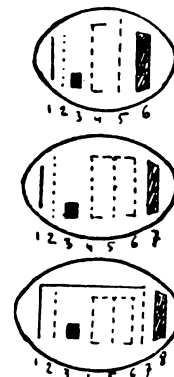


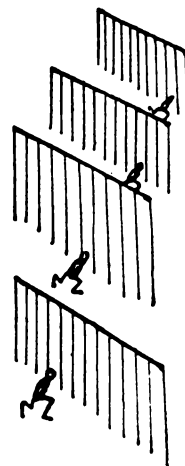
Fig. 96. Schakeling van een octode als frequentie-mengbuis. (In de heptode ontbreekt het laatste rooster.)



W. — Laten we liever zeggen, dat hij bestond, want tegenwoordig is men wat afkerig van heptoden en octoden, daar men de voorkeur geeft aan de trioden-hexoden, waarin beter een scheiding te maken is tussen de oscillatortrillingen en het te ontvangen signaal.

Vr. — Je hebt mij helemaal geroosterd met al die roosters . . . Om mij zelf weer een beetje op de been te helpen, ga ik proberen de rollen van de verschillende elektroden in de octode samen te vatten:

- 1e. De kathode, die vanzelfsprekend dient voor de elektronenemissie.
  - 2e. Het eerste rooster, dat is dat van de hulposcillator. Dat is dus het oscillatorrooster.
  - 3e. De kleine anode van de oscillator of de oscillatoranode.
  - 4e. Het eerste schermrooster, dat bestemd is om de capacitieve koppeling tussen het oscillatorrooster en het rooster, waarop de antennetrillingen voorkomen, te vermijden.
  - 5e. Aan dit rooster sluit men de antennekring aan.
  - 6e. Het tweede schermrooster. Het is bestemd voor de versnelling van de elektronenstroom.
  - 7e. Het remrooster, dat de secundaire elektronenemissie onschadelijk maakt. Dit verhindert de elektronen om van de plaat naar het tweede schermrooster terug te vliegen.
  - 8e. Tenslotte is er de anode, die de resulterende middenfrequente stroom levert.
- W. — Dat is prachtig, Vraagal! Ik zie, dat je je gemakkelijk kunt oriënteren.
- Vr. — Maar wat ik niet begrijp is, hoe de elektronen zich kunnen oriënteren en zich niet in de weg vergissen . . .



Vraagal heeft lang nagedacht over de superheterodyne en er een onoverkomelijke fout in ontdekt. Gelukkig heeft Weetal de gewoonte alle hinderpalen om te blazen... En zo gelukt het onze vrienden het schema van een ontvangtoestel zo te maken, dat het volkomen uitvoerbaar is. Om dit onderhoud af te sluiten, geeft Weetal aan zijn leerling een uiteenzetting van de samenstelling en werking van verschillende soorten luidsprekers. Maar dit is nog niet het laatste van deze gesprekken!....

### Een roversgeschiedenis

Vr. — Ik heb er wel enige moeite mee gehad om in mijn brein alles te „verteren”, wat je me ten aanzien van de superheterodyne hebt geleerd. Gelukkig heeft mijn kennis van de oude geschiedenis mij geholpen om alles te begrijpen.

W. — Wel alle octoden! Als ik nou toch het verband zie tussen . . .

Vr. — Wind je niet zo op! De superheterodyne doet me heel eenvoudig denken aan die sympathieke gangster der Oudheid, Procrustes of Procrustes heette hij, geloof ik, daarover zijn de encyclopedieën het niet helemaal eens. Hij voerde de gastvrijheid zover door, dat hij zijn gasten in een ijzeren ledikant legde en hun vervolgens de voeten afsneed, als deze buiten het bed staken. Waren zij te kort, dan rekte hij hen een beetje uit . . .

W. — Ja, die geschiedenis van de rover van Attica ken ik ook, maar . . .

Vr. — Is dat nu niet hetzelfde principe als aan de superheterodyne ten grondslag ligt? Hoe ook de frequentie van de ontvangen uitzending is, men verandert haar zo, dat men altijd dezelfde middenfrequentie verkrijgt: die, waarop de kringen van de M.F.-versterking zijn afgestemd.

W. — Je hebt gelijk, Vraagal: voor de frequenties der verschillende zenders is de superheterodyne een waar Procrustes-bed.

Vr. — Als ik het principe goed begrepen heb, blijft mij nog slechts één ding over, dat me verontrust.

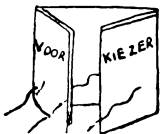
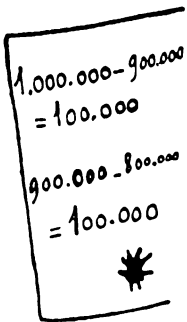
W. — Wat dan, waarde vriend?

Vr. — Veronderstel eens, dat de middenfrequentie 100 000 Hz is en dat wij naar een uitzending van 1 000 000 Hz willen luisteren. Dan moet men de oscillator afstemmen op 1 100 000 Hz of op 900 000 Hz. Want dan is het verschil tussen de beide samenstellende frequenties 100 000 Hz. Maar veronderstel eens, dat een andere uitzending van 800 000 of 1 200 000 Hz eveneens bij de buis komt, die de frequentie verandert, dan zal ook die frequentie gemengd met de 900 000 Hz van de hulp-oscillator aanleiding geven tot een resulterende stroom van 100 000 Hz. Dus ook die zal in de middenfrequentie versterkt worden en eveneens hoorbaar worden!

W. — Je redenering is juist. Inderdaad zijn er voor iedere afstemming van de oscillator twee uitzendingen, die dezelfde middenfrequentie kunnen veroorzaken: een dezer uitzendingen heeft een hogere frequentie, de andere een lagere dan de oscillator. Men noemt dat de *spiegelfrequenties*.

Vr. — Maar het is toch erg hinderlijk om twee uitzendingen tegelijk te horen!

W. — Dat ben ik volkomen met je eens. Men richt het dan ook zo in, dat bij de mengbuis alleen die frequentie kan komen, welke men wenst. Je hebt ongetwijfeld



al opgemerkt, dat de tussenruimte tussen de beide spiegel-frequenties het dubbele is van de waarde der middenfrequentie. Als men voor deze laatste nu een tamelijk hoge waarde kiest, bv. 455 kHz, zullen de spiegel-frequenties 910 kHz van elkaar liggen. Men kan dus volstaan met aan de ingang een zeer goede selectiviteit te hebben om de ongewenste uitzending te onderdrukken. Men plaatst daartoe aan de ingang van de ontvanger een tamelijk selectieve afstemkring, *voorselectie- of pre-selectietrap* genaamd. Men kan zelfs het aantal op het te ontvangen signaal afgestemde kringen nog vergroten door de mengbuis te doen voorafgaan door een hoogfrequent-voorversterker, hetgeen de gevoeligheid van het toestel nog vergroot en de spiegel-frequenties geheel onderdrukt.

Vr. — Ik geef de voorkeur aan die laatste methode. Het lijkt me goed om, voordat de stroom de behandeling der frequentie-omzetting ondergaat, hem eerst wat te versterken, als hij, verzwakt door de lange reis, in de antenne arriveert... Verder denk ik, dat, daar wij nu de superheterodyne kennen, het tijd wordt eens ernstig aan het toestel van je tante te gaan denken. Zij wacht daar al zo lang op. Kun je het schema daarvan tekenen?

### Het toestel voor tante

W. — Hier heb je het kant en klaar: fig. 97. Je ziet, dat het in grote trekken bestaat uit een trap H.F.-voorversterking, een octode-frequentie-mengbuis of mengtrap, een

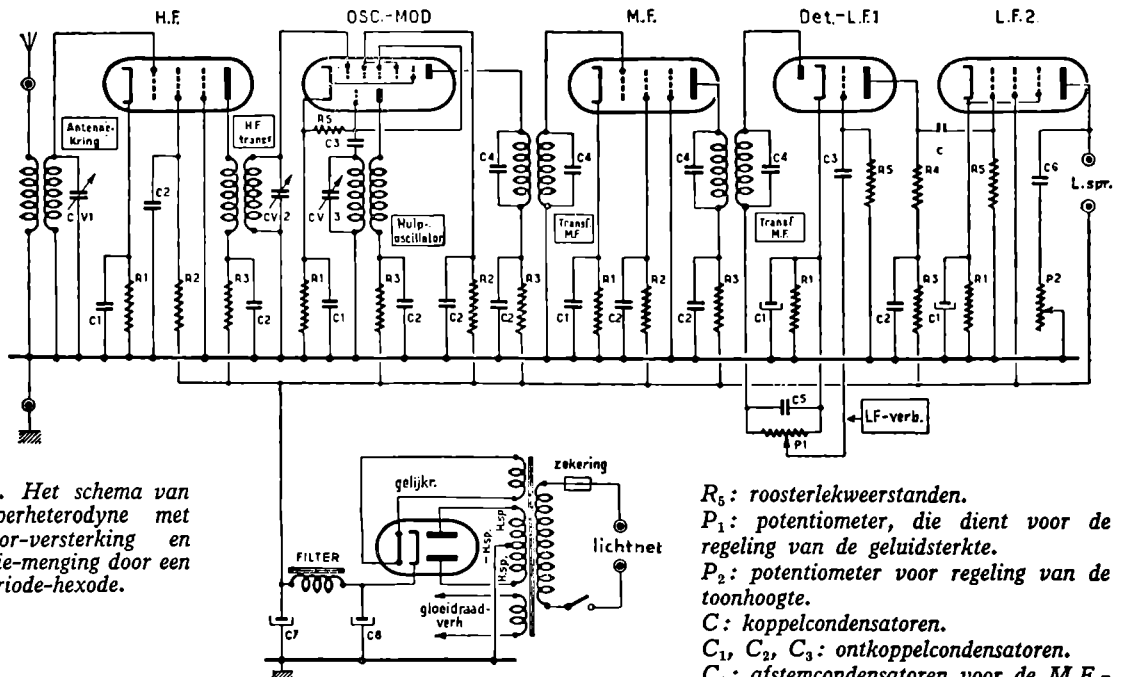
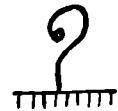
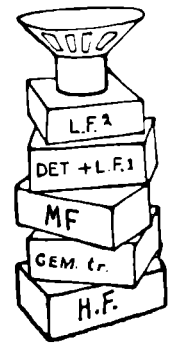
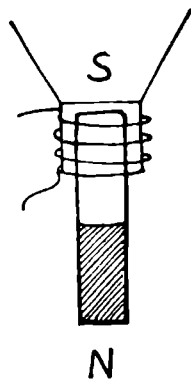
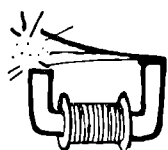
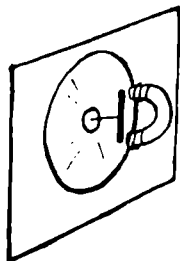


Fig. 97. Het schema van een superheterodyne met H.F.-voor-versterking en frequentie-menging door een triode-hexode.

- $R_1$ : weerstanden voor de negatieve roostervoorspanning.
- $R_2$ : weerstanden, die de spanningen op de schermroosters bepalen.
- $R_3$ : weerstanden voor ont koppeling van de plaatkringen.
- $R_4$ : L.F.-koppelweerstand.

- $R_5$ : roosterlekweerstand.
- $P_1$ : potentiometer, die dient voor de regeling van de geluidsterkte.
- $P_2$ : potentiometer voor regeling van de toonhoogte.
- $C$ : koppelcondensatoren.
- $C_1, C_2, C_3$ : ont koppelcondensatoren.
- $C_4$ : afstemcondensatoren voor de M.F.-transformatoren.
- $C_5$ : detectiecondensator.
- $C_6$ : condensator voor de toonhoogte.
- $C_7, C_8$ : elektrolytische filtercondensatoren.



pentode-M.F.-versterker, een gecombineerde diode-triode, die voor de gelijk-richting en de L.F.-voorversterking zorgt, en tenslotte een pentode, die belast is met de krachtige eindversterking. Afzonderlijk ken je reeds alle onderdelen van dit schema met inbegrip van de voeding door de wisselstroom van het net.

### De luidspreker in de loop der tijden

Vr. — Toch is er nu van het geheel nog één onderdeel, waarmee ik niet vertrouwd ben: de *luidspreker*.

W. — We hebben er inderdaad tot nu toe niet nader over gesproken.

Vr. — Ik veronderstel, dat hij wel op dezelfde manier samengesteld zal zijn als de telefoon, maar alleen met sterkere magneten en met een groter membraan.

W. — Zo waren inderdaad de eerste luidsprekers samengesteld. Bovendien voorzagen ze, voor een betere verspreiding van het geluid, van een lange hoorn in de vorm van een zwanehals. Die vorm was ontleend aan de oude gramofoons. Dat gaf een blikkerig geluid maar toch beweerden de eerste luisteraars, dat zij verrukt waren . . . In die luidsprekers vervulde het ijzeren membraantje twee functies: Ten eerste zette het de veranderlijke laagfrequente stroom in mechanische trillingen om en ten tweede wekte het, bij het doorgeven van die trillingen aan de omringende luchtlagen, geluidsgolven op.

Vr. — Dat is te veel voor zo'n arm klein ijzeren plaatje!

W. — Tot die conclusie zijn de technici ook gekomen.

Men heeft toen getracht tot een scheiding van de beide functies te komen. Aan de ene kant werd het membraan, dat alles moest doen, vervangen door een elektrische tong, die trilde onder invloed van het veranderlijke veld van de elektromagneet; aan de andere kant ontving een groot kegelvormig membraan van papier of een soortgelijk licht materiaal door middel van een dunne naald waardoor zij verbonden waren, de trillingen van de tong en bracht die zo over op een tamelijk grote luchtmasa.

Vr. — Dat lijkt me erg goed, maar waarom spreek je in de verleden tijd over die luidspreker?

W. — Omdat men hem nu niet meer gebruikt wegens een groot gebrek waarmee hij behept was, nl. de te zwakke trillingsamplitude van de tong. Zodra deze te sterk trilde, raakte zij de magneet.

Vr. — Kon men de tong er dan niet verder vandaan plaatsen?

W. — Door de afstand te vergroten verkleinde men de invloed van het magnetische veld en daardoor verzwakte de amplitude der trillingen. Jouw idee zou ons van Charybdis op Scylla doen stoten.

Vr. — Heeft men tenslotte een ander systeem zonder die fout uitgevonden?

### Een moderne luidspreker

W. — Dat heeft men! De *elektrodynamische* luidspreker heeft de *elektromagnetische* luidsprekers, die gebaseerd waren op het oude principe van de telefoon, met succes vervangen en verdrongen. In de elektrodynamische luidspreker bevindt zich een

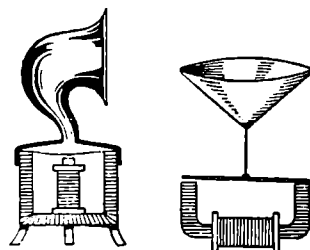


Fig. 98 (links). Doorsnede van een ouderwetse elektromagnetische luidspreker met hoorn.

Fig. 99 (rechts). Elektromagnetische luidspreker met een trillende tong en verspreiding van het geluid door een conisch membraan.



elektro-magneet, bestaande uit een spoel zonder kern B. Die spoel is in een constant en zeer sterk magnetisch veld geplaatst, dat onderhouden wordt door een magneet A (fig. 100). Door spoel B loopt de laagfrequente stroom. Zij wordt dus op haar beurt ook een kleine magneet, waarvan de polen afwisselend van teken veranderen. Dus

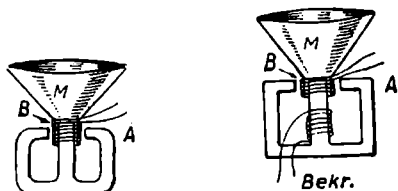


Fig. 100 (links). Doorsnede van een elektrodynamische luidspreker. A = magneet; B = beweegbare spoel; M = membraan.

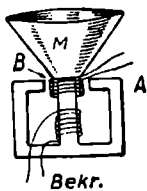


Fig. 101 (rechts). Luidspreker met bekrachting (magnetiserende stroom).

te houden, de beweegbare spoel slechts weinig windingen, die in één laag of hoogstens twee zijn gelegd. Bovendien is de draad tamelijk dun. Toch is er geen risico, dat hij verhit wordt door de plaatstroom van de eindbuis; deze loopt er nl. niet rechtstreeks doorheen; alleen de variabele component laat zijn invloed gelden door de aanwezigheid van een transformator, die tevens de spanning verlaagt en welks aanwezigheid bovendien nog om andere redenen noodzakelijk is.

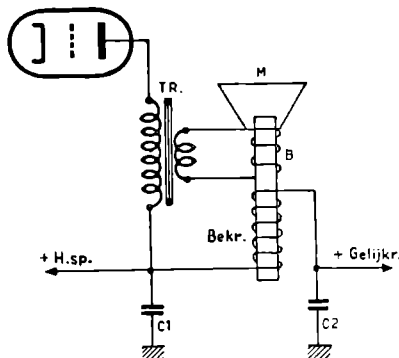


Fig. 102. De bekrachtingsspoel wordt hier als zeefimpedantie gebruikt.

Vr. — Dat is reuze praktisch! Op die manier krijgt men de bekrachtingsstroom gratis!

W. — Niet helemaal. Want in de bekrachtingsspoel ontstaat een vrij grote spanningsval, waarmee rekening gehouden moet worden door voor een grotere gelijkgerichte spanning te zorgen.

nu eens wordt die spoel door de magneet A aangetrokken, die haar tracht in te slikken, dan weer wordt zij er door afgestoten. Die spoel is aan het midden van een conisch membraan M bevestigd, waaraan zij haar trillingen doorgeeft. Je ziet, hier is niets, dat de amplitude der trillingen kan beperken, behalve de elasticiteit van het membraan.

Vr. — Dat is werkelijk vernuftig. Maar ik zie in je tekening, dat de beweegbare spoel B zeer weinig plaats heeft om te bewegen.

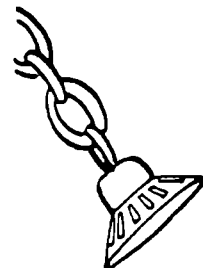
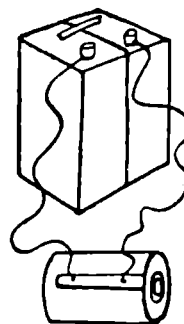
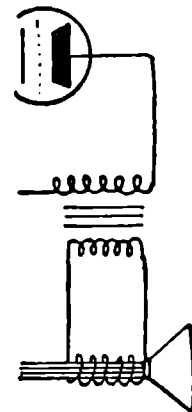
W. — Inderdaad! Om het constante magnetische veld zo sterk mogelijk te maken, laat men zeer weinig plaats tussen de polen van de magneet. Zo heeft, ook om haar zeer licht

Vr. — Wat de permanente magneet betreft, die moet, dunkt mij, wel zeer sterk zijn.

W. — Daarin vergis je je niet. Overigens maakt men, gezien de hoge prijs van goed magnetisch staal, vaak elektro-magneten door een magnetiseringsspoel (of, zoals men zegt: een bekrachting) binnenin de door de magneet gevormde „pot” te plaatsen.

Vr. — En waar komt de bekrachtingsstroom vandaan?

W. — Voor grote luidsprekers maakt men te dien einde gebruik van een afzonderlijke gelijkrichter met zeef. Maar voor de gewone luidsprekers van radio toestellen neemt men als bekrachtingsstroom het totaal van alle plaatstromen en laat dan de bekrachtingsspoel de rol vervullen van de zelfinductie van de afvlakfilter (fig. 101).



Vr. — Het komt me voor, dat er voor mij niets meer te leren valt op radiogebied, nu ik ook met de luidspreker bekend ben. Dat was de laatste schakel van de lange keten der radio-elektrische geluidsoverbrenging.

W. — Inderdaad zouden wij hier onze gesprekken kunnen beëindigen, want in grote trekken ken je alle fundamentele beginselen van de radio. Maar een modern ontvangoestel is uitgerust met een zeker aantal onderdelen die tot doel hebben de afstemming te vergemakkelijken of de geluidswaergave te verbeteren. De voornaamste van die onderdelen gaan wij nu nog even bestuderen om op die wijze je technische opvoeding te voltooien.



*Het probleem van de regeling en de stabiliteit der geluidssterkte is een der interessantste punten van de radio. Het is gemakkelijk om de geluidssterkte regelbaar te maken. Maar haar voortdurend op een zelfde peil te houden is minder gemakkelijk: de „sluiering” tracht geregeld de sterkte van het ten gehore gebrachte te wijzigen... Weetal zal de werking van dat netelige probleem uitleggen en ook zal hij laten zien, hoe in de moderne ontvangoestellen de automatische sterkte-regeling de uitwerking ervan neutraliseert.*

### Overpeinzingen over de terugkaatsing van de golven

Vr. — Het lezen van de advertenties der radiofabrieken heeft een deprimerende invloed op mij. Ik ontdek er steeds weer van die uitheemse woorden in, zoals bv. "anti-fading" of „fadingcompensatie". Ik veronderstel, dat dat woord „fading" aan het Engels is ontleend, evenals training of meeting.

W. — Zeker. En op zijn Hollands betekent het *ontsluiering* of „automatische regeling van de geluidsterkte". Door die regeling is het mogelijk de kracht van het geluid doorlopend op sterkte te houden ondanks de inwerking van de „fading".

Vr. — Ik merk, dat je weer tot het Engelse woord terugkeert. Wat is dan die beruchte fading, waartegen men de antifading stelt?

W. — *Fading* is een ten onrechte gebruikt Engels woord. Tegenwoordig zegt men altijd *sluiering*. Het is een verschijnsel, dat men al sinds lang heeft waargenomen. Men merkte op, dat sommige verre uitzendingen bij de ontvangst weergegeven werden met een sterkte, die door aanvankelijk onbekende oorzaak veranderde. Die sterktevariëaties, die langzaam of snel kunnen zijn en die voor sommige ogenblikken de uitzending soms absoluut onhoorbaar kunnen maken, hebben de geleerden erg geprikkeld.

Vr. — Ik veronderstel, dat zij juist de luisteraars erg gehinderd hebben, want de nuances, die de sluiering aan de muziek geeft, zullen waarschijnlijk niet overeenkomen met de bedoelingen van de componist, wiens werk zij op die manier misvormen. Maar ik denk ook, dat men de oorzaken van de sluiering wel gevonden zal hebben en tegelijk het middel om haar te bestrijden.

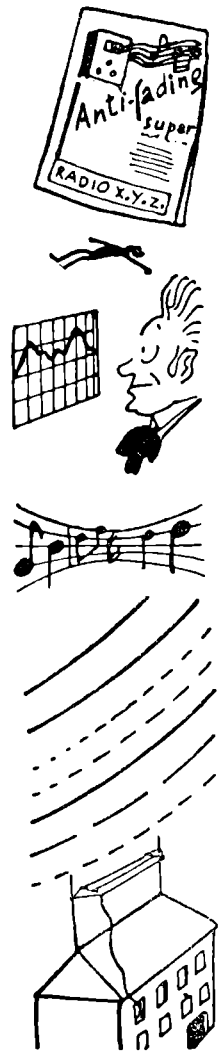
W. — Zo zou het wel zijn in het geval, dat de oorzaken van de sluiering in de zender of in het ontvangoestel schuilden. Maar het verschijnsel ontstaat juist tussen die twee in! Met een constante sterkte uitgezonden golven kunnen in het ontvangoestel aankomen met een aanzienlijke ongestadigheid.

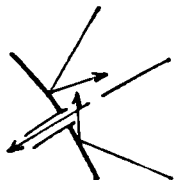
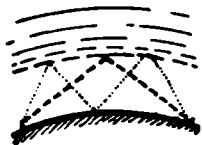
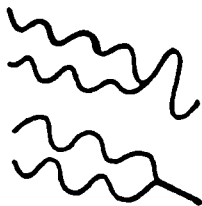
Vr. — Dus „fading" of liever „sluiering" is een afwijking in de voortplanting van de hertzgolven?

W. — Zo is het. Volgens de tegenwoordige theorieën planten de golven zich voort langs twee verschillende wegen. Er is aan de ene kant de „aardgolf", die de oppervlakte van de aardbol volgt; zij verzwakt tamelijk snel, doordat zij haar energie verspeelt aan alle geleiders, die zij op haar weg ontmoet en waarin zij hoogfrequente stromen doet ontstaan. Maar aan de andere kant zijn er golven, die, als zij de zendantenne verlaten, onder een grotere of kleinere hoek omhoog gaan.

Vr. — Die zijn voor ons verloren: zij vervliegen ongetwijfeld in de ruimte tussen de planeten?

W. — Mis! Op een zekere hoogte (vele tientallen km) botsen zij tegen een gaslaag,





die voor de golven als het ware een spiegel vormt, waartegen zij terugkaatsen, zodat zij naar de aarde worden teruggeworpen. Die laag heet de *ionosfeer* of — naar de naam van hen, die het eerst de hypothese van haar bestaan uitten — de „Kenelly-Heaviside-laag” (fig. 103).

Vr. — Dus volgens jou zou een ontvangantenne tegelijkertijd door twee golven beïnvloed worden, die allebei van dezelfde zender komen: een aardgolf en een door de ionosfeer teruggekaatste golf?

W. — Juist. Merk nog op, dat de door die twee golven afgelegde banen een zeer verschillende lengte hebben: terwijl de eerste, die de aardbol volgde, de kortste weg heeft genomen, is de andere eerst een straatje omgegaan naar de bovenste luchtlagen van de dampkring en terug, voordat zij op haar bestemming aankwam. Op het moment, dat de golven elkaar in de ontvangantenne ontmoeten, kunnen zij in de maat (of „in fase”) zijn en in dat geval versterken zij elkaar onderling. Maar zij kunnen daar ook met tegengestelde fase aankomen; dan verzwakken hun onderling tegengestelde stoten elkaar of heffen elkaar zelfs op.

Vr. — Dat verklaart echter de sluïering nog niet, die voortdurend de sterkte van de ontvangst doet veranderen. Komend van dezelfde zender naar dezelfde ontvanger zullen de beide golven aanleiding geven tot een sterkere of zwakkere ontvangst, waarvan de sterkte zelf echter door geen enkele oorzaak in de loop van de tijd zou veranderen.

W. — Zo zou het zijn, als de ionosfeer een onbeweeglijke en stijve spiegel was. In werkelijkheid kan zij vergeleken worden met een zee vol golven, stormen en getijden. De oppervlakte van de ionosfeer is voortdurend in beweging en de hoogte ervan ondergaat belangrijke variaties in de loop van de dag en van het jaargetijde.

De lengte van de baan der teruggekaatste golf is dan dus ook veranderlijk. Nu eens zal zij de aardgolf versterken, dan daarentegen verzwakt zij haar weer. En dat is het nu, wat de voortdurende onregelmatigheden in de sterkte van het geluid veroorzaakt.

Vr. — Maar je hebt me verteld, dat de aardgolf betrekkelijk snel verzwakt, naarmate zij zich meer van de zender verwijderd. Ik veronderstel dus, dat vanaf een zekere afstand van de zender men alleen te doen heeft met de teruggekaatste golf. Daar zal dus geen sluïering meer merkbaar zijn?

W. — Helaas! Er kunnen verscheidene teruggekaatste golven zijn, die verschillende trajecten hebben afgelegd en die verscheidene terugkaatsingen van de ionosfeer en van de aarde hebben ondergaan, want ook de aarde werkt op de golven als een spiegel.

Vr. — Is er dan helemaal geen middel om de sluïering te onderdrukken?



Fig. 103. De golf van de zender E komt langs twee verschillende wegen bij de ontvangantenne R aan: of de oppervlakte van de aardbol volgend, of na terugkaatsing in de hoogste lagen van onze dampkring (in de Kenelly-Heaviside-laag).

### De strijd tegen de sluïering

W. — Zolang men aan verscheidene golven moet toestaan bij de ontvanger te komen, blijft de sluïering werken. Men kan haar alleen verzwakken met behulp van speciale zendantennes, die de golven onder een bepaalde hoek boven de horizon uit-

stralen of ook, bij de ontvanger, door een ontvangantenne, die van alle golven, die hij ontvangt, één bepaalde uitzoekt, die onder een vastgestelde hoek aankomt.

Vr. — Als men dat „ontsluiering” noemt, moet het wel weer verduiveld ingewikkeld zijn!

W. — Neen, mijn beste Vraagal. Ook al tracht men de hinder van de sluiering grotendeels door de bijzondere samenstelling van de zendantenne te beperken, kan men toch niet beletten, dat de ontvangantenne golven ontvangt, die erg onderhevig zijn aan sterkteveranderingen. Men probeert dan de sterkte van het geluid op peil te houden door de graad van de versterking in de ontvanger voortdurend te veranderen.

Vr. — Als ik het goed begrijp, compenseert men dus de golfvariaties door omgekeerde variaties in de versterking. Als de golven zwakker aankomen, vergroot men de versterking en men verzwakt haar, wanneer de golven sterker worden.

W. — Juist, zo gaat men te werk. Als ten gevolge van de sluiering een signaal (d.w.z. een golf van de zender) ons te zwak bereikt, verhogen wij de gevoeligheid van het ontvangtoestel door de versterking van de H.F.-versterktrappen te vergroten. (En als het een superheterodyne is, eveneens de M.F.-trappen.)

Vr. — Maar ik zie niet in, op welke manier men de versterking van een buis kan veranderen.

### Het geheimzinnige „punt X”

W. — Je weet, dat hoe groter de steilheid van een buis is, hoe meer zij versterkt. Nu, voor dezelfde buis varieert de steilheid volgens het punt van de karakteristiek, waarin die buis werkt. Dat „werkpunt” wordt bepaald door de polarisatie of negatieve voorspanning van het rooster en . . .

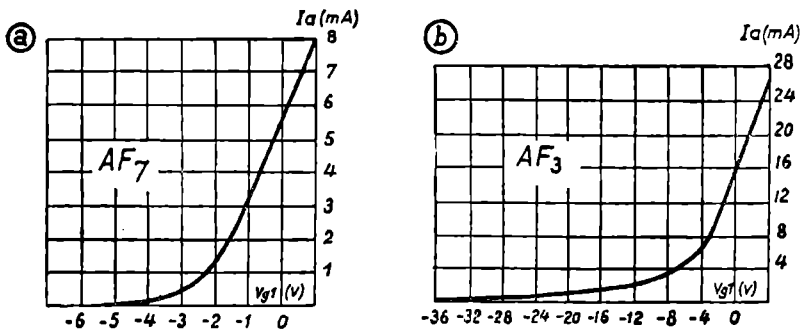
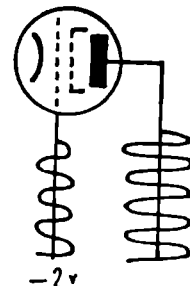
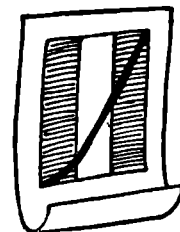
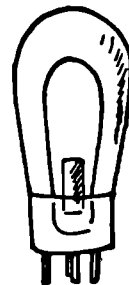
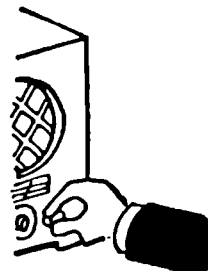


Fig. 104. a. Kromme voor een buis met „vaste steilheid” en b. voor een met „veranderlijke steilheid”.

Vr. — Hier onderbreek ik je even, Weetal. Ik weet heel goed, dat de karakteristiek van een buis niet in alle punten dezelfde steilheid heeft. De steilheid is maximaal in het rechte deel van de kromme; als wij het rooster een hogere negatieve voorspanning geven, komen wij in de onderste bocht, waar de steilheid snel afneemt. Maar dat is — en dat heb je me dikwijls genoeg herhaald — een verboden gebied: de versterking is alleen in het rechte deel geoorloofd.

W. — Dat is volkomen in orde, zolang het gaat om gewone buizen en om een betrekkelijk grote te versterken spanningsamplitude, zoals die, welke wij aantreffen



in de L.F.-trappen. Maar in de hoog- en middenfrequentie is de amplitude nog erg zwak. En daar is het voldoende, als de buiskarakteristiek alleen rondom het werkpunt ongeveer rechtlijnig is. Men vervaardigt dus speciale buizen, waarvan de steilheid doorlopend, maar heel geleidelijk verandert, zodat de karakteristiek geen scherpe bochten laat zien. Die buizen heten „buizen met variabele of veranderlijke steilheid”. Dat betekent nu wel niet, dat de steilheid van de andere constant is, maar dat men in de speciale buizen werkpunten voor verschillende steilheden mag kiezen.

Vr. — Als ik de buizen met veranderlijke steilheid had gekend, zou ik geen enkele tegenwerping hebben gemaakt. Zoals jij het hebt voorgesteld, wijst de karakteristiek van een buis met veranderlijke steilheid aan, dat, als men het rooster voldoende negatieve voorspanning geeft, de buis niet alleen niet zal versterken, maar zelfs de aan haar rooster gegeven trillingen belangrijk zal verzwakken.

W. — Dat moet zij doen. Op die manier slagen wij er in de sterkte van de te hoge tonen tot op een normale geluidssterkte terug te brengen . . .

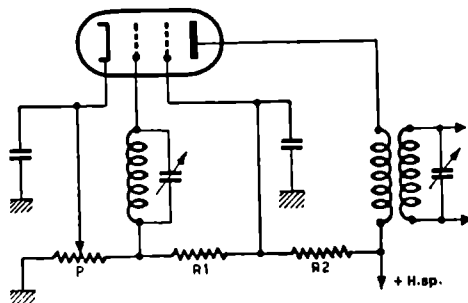
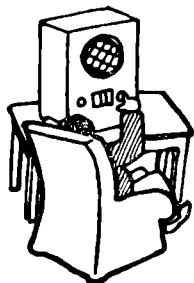
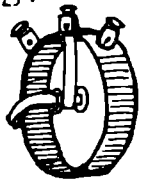
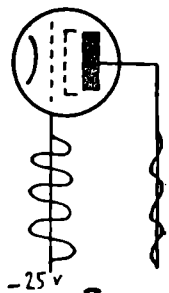


Fig. 105. Regeling van de versterking met behulp van een potentiometer of sterkteregelaar P, die de negatieve voorspanning van de buis doet variëren.

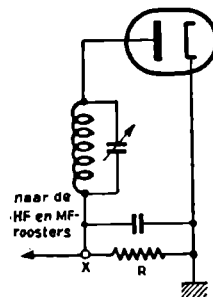


Fig. 106. Al naar gelang van de gemiddelde sterkte der tonen wordt het punt X meer of minder negatief ten opzichte van de kathode.

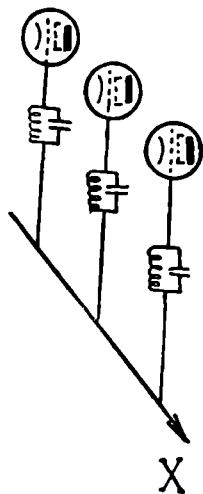
In de praktijk bedient men zich, om de versterking van de buizen met veranderlijke steilheid te regelen, van een toestel, waardoor het met behulp van een spanningsdeler P (fig. 105) mogelijk is, de negatieve voorspanning te veranderen.

Vr. — Maar dat is verschrikkelijk. De luisteraar moet dus, zonder een ogenblik de knop van die sterkteregelaar los te laten, hem voortdurend ronddraaien om de veranderingen door de sluiering ontstaan, te compenseren. Onder zulke voorwaarden zou ik helemaal geen plezier hebben van het luisteren naar muziek.

W. — Gelukkig bestaat er een mogelijkheid die regeling automatisch te doen geschieden. Daarvoor is het voldoende in het toestel een zodanig punt te vinden, dat meer negatief wordt, naarmate de binnenkomende draaggolf sterker wordt, en omgekeerd. Weet je zo'n punt?

Vr. — Ik zie er geen.

W. — Bekijk dit schema van de diodedetectie dan eens, dat je al lang kent (fig. 106). Het punt in kwestie is het eind X van de weerstand R. De door de diode gelijkgerichte hoogfrequente stroom wekt daar ten opzichte van „massa” een negatieve spanning



op. Die spanning is groter naarmate de *gemiddelde* sterkte van de aan de diode doorgegeven signalen groter is.

Vr. — Ik heb het begrepen! Je sluit die spanning van punt X aan de roosters van de H.F.- of M.F.-buizen met veranderlijke steilheid aan. Worden de signalen nu sterk, dan wordt punt X meer negatief en de spanning, aangesloten aan de roosters van de H.F.- of M.F.-buizen vermindert de versterking daarvan.

Als daarentegen, onder invloed van de sluiering, de signalen zwakker worden, veroorzaken zij in punt X een minder negatieve spanning; die spanning veroorzaakt de H.F.- en M.F.-buizen meer te versterken. Per slot van rekening nivelleert deze schakeling alle onregelmatigheden in de sterkte der signalen en houdt zij voortdurend de geluidsterkte op peil en dat is het enige, waarmee de luisteraar te maken heeft.

W. — Ik zie, dat je volkomen de werking van de automatische ontsluiting of liever: *de automatische sterkteregeling* hebt gesnapt. Je merkt, dat het in zeker opzicht gaat om een „regeling naar beneden”. Alleen de zwakste signalen maken gebruik van de maximale gevoeligheid van de ontvanger; naarmate de geluidsterkte toeneemt, wordt door de automatische ontsluiting de versterking in overeenkomstige mate verminderd.

### De radio ten behoeve van de doven

Vr. — Nog één tegenwerping als je het goedvindt, Weetal. Veronderstel nu eens, dat er in de muziek een slag van de grote trom voorkomt. Zal de sterkteregeling op dat moment niet een ogenblikkelijke vermindering van de versterking veroorzaken? Of anders gezegd, naar mijn mening zal de automatische regeling, zoals jij die hebt beschreven, in zeker opzicht de nuances van het geluid vervlakken.

W. — Je tegenwerping is nog zo gek niet, Vraagal. Ten einde de werking van de *ogenblikssveranderingen* van de door de diode gelijkgerichte stroom te voorkomen en op de H.F.- en M.F.-buizen alleen de *gemiddelde* waarde van de signalen te laten inwerken, schakelt men dan ook tussen het punt X en de roosters der buizen een systeem, dat de werking der spanningen vertraagt en ze in zeker opzicht samentelt om het gemiddelde ervan te laten passeren. Die inrichting bestaat uit een weerstand  $R_1$  van hoge

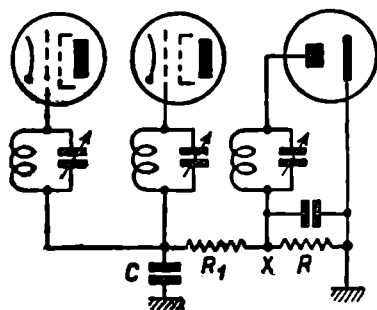
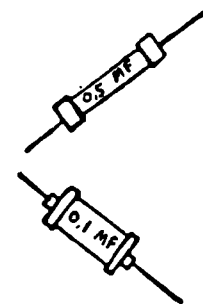
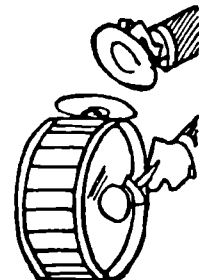
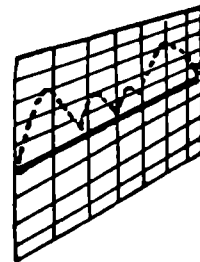


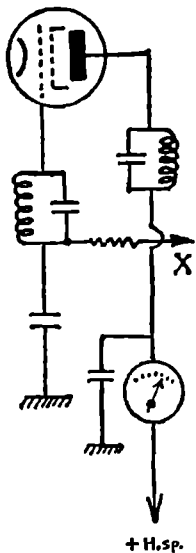
Fig. 107. Twee H.F.-buizen, waarop van X uit via  $R_1$  de automatische sterkteregeling werkt.

waarde en een condensator C. De weerstand verzet zich tegen de onmiddellijke doortocht van de spanningen; de condensator nivelleert de ogenbliksspanningen. De werking van het geheel  $R_1C$  heeft een zekere overeenkomst met die van de zelfinductie en van de condensator in de voedingsfilter (fig. 107).

Vr. — Zoals ik zie, is het in iedere ontvanger met diodedetectie voldoende om een weerstand en een condensator bij te voegen ten einde automatische sterkteregeling te verkrijgen. Dat is wonderlijk eenvoudig!

W. — Ik wil nog opmerken, dat soms om de spanning voor deze automatische sterkteregeling te verkrijgen, gebruik gemaakt wordt van een andere diode, dan die, welke voor detectie wordt gebruikt (fig. 108). Die tweede diode is in dezelfde ballon getvat als de eerste en gebruikt dezelfde kathode. De wisselspanningen worden aan de





tweede anode aangesloten via een kleine koppelcondensator  $C'$ . De gelijkgerichte stroom doet aan de weerstand  $R'$  een spanning ontstaan, die afgetakt in punt  $X$  door de schakeling  $R_1C$  heen wordt aangesloten aan de roosters van de buizen, die er door geregeld moeten worden.

Vr. — Ik voel meer voor het schema, waarin dank zij je dubbeldiode, de functies van de detectie en van de regeling nauwkeurig gescheiden worden.

W. — Zou je, Vraagal, kunnen antwoorden op een vraag, die eigenlijk een strikvraag is? Weet je, hoe de gemiddelde plaatstroom varieert van een H.F.- of M.F.-buis, die door de automatische sterkteregeling geregeld wordt volgens de sterkte der signalen?

Vr. — Laat eens zien! Als de trillingen sterker zijn, ontvangt het rooster van de buis van punt  $X$  een meer negatieve spanning. De plaatstroom wordt dan zwakker.

W. — Dat is prachtig. Merk nu op, dat hetzelfde zich voordoet, als je bij het regelen van de afstemcondensatoren door de juiste stand heengaat. Want op dat moment is de aan de diode gegeven spanning het sterkst. Bijgevolg kunnen wij, als wij een milli-ampèremeter schakelen in de plaatkring van de door de automatische sterkteregeling geregelde H.F.- of M.F.-buis, de juiste afstemming bepalen door het minimum van de plaatstroom op te zoeken.

Vr. — Met een dergelijke milli-ampèremeter zouden zelfs doven het radiotoestel precies kunnen afstemmen!

W. — Zeer juist! Want die milli-ampèremeter vormt een zichtbare aanwijzer voor de juiste afstemming. Maar wat voor nut zou een dove daarvan hebben?....

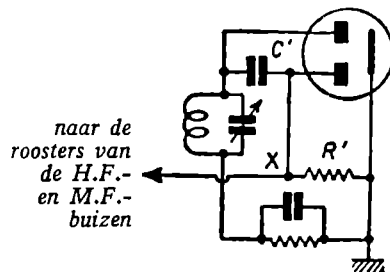
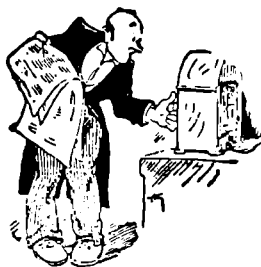


Fig. 108. De dubbeldiode maakt het mogelijk de functies van de detectie en de automatische sterkteregeling te scheiden.





*Alle pogingen van de radiotechnici zijn erop gericht, de getrouwheid van de weergave te verbeteren. Welnu, gedurende lange tijd schenen selectiviteit en goede muziekweergave onverenigbare dingen te zijn: Een ontvanger met goede muziekweergave was niet selectief en omgekeerd. Maar de bandfilters zijn op tijd gekomen om de beide vijanden te verzoenen. Weetal vertelt met zijn bekende geestdrift de oorzaken van hun conflict. Meer verbluft dan ooit geeft Vraagal de voorkeur aan de veranderlijke selectiviteit.*

**Wedstrijd: selectiviteit tegen muziekweergave**

Vr. — Gisteravond ben ik bij een vriend geweest, die een erg gevoelig ontvangtoestel heeft. Wij hebben een hele massa uitzendingen gehoord. Helaas, sommige stations werden door een fluittoon gestoord. Hoe komt dat?

W. — Dat is een interferentiegefluit tussen twee uitzendingen, waarvan de frequenties heel dicht bij elkaar liggen.

Vr. — Dat is dus hetzelfde verschijnsel als dat, wat we bij de superheterodynes de menging of frequentie-transformatie noemen? Of anders gezegd: tussen twee uitzendingen met te dicht bijeen liggende frequenties ontstaan zwevingen, die aanleiding geven tot een stroom, waarvan de frequentie gelijk is aan het verschil van de frequenties der uitzendingen.

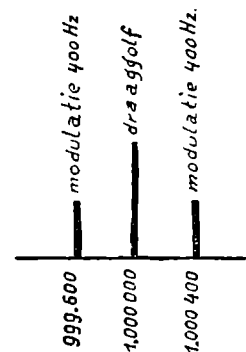


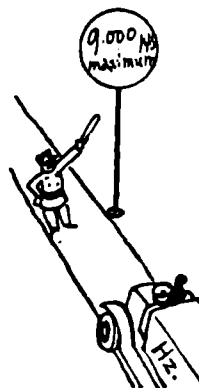
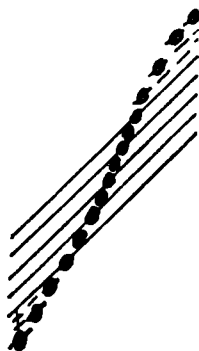
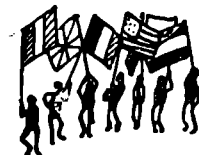
Fig. 109. Modulatie van een golf van 1 000 000 Hz door 400 Hz.

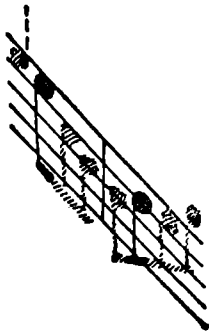
naast de draaggolf, twee golven uitzenden met resp. een frequentie van 1 000 400 Hz en 999 600 Hz (fig. 109). Je ziet, dat die golven het gevolg zijn van de som en van het verschil van de frequenties van draaggolf en muziekstroom.

Vr. — Door de hoge frequentie te moduleren, brengt de laagfrequente stroom dus als het ware een frequentie-omzetting teweeg?

W. — Ja! Als nu iedere muziekfrequentie behalve die van de draaggolf nog twee symmetrisch geplaatste frequenties opwekt, schept het geheel van alle klanken van de muziek, dat tot 10 000 Hz (en zelfs hoger) kan gaan, aan weerskanten van de draaggolf een *band* van frequenties, die samen de *modulatiezijbanden* heten.

Vr. — Als ik je goed heb begrepen, strekken de door een station uitgezonden frequenties zich aan weerskanten van de frequentie van de draaggolf over een





breedte van 10 000 Hz uit. Bv. voor een zender, die op 1 000 000 Hz werkt, lopen de zijbanden van 990 000 tot 1 010 000 Hz.

W. — Dat is volkomen in orde. Maar als iedere zender op de schaal der beschikbare frequenties een strook van 20 000 Hz zou bezetten, was er op geen stukken na plaats voor alle bestaande zenders. Door een internationale overeenkomst heeft men dan ook de breedte van iedere band der geluids-frequenties beperkt tot 4500 Hz, zodat een zender in de ether niet meer plaats inneemt dan een band van  $2 \times 4500 \text{ Hz} = 9000 \text{ Hz}$ . En het is voldoende, dat er tussen twee draaggolven een afstand van 9000 Hz bestaat, ten einde twee zenders elkaar niet te laten hinderen . . . op voorwaarde natuurlijk, dat de ontvanger selectief genoeg is om die bundel van 9000 Hz te scheiden . . .

Vr. — Ik denk, dat men met een voldoende aantal goede trillingskringen wel een ontvanger zal kunnen maken, die selectief genoeg is om maar één frequentie te ontvangen.

W. — Dat zou wat moois zijn! Geef je je er wel rekenschap van, Vraagal, dat een dergelijk ontvangstoestel je maar één toon zou laten horen?! Denk je, dat je van de Negende Symfonie van Beethoven zou genieten, als je alleen de eerste noot ervan zou horen?

Vr. — Neen! Ik zie nu in, dat het noodzakelijk is, dat de ontvanger de gehele 4500 Hz van elk der zijbanden kan doorlopen om alle uitgezonden muziek te kunnen beluisteren.

W. — Maar een bredere frequentieband mag hij niet doorlaten. Anders ontstaat er storing tussen uitzendingen met aangrenzende draaggolven. En nu ben je gesteld tegenover dat grote probleem, dat goede, getrouwe geluidswaergave tegenover de selectiviteit plaatst: hoe minder selectief de ontvanger is, des te beter is zijn muziekwaergave.

Vr. — Selectiviteit of zuivere muziekwaergave: ik zou het laatste kiezen!

### De bandfilter verzoent de tegenstanders

W. — Waartoe dient je getrouwe waergave van alle muziekfrequenties, als het aanhoren wordt vergald door het interferentiegebrom?

Vr. — Maar laat eens zien! Bestaat er geen mogelijkheid om met uitsluiting van iedere andere frequentie één „band" van 9000 Hz door te laten?

W. — Ja! Tenminste, men bereikt dat bij benadering. Eén enkele trillingskring maakt het niet mogelijk dat te doen. De *resonantiekromme* . . .

Vr. — Wat is dat nu weer? Daarover heb je me nog nooit gesproken.

W. — Zo noemt men de kromme, die aangeeft hoe in een trillingskring de stroomsterkte varieert afhankelijk van de frequentie. Klaarblijkelijk is de sterkte maximaal bij de resonantie. Daarna vermindert zij min of meer snel al naar gelang de

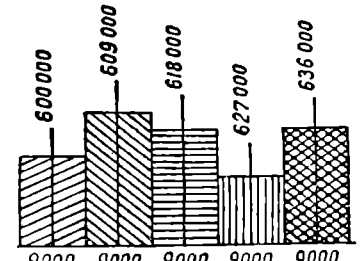


Fig. 110. Verdeling van de frequenties van de zenders. De draaggolven zijn 9000 Hz van elkaar gescheiden. De modulatie-zijband blijft binnen de 4500 Hz.

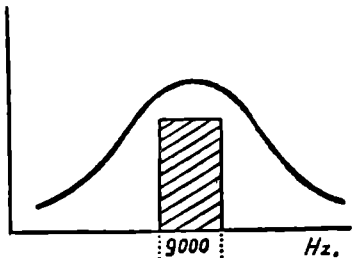
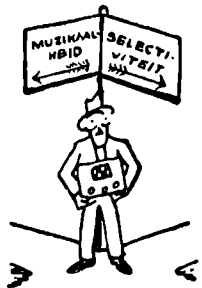


Fig. 111. Gedempte kring. Slechte selectiviteit Goede muziekwaergave.

kring een grotere of kleinere weerstand biedt aan de hoogfrequente stroom. Als de kring slecht, of zoals men zegt, *gedempt* is, is de kromme zeer breed (fig. 111); hij laat dan een brede band frequenties door, maar hij is niet selectief genoeg. Als daarentegen de kring zeer weinig gedempt is (fig. 112), laat hij slechts een smalle band door: ofschoon voldoende selectief, laat hij nu de beide zijbanden niet compleet door. De ideale resonantiekromme zou rechthoekig zijn met een breedte van 9000 Hz, hetgeen zou aanduiden, dat een band van 9000 Hz werd doorgelaten en niets anders! Vr. — Omdat je zegt, dat een dergelijke kromme ideaal is, zal het wel onmogelijk zijn haar tot stand te brengen.

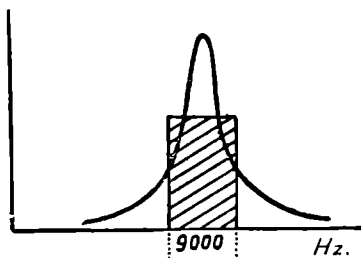
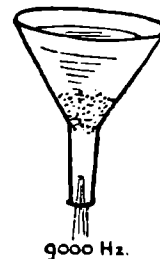


Fig. 112. Kring met weinig demping. Goede selectiviteit. Slechte muziekweergave\*.

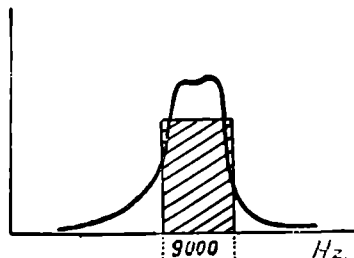


Fig. 113. Bandfilter, die een goede selectiviteit paart aan een goede muziekweergave\*.

W. — Inderdaad. Maar men kan haar benaderen door bandfilters of — wat een beter woord zou zijn — *bandzeven* te gebruiken. De eenvoudigste bandfilters bestaan uit twee zwak gedempte trillingskringen, die allebei op de frequentie van de draaggolf zijn afgestemd. Door ze lossier of vaster te koppelen, verkrijgt men een bredere of smallere resonantiekromme (fig. 113), waarvan de vorm het ideale benadert.

Vr. — En hoe maakt men de koppeling tussen de twee trillingskringen, die de bandfilter vormen?

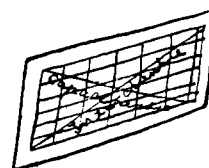
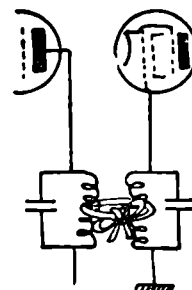
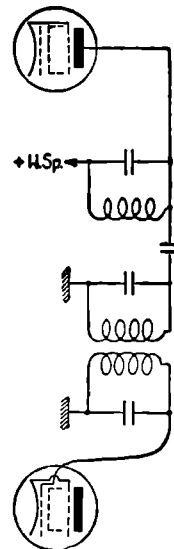
W. — De eenvoudigste manier is ze inductief te koppelen (fig. 114), waardoor een transformator met afgestemde primaire en secundaire wordt gevormd, of door een kleine capaciteit (fig. 115). In de meer samengestelde filters bedient men zich van een koppeling door een gemeenschappelijke impedantie I.

Vr. — Op welke manier kan een dergelijke impedantie de koppeling vormen?

W. — De stroom, die door de eerste kring gaat (fig. 116), wekt in die impedantie een wisselspanning op, die dan terecht komt op de tweede kring en daarin een stroom veroorzaakt. Als de impedantie klein is, zal de spanning, die er in ontstaat, ook klein zijn: dat heeft hetzelfde effect als een losse koppeling.

Vr. — Welke soort van impedanties gebruikt men gewoonlijk?

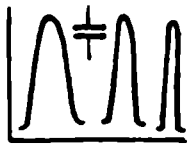
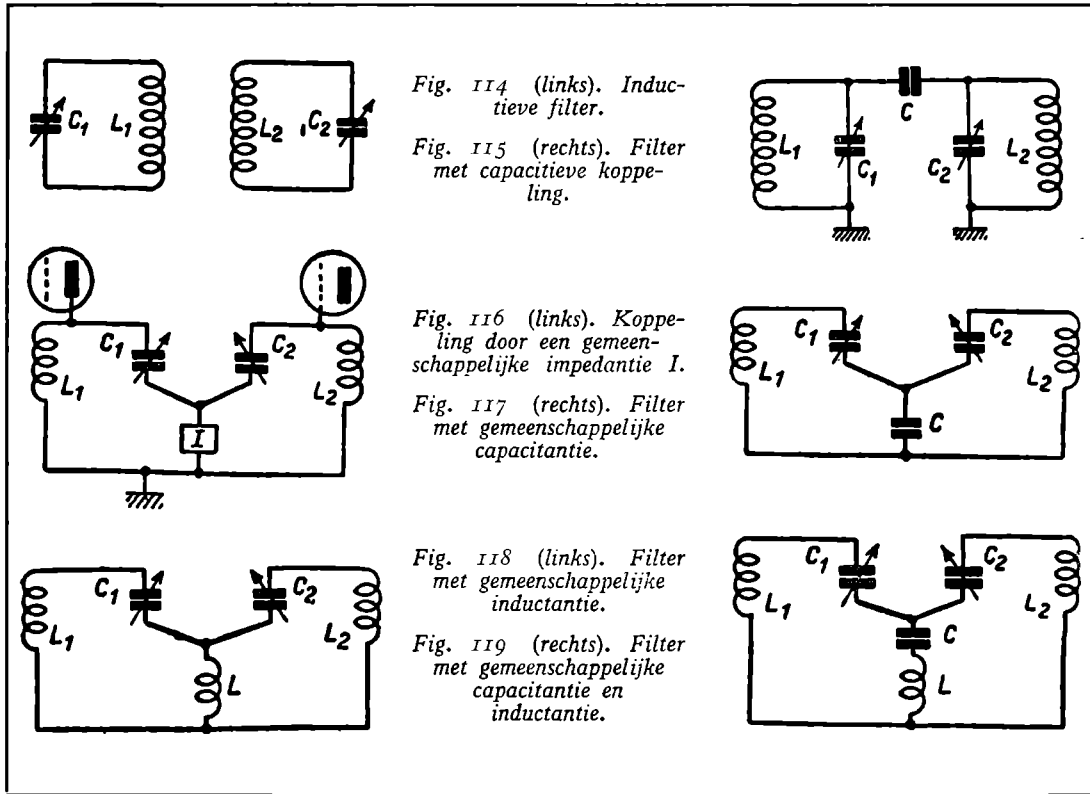
W. — Capacitieve (fig. 117) of, hoewel minder vaak, inductieve (fig. 118). Om een kleine capacitantie te krijgen, moet een condensator met een tamelijk hoge waarde gebruikt worden en wel hoger naarmate de frequentie lager is.



\* De schuin gestreepte rechthoek in de figuren 111, 112 en 113 geeft de te benaderen ideale kromme aan.

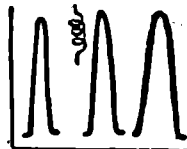


Vr. — Ik herinner me, dat de capacitantie afneemt, als de capaciteit en de frequentie toenemen. En daar de inductantie zich op omgekeerde wijze gedraagt, veronderstel ik, dat men in de inductantiefilters, om een losse koppeling te verkrijgen, een spoel met lage zelfinductie moet nemen en wel lager naarmate de frequentie hoger is. W. — Je begint logisch te redeneren, vriend. Tracht dus dit kleine probleem eens op te lossen: wij hebben twee filters, de ene met capacatieve koppeling, de andere



met inductieve koppeling; wij veranderen de afstemming van hun kringen door van een bepaalde lage frequentie naar een hogere te gaan. Zal de breedte van de band van elk der filters dan constant blijven?

Vr. — Zeker niet! In de capacatief gekoppelde filter verminder je door de verhoging van de frequentie de capacitantie; de koppeling vermindert en de band wordt smaller. In de inductief gekoppelde filter wordt de koppeling sterker met de frequentie en bijgevolg wordt de doorgelaten band breder.



W. — Bravo! Merk op, dat het hier om een zeer vervelend verschijnsel gaat. Stel je zo'n filter met capacitantie voor, die gebruikt wordt als koppeling tussen twee H.F.-trappen van een ontvanger. Veronderstel, dat hij voor de draaggolven met een bepaalde frequentie de banden met de reglementaire frequenties van samen 9000 Hz laat passeren. Maar als je de ontvanger afstemt op een uitzending met een

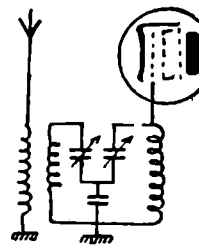
hogere draaggolffrequentie, wordt de doorgelaten band te smal: nu is de ontvanger te selectief en is de muziekweergave niet goed genoeg meer.

Vr. — Welnu, ik geloof, dat er een zeer eenvoudig middel bestaat om de bandbreedte voor alle afstemfrequenties op peil te houden. Het is voldoende de gemeenschappelijke impedantie van de filter samen te stellen uit een capaciteit en een zelfinductie in serie (fig. 119). Hun tegengestelde werkingen wegen tegen elkaar op.

W. — Voordat jij die oplossing gaf, heeft een geleerde, Vreeland genaamd, al met zulke filters geëxperimenteerd. Helaas, de dingen zijn niet zo eenvoudig, want er moet rekening gehouden worden met de faseverschuivingen van de stromen in L en C. Er bestaat echter gelukkig nog een andere manier om de moeilijkheid af te wenden: nl. door bandfilters te gebruiken in de M.F.-versterktrappen van de superheterodynes.

Vr. — Wel alle impedanties! Dat is waar! Dáár zijn we altijd op dezelfde frequentie afgestemd en wij hebben dus geen verandering van de bandbreedte te duchten.

W. — Ik moet er echter je aandacht op vestigen, dat men in de voorselectiekringen van de superheterodynes, die tussen de antenne en de eerste buis zijn geplaatst om de „spiegelfrequenties” weg te werken, vaak gebruik maakt van capacitief gekoppelde bandfilters. Dáár gaat het om het wegwerken van een frequentie, die tamelijk ver van die van de afstemming verwijderd ligt. Zonder nadeel kan de bandbreedte dan ook boven de 9000 Hz uit gaan.



### Vraagal geeft de voorkeur aan de veranderlijke selectiviteit

Vr. — Veronderstel nu eens, Weetal, dat wij een ontvangoestel hebben met bandfilters, die de band van 9000 Hz doorlaten. Als wij nu naar een verre uitzending willen luisteren, die 9000 Hz van een sterke zender in de buurt is verwijderd, zal deze laatste dan de ontvangst niet storen?

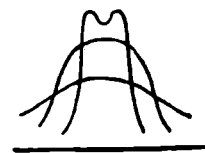
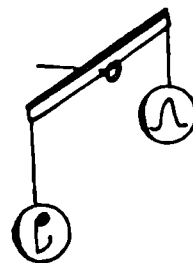
W. — Gezien het feit, dat de resonantiekrommen van de filters de ideale kromme slechts kunnen benaderen, zal de ontvangst hoogstwaarschijnlijk gehinderd worden door de nabije zender. Om een dergelijke ontvangst zonder storingen te ontvangen, heeft men een ontvanger met een buitengewone selectiviteit nodig: de band daarvan moet smaller zijn dan 9000 Hz. Door zo van de muziekweergave een deel op te offeren, kan men niettemin de uitzending nog wel redelijk ontvangen.

Vr. — Ik zou toch liever sommige uitzendingen niet ontvangen, als door die buitengewone selectiviteit de muziekweergave van de ontvanger bedorven werd.

W. — Gelukkig kan men de in schijn onverenigbare eigenschappen met elkaar verzoenen door de selectiviteit van het toestel veranderlijk te maken. Men gebruikt dan een slechte selectiviteit voor uitzendingen, die geen gevaar lopen om gestoord te worden, d.w.z. voor nabije en sterke zenders. Zij worden dan weergegeven met het maximum van muziekkwaliteit. Wat de verre en zwakke uitzendingen betreft, die ontvangt men, om interferentie te voorkomen, met een vergrote selectiviteit. In alle gevallen heeft men zo het maximum van muziekweergave verenigd met een storingvrije ontvangst.

Vr. — Dat is kras! Maar hoe verwezenlijkt men die veranderlijke selectiviteit?

W. — Je bent vandaag weer erg op dreef met kinderachtige vragen, Vraagal! Om de bandbreedte van een filter veranderlijk te maken, is het voldoende de koppeling daarvan veranderlijk te maken. Dus in de filters met inductieve koppeling maakt men de koppeling variabel met behulp van beweegbare spoelen. In de door impedantie



gekoppelde filters gebruikt men variabele condensatoren of variabele zelfinducties. Zekere voorzorgen moeten genomen worden om de verstemming van de kringen, die door de verandering van de koppeling veroorzaakt zou kunnen worden, te voorkomen.

Vr. — Nu, *mijn* ontvangtoestel zal er een met veranderlijke selectiviteit worden!



*In dit gesprek zal het gaan over de beperkingen, waaraan de laagfrequente modulatie is onderworpen. Zij is zowel in haar frequentie als in haar amplitude begrensd. Weetal slaagt er wederom in aan te tonen hoe men de moeilijkheden kan overwinnen. En zo komt hij er dan toe om over de frequentiemodulatie te spreken.*

75 cm is meer dan 400 m!

Vr. — Ik voel mij erg terneergeslagen, Weetal.

W. — Hoe komt dat zo, arme jongen?

Vr. — In ons laatste gesprek heb je me verteld tot hoever de ruimte tussen de muziekfrequenties beperkt wordt en dat de verschillende zenders verplicht zijn zich daaraan te houden. Ik vind die vermindering van de muziek absoluut ontoelaatbaar. Zou het niet veel beter zijn wat minder zenders te hebben, maar aan elk van hen een grotere breedte van hun modulatiezijbanden toe te staan?

W. — Dat zou inderdaad oneindig veel beter zijn. Maar, om dat te bereiken, zou er een internationale overeenkomst moeten worden gemaakt. En je weet, helaas, hoe moeilijk het is om het de vertegenwoordigers van de verschillende landen zelfs over de allersimpelste zaken eens te laten worden . . . . In plaats van een verstandige oplossing te zoeken door een beroep te doen op de wijsheid der mensen, heeft men er de voorkeur aan gegeven andere — technische — methoden toe te passen.

Vr. — Ik heb er geen notie van, waarop je nu zinspeelt.

W. — Welnu, men kan veel dieper in het terrein van de frequenties doordringen, als men op de zg. metergolven gaat uitzenden, d.w.z. de golven, die een lengte van één of enkele meters hebben. Daarbij heerst een grotere vrijheid en daar is het niet nodig de muziek te verminken.

Vr. — Ik moet bekennen, dat ik niet inzie waarom men in die kleine tussenruimte van slechts enkele meters minder nauw behuisd is dan in die wijde ruimte, die de schaal van de middengolf beslaat, die toch van ongeveer 200 tot bijna 600 m reikt, d.w.z. een tussenruimte van zowat 400 m.

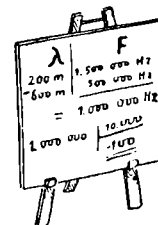
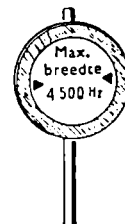
W. — Daar zie je nu, arme Vraagal, waar die slechte gewoonte toe leidt, om in golflengten te denken! Je doet me werkelijk pijn door zo te handelen. Probeer er nu eens aan te wennen in hertz te rekenen.

Vr. — Dat is helemaal niet zo moeilijk. In frequenties gedacht komt 200 m overeen met 1 500 000 Hz en 600 m met 500 000 Hz. Dat betekent een verschil (of een tussenruimte) van 1 000 000 Hz.

W. — Laten wij nu, om de berekening eenvoudig te houden, aannemen, dat elke zender recht heeft op een bandbreedte (men zegt ook wel een kanaal) van 10 000 Hz. Hoeveel kun je er dan in totaal onderbrengen in die tussenruimte?

Vr. — Heel eenvoudig; 1 000 000 gedeeld door 10 000 is 100. Dus moeten er, willen ze mekaar niet hinderen, niet meer dan 100 zenders op de middengolf werkzaam zijn. Maar er zijn er heel wat meer!

W. — Ja zeker! Men kan namelijk verscheidene zenders op één golflengte laten uitzenden op voorwaarde, dat zij hetzelfde programma geven en dat zij volkomen



gelijk lopen, „synchroon zijn”. Ja, men kan ze zelfs in de gelegenheid stellen verschillende programma's uit te zenden, maar dan op voorwaarde, dat die zenders heel zwak zijn en op grote afstand van elkaar staan. Dat neemt echter niet weg, dat de middengolfschaal niet meer dan 100 verschillende golflengten omvat.

Vr. — Dat is maar weinig. Maar staat men er dan in het metergolfg gebied beter voor?

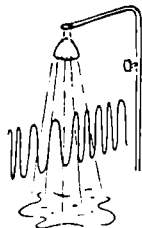
W. — Maak je berekening nu nog eens om te zien hoeveel kanalen van 10 000 Hz er bv. ondergebracht kunnen worden tussen de golflengte van 3 m en die van 3,75 m.

Vr. — O wee, wat wil je nu, dat men doet in die armzalige 75 centimeter tjes? . . .

Enfin, omdat het wel eens leuk is vandaag om Einstein concurrentie aan te doen, ga ik me nogmaals in die berekeningen verdiepen. Met 3 m golflengte komt een frequentie overeen van 100 000 000 Hz en met 3,75 m: 80 000 000 Hz. De tussenruimte bedraagt dus 20 000 000 Hz en . . . grote hemel! Is dat mogelijk? Daar kan men 2000 kanalen van elk 10 000 Hz tussenstoppen! . . . Ik heb me vast en zeker vergist. Zouden die 75 cm dus langer zijn dan de 400 m van de middengolf?

W. — Nee, waarde vriend, je berekeningen zijn door geen enkele fout beoedeld. Zij laten je alleen maar zien, dat de metergolven een veel mooiere frequentiespreiding geven, waarin men aan een veel groter aantal zenders golflengten kan toewijzen zonder op een schriële manier op de breedte van de modulatie zijbanden van elke zender te moeten bekknibbelen.

A	F
100 000 000 m	
3 m	80 000 000 Hz
3,75 m	= 20 000 000
20 000 000	10 000
	2,00%



### De keerzijde van de medaille

Vr. — Kolossaal! Daar had ik aan moeten denken. Ik hoop dan maar, dat men gauw die middengolf in de steek zal laten en dat alle zenders zullen emigreren naar dat wijde en wijde land van de metergolven, waar zij in volle vrijheid kunnen ontluiken ten profijte van alle ware minnaars der goede muziek.

W. — Wat een lyrische bevlieging krijg je daar! . . . Ik ben dan ook innig bedroefd, dat ik voor de zoveelste keer die warme geestdrift van je een koude douche moet geven, want die metergolven worden, helaas, gehinderd door een groot ongemak: ze hebben een zeer beperkte reikwijdte.

Vr. — Wat een pech! Daar heb je nu eens golven, die in geen enkel opzicht het geluidsbeeld beperken. Waarom moeten die zich nou op hun beurt weer zo slecht voortplanten?

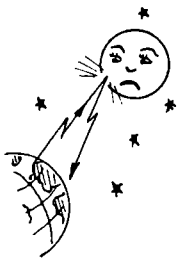
W. — Omdat ze, daar zij steeds meer de golven van het licht benaderen — die hebben hetzelfde elektromagnetische karakter, maar een nog veel kortere golflengte — ook eigenschappen hebben, die veel gelijken op die van het licht. In plaats van terug te kaatsen tegen de bovenste lagen van de dampkring, waarvan de ionisatie het mogelijk maakt om, zoals een spiegel, de langere golven naar de aarde terug te sturen, dringen de metergolven daarin door zonder enige hoop op terugkeer.

Vr. — Je zou ze dus kunnen gebruiken om in verbinding te komen met de bewoners van andere planeten?

W. — Ja zeker, op voorwaarde dat die bestaan . . . Maar, zonder nu beslist zover te gaan, kan ik je wel vertellen, dat men erin geslaagd is bundels van die golven tegen de oppervlakte van de maan te projecteren, die ze teruggekaatst heeft, zodat ze weer op de aarde zijn teruggekomen.

Vr. — En hoe lang heeft dat heen-en-weertje geduurd?

W. — Ongeveer twee en een halve seconde. Maar terwijl ze ons aan de ene kant in de gelegenheid stellen een echo van de maan te ontvangen, onderscheiden die





metergolven zich aan de andere kant door een rechtlijnigheid van een buitengewoon hardnekkig karakter. Terwijl de langere golven graag de ronding van de aardbol getrouw blijven, hetgeen hen in de gelegenheid stelt de oppervlakte van de aarde over grote afstanden te volgen, overschrijden de metergolven, recht als de stralen van het licht, ternauwernood de horizon.

Vr. — Kortom, als ik het goed heb begrepen, is het noodzakelijk om ze goed te ontvangen, dat er rechtstreeks zicht is tussen de zendantenne en de ontvangantenne.

W. — Zo is het wel ongeveer. Dat is dan ook de reden, waarom men de zendantennes van de metergolven zo hoog mogelijk plaatst. Maar ondanks dat overschrijdt de draag- of reikwijdte van die golven zelden de 100 km.

Vr. — Hetgeen het dus noodzakelijk maakt om zelfs in een klein land als het onze verscheidene zenders te bouwen.

W. — Ja, jammer genoeg! En datzelfde doet zich voor in de televisie, die (dat zal je later wel horen) ook gebruik maakt van die metergolven.



### Op dieet van . . . samenpersing!

Vr. — Welbeschouwd vormt die onvoldoende reikwijdte van de ultrakortegolfzenders toch geen onoverkomelijk bezwaar. Ik hoop, dat men er voldoende bedragen aan heeft besteed om een toereikend aantal van dergelijke zenders op te richten, zodat men de muziek zonder de minste beperking kan uitzenden.

W. — Dat is veel gezegd. Al is er dan in het gebied van de metergolven geen beperking in de frequentie, daarvoor in de plaats komt er een andere te voorschijn en wel die, welke het proces van de modulatie, dat wij tot nu toe hebben bestudeerd, zelf aantast: de beperking van de *dynamiek*.

Vr. — Wat bedoel je daarmee?

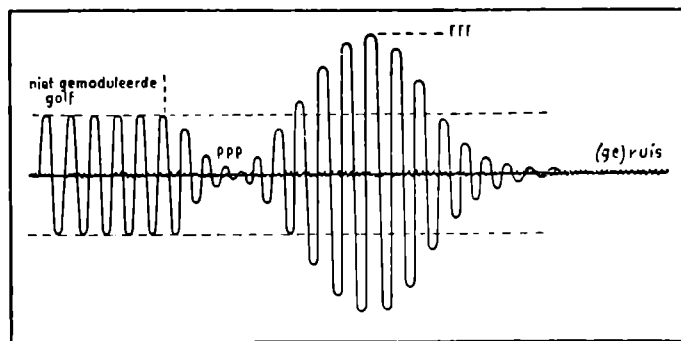
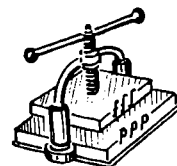


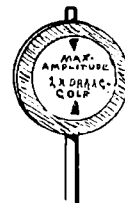
Fig. 120. Als een hoog-frevente draaggolf in amplitude gemoduleerd wordt, worden de grenzen van die modulatie bepaald enerzijds door het dubbele van de amplitude van de ongemoduleerde golf voor wat het maximum betreft, anderzijds door de „ruis” (of het „geruis”) voor het minimum.

W. — Dat is de verhouding tussen de maximale en de minimale sterkte van de tonen. In een groot symfonie-orkest kan een luid fortissimo tienduizendmaal zo sterk zijn als het pianissimo van een violsolo. Welnu, met onze *amplitudemodulatie* kan men een dergelijke sterkteverhouding niet overbrengen.

Vr. — Waarom niet?

W. — Voor zover het zijn grootste vermogen betreft, kan men de draaggolf niet boven het dubbele van zijn amplitude moduleren (fig. 120).

Vr. — Goed! Maar wat de minimale sterkte betreft, als je daarvoor de amplitude



van de draaggolf vermindert in de gewenste verhouding, moet je toch de dynamiek van de muziek kunnen eerbiedigen.

W. — Ach, arme vriend, aan die kant worden we eveneens beperkt en wel door het *geruis* of de *ruis*. Dat is een soort gezoem, dat men in het ontvangtoestel hoort, als er geen uitzending plaats heeft (of ook wel tijdens een pauze) en dat het gevolg is van verschillende oorzaken.

Vr. — Ik denk, dat de atmosferische en elektrische storingen daar ook wel bij horen.

W. — Vanzelf! Maar behalve die uitwendige oorzaken zijn er nog andere, nauwer verbonden aan de zender of de ontvanger zelf. En dat is dan vooral het geruis ten gevolge van de onregelmatigheid in de elektronenemissie van de kathoden en ten gevolge van de warmte-ontwikkeling der moleculen van de weerstanden en trillingskringen.

Vr. — Kijk, dat doet me denken aan de „korrels” van de emulsielaag op de fotonegatieven, waardoor de mate van vergroting wordt beperkt.

W. — Die vergelijking is heel goed.

Vr. — Als ik het dus goed begrijp, mogen de kleinste amplituden van de gemoduleerde stroom niet lager zijn dan het niveau van het geruis, opdat ze er niet in zullen verdrinken.

W. — Mijn gelukwensen! Je hebt de toestand zeer juist beschreven. Men is verplicht de dynamiek van de uitgezonden muziek samen te persen om te voorkomen, dat de *fortissimi* het tweevoud van de draaggolfamplitude te boven gaan en dat de *pianissimi* zachter worden dan het geruis (of, zoals de normalisatie aanbeveelt: de *ruis*).

Vr. — Wat moppig! Eerst vindt men een middel tot volledige eerbiediging van de frequentieschaal door een beroep te doen op de metergolven, maar dan is men weer niet in staat alle nuanceringen in de muziek te behouden en gaat men de verhouding tussen de uiterste sterkten in elkaar drukken! Wat een ellende! . . . En dan te bedenken, dat er fabrikanten van toestellen zijn, die durven spreken over . . . *high fidelity!* . . .

### Veranderlijke frequentie. Constante amplitude

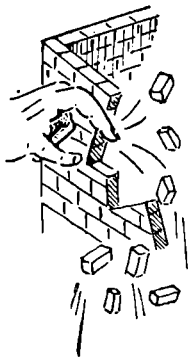
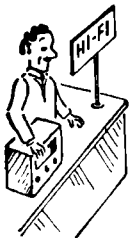
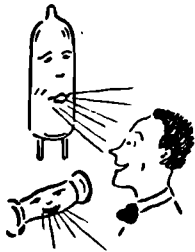
W. — Ze noemen dat nog korter *hi-fi* of in het Nederlands *wee-wee*: werkelijkheidsweergave en vaak hebben ze niet eens ongelijk. Het betreft dan namelijk de *frequentie-modulatie* en die is niet onderworpen aan beperkingen van de dynamiek.

Vr. — Ik wist al lang, dat het een gewoonte van jou is om met zorg een hindernis op te werpen ten einde hem daarna in een handomdraai om te gooien. Je ziet, dat ik je wel goed ken, Weetal! Maar wat is nou die frequentiemodulatie weer?

W. — Tot nu toe hebben we maar één middel bestudeerd om de L.F.-reiziger in de H.F.-trein te laten instappen, of — technischer gezegd — de draagtrilling te moduleren door de microfoontrilling: dat is de *amplitudemodulatie* die de opeenvolgende amplituden van de draagtrilling doen variëren op het ritme van de veranderingen in de laagfrequente spanning.

Vr. — Je wilt toch zeker niet zeggen, dat het bij de frequentiemodulatie de frequentie van de draaggolf is, die varieert volgens de waarden van de laagfrequente trilling?

W. — En toch is dat zo! In plaats van in te werken op de amplitude van de draagtrilling, oefent de modulatie invloed uit op de *frequentie* daarvan (fig. 121). Hoe hoger de ogenblikswaarde van de laagfrequente stroom is, des te hoger wordt op datzelfde ogenblik de frequentie van de gemoduleerde stroom.



Vr. — Wat de amplitude daarvan betreft, merk ik op, dat die gelijk blijft.

W. — Ja. En dat is nog niet het minste van alle voordelen der frequentiemodulatie, of, zoals we kortweg zeggen, der *F.M.* Dat moet je natuurlijk niet verwarren met de *M.F.*, de midden-frequentie, waarover we vroeger hebben gepraat. Dat constant

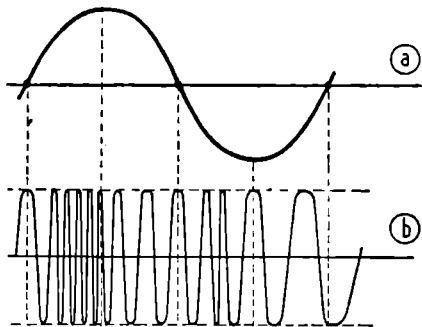


Fig. 121. Bij frequentiemodulatie blijft de amplitude van de draaggolf constant (bij b), maar de frequentie daarvan varieert rondom een zekere gemiddelde waarde op het ritme van de laagfrequente modulatie.

van de draaggolf, zoals die is bij afwezigheid van enige modulatie. Zwakke geluiden leveren maar geringe afwijkingen van de frequentie op. Krachtige stemverheffingen of „uitbarstingen” van een orkest veroorzaken daarentegen zeer belangrijke afwijkingen, of met een overbodig deftig woord: *deviaties* van de frequentie.

Vr. — Het ritme van die frequentie-afwijkingen stelt dus de frequentie van de laagfrequente modulatie voor. En de waarde van die afwijkingen komt dan overeen met de sterkte van de L.F.

W. — Je hebt de frequentiemodulatie goed gesnapt, Vraagal.

Vr. — En daar er geen enkele reden is om de grens van die frequentie-uitstapjes te beperken, kan men, naar ik veronderstel, de zuivere sterkteverhoudingen in ere houden, of anders gezegd: de ware dynamiek van de muziek daaraan teruggeven.

W. — Zo is het. Overigens is dat nu juist de reden, waarom men voor de *F.M.* de metergolven heeft geadopteerd, waarbij men immers over een zeer ruim frequentiegebied kan beschikken.

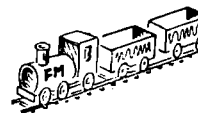
### Een allereenvoudigste *F.M.*-zender

Vr. — Die frequentiemodulatie bevat mij uitermate. Ik heb erg veel zin daar een diepere studie van te maken. En, om daarmee dan maar direct te beginnen, zou ik graag weten hoe zo'n *F.M.*-zender in elkaar zit.

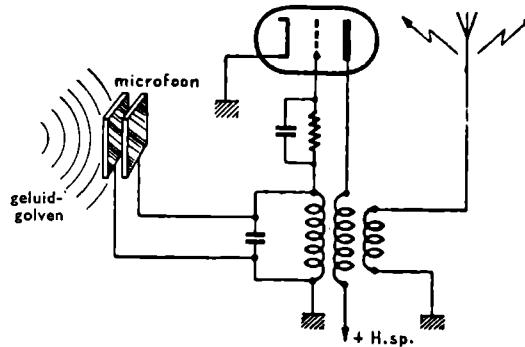
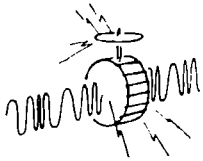
W. — Je nieuwsgierigheid is werkelijk grenzeloos, amice! Ik zal proberen haar te bevredigen door je te laten zien hoe men een experimentele zender van gering vermogen kan ontwerpen door gebruik te maken van een *elektrostatische microfoon*.

Vr. — Wat is dat nou weer voor een ding?

W. — Heel gewoon, een condensator met twee platen, waarvan een, een stijve, bestaat uit een massieve metalen plaat, terwijl de andere, die elastisch is, wordt



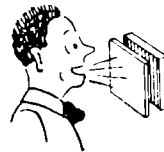
gevormd door een heel dun metalen membraan, dat tegenover de eerste gespannen is. Vr. — Ik kan wel raden, dat dat geheel een echte draaibare condensator vormt, waarvan de capaciteit varieert, als geluidsgolven de elastische plaat in trilling brengen. W. — Men kan jou niets meer wijsmaken, vrindje! Daar je de zaak zo goed hebt begrepen, zal je helemaal niet verbaasd zijn, als je ziet, dat die microfoon parallel geschakeld is met de afstemkring van een buisoscillator (fig. 122). De veranderingen in de capaciteit van die microfoon veroorzaken veranderingen in de frequentie van de afstemkring, dus van de door de elektronenbuis opgewekte trillingen.



*Fig. 122. Zo kan men zich de allereenvoudigste F.M.-zender voorstellen. De elektrostatische microfoon (condensatormicrofoon) doet de frequentie van de trillingskring variëren.*



Vr. — Kort en goed, dan hebben we dus in frequentie gemoduleerde golven, d.w.z. F.M.-golven. Ik had nooit gedacht, dat het zó eenvoudig was!  
 W. — In de werkelijke F.M.-zenders is alles natuurlijk veel ingewikkelder. Maar daar hoeft jij je niet mee te bemoeien.  
 Vr. — Zo is het. Maar wat ik vooral zou willen weten, is de manier, waarop die buitengewone uitzendingen worden ontvangen.  
 W. — Als je dan maar geduld wilt hebben tot ons volgende gesprek, dan kunnen we die kwestie gaan bespreken.



*Nadat zij in hun vorige gesprek de beginselen van de F.M.-uitzending hebben bestudeerd, gaan onze jonge vrienden nu de bijzonderheden onderzoeken van de F.M.-ontvangtoestellen en dan vooral van de cascadeschakeling, de discriminator, de verhoudingsdetector, de begrenzer enz....*

**Alles is betrekkelijk**

Vr. — Alles wat je me de vorige keer hebt uitgelegd over de frequentie-modulatie is me door het hoofd blijven spelen. Al die begrippen zijn tamelijk ongewoon. De laagfrequente amplituden worden hier weergegeven door grotere of kleinere veranderingen van de hoge frequentie; en de lage frequentie wordt voorgesteld door . . . hoe zal ik het zeggen? . . . door de frequentie van de veranderingen in de hoge frequentie.

W. — Hoewel je wijze van uitdrukken nu niet bepaald elegant is, zeg je toch dingen, die erg verstandig zijn.

Vr. — Ik heb eveneens nagedacht over de manier om die F.M.-uitzendingen te ontvangen. Ik denk, dat een gewoon ontvangtoestel, zo een voor amplitudemodulatie, daarvoor niet geschikt zal zijn, want als men die gemoduleerde hoogfrequente trillingen, waarvan alle amplituden even groot zijn, zou gelijkrichten, kreeg men een gelijkspanning en niet die van de laagfrequente modulatie. Heb ik gelijk of niet?

W. — Zeker. We zullen dan ook bij F.M. geen gewone detectoren gebruiken. Maar daarin schuilt niet de enige bijzonderheid van de toestellen, die voor frequentie-modulatie bestemd zijn.

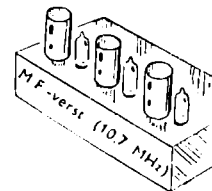
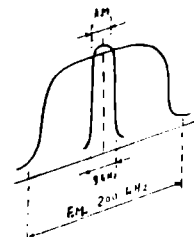
Vr. — Ik zie niet in, waarom men, afgezien van de gelijkrichttrap, geen beroep zou kunnen doen op het klassieke schema van de superheterodyne.

W. — De super is inderdaad het schema, dat algemeen voor F.M. is aanvaard. Maar het schema zelf en de onderdelen daarvan zijn verre van klassiek. Je schijnt te vergeten, dat de uitzendingen plaatsvinden op metergolven, dat wil zeggen met frequenties in de orde van honderd miljoen hertz en dat op de koop toe de modulatie-zijbanden zich aan beide zijden van de gemiddelde waarde van de draaggolf uitstrekken over een breedte van een honderd duizend hertz, in plaats van over die mierzige 4500 Hz, waarmee de amplitudemodulatie het moet doen.

Vr. — Tja, dat is waar, daar dacht ik niet aan. Ik veronderstel dus, dat we zowel in de H.F.- als in de M.F.-trappen afstemkringen moeten aanbrengen, die in staat zijn frequentiebanden door te laten ter grootte van 200 kHz.

W. — Zo is het. Men gaat zelfs tot 300 kHz. En omdat het heel moeilijk zou zijn dat te bereiken met middenfrequenttrappen van 400 à 500 kHz, stemt men die middenfrequenttrappen in deze speciale ontvangers af op een tiental megahertz. De meest toegepaste waarde is 10,7 MHz.

Vr. — Dat kan ik wel snappen. Voor een M.F.-transformator, die afgestemd is op 455 kHz zou een doorgelaten band van 300 kHz meer dan de helft van zijn frequentie vertegenwoordigen, terwijl diezelfde band voor 10,7 MHz slechts ongeveer 3% van de frequentie uitmaakt. Dat is weer dat oude verhaal van die miljonair voor wie de gulden, die hij aan een bedelaar geeft, niets betekent, terwijl het geven van diezelfde aalmoes voor een klein ambtenaartje een opoffering zou betekenen.



W. — Dat is het eeuwige vraagstuk der betrekkelijkheid . . . Maar, zoals iedere medaille zijn keerzijde heeft, is, als men een brede frequentieband versterkt, de versterking zelf daarentegen vrij gering. Men moet daarom dan ook twee, soms zelfs drie middenfrequenttrappen inschakelen.

Vr. — Ontslaat ons dat van de noodzakelijkheid een H.F.-vóórversterking te hebben?

W. — In geen geval. Het gebruik van een H.F.-trap voorafgaande aan de mengtrap wordt erg aanbevolen. Maar, daar men rekening moet houden met de hoge waarde van de frequentie der ontvangen signalen, vertonen de gewone schakelingen enige gebreken. In het bijzonder is het niet erg raadzaam pentoden toe te passen; die laten een duidelijk geruis horen. De trioden zijn in dat opzicht stukken beter, hoewel hun versterkwaarde minder is.

Vr. — Je kunt ook niet alles tegelijk hebben!

W. — Laat je wijsgerigheden maar thuis, Vraagal! En vergeet niet, dat de triode een ander bezwaar heeft, waarover we destijds heel lang hebben gesproken.

**Is dat nu geen waanzin?**

Vr. — Je wilt het natuurlijk hebben over die beruchte capaciteit tussen de kathode en de anode, waarvan men het effect verzwakt door tussenplaatsing van het schermrooster.

W. — Precies! Maar daar we hier evenmin tetroden als pentoden willen gebruiken, moeten we een kunstgreep te baat nemen om de werking van die vervloekte capaciteit tegen te gaan. Die listigheid bestaat hierin, dat we het rooster van de triode de rol van schermrooster laten spelen door het op de vaste en onveranderlijke potentiaal van de negatieve pool van de hoogspanningsbron te brengen. Een dergelijke schakeling noemt men daarom een triode met geaard rooster (fig. 123).

Vr. — Maar dat is toch je reinste waanzin! Als je het rooster met „aarde” verbindt, kun je er de te versterken veranderlijke spanningen niet meer aan doorgeven. — Natuurlijk niet. Men brengt ze dan ook op de kathode, zoals mijn schema dat zo netjes laat zien.

Vr. — Hoe langer hoe mooier! Het is dus de kathode, als ik het goed begrijp, die hier dienst doet als stuur-elektrode? . . .

W. — En waarom niet? Waar het op aankomt, is het feit, dat tussen rooster en kathode de spanning moet variëren om invloed te hebben op de sterkte van de anodestroom. Of je nu de veranderlijke potentiaal brengt op het rooster (met de kathode als vaste potentiaal) of dat je hem in het omgekeerde geval doorgeeft aan de kathode en het rooster op de vaste potentiaal houdt, dat komt op hetzelfde neer.

Vr. — Ja, je hebt gelijk. De schakeling met geaard rooster verschilt niet zoveel van de klassieke schakeling. Het is eigenlijk net als met het gezin van onze burens . . .

W. — Wat voor onzin ga je nou weer uitkramen?

Vr. — Helemáál niet! Bij onze burens kan de moeder slecht opschieten met haar dochter. Nu eens is het de ene, die de andere te lijf gaat, die alleen maar met rust gelaten wenst te worden, dan weer is het precies het omgekeerde, net als met die

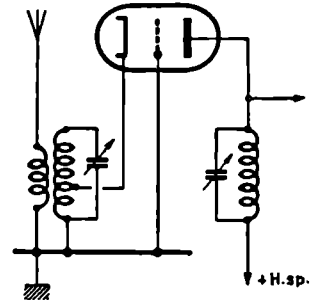
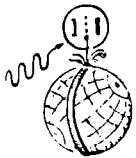
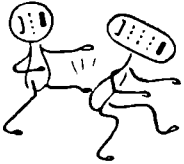


Fig. 123. Ziehier hoe in zijn meest klassieke vorm de schakeling er uitziet van een H.F.-versterktriode met geaard rooster.

kathode en het rooster . . . Maar of nu de aanleiding van het geharrewar ligt bij de moeder of bij de dochter, de vader raast in beide gevallen tegen alle twee en daarmee speelt hij precies de rol van de versterkte plaatstroom.

W. — Je zou dat verhaaltje wel eens verzonnen kunnen hebben om maar gelijk te krijgen. Dat zou me tenminste niets verbazen . . .

Vr. — Eén punt van je schema bevreemdt me nog: waarom koppel je het rooster aan een *afzakking* op de spoel van de afgestemde kring in plaats van de gehele spanning, die op de klemmen daarvan staat, door te geven?

W. — Omdat de ingangsweerstand van een zo geschakelde triode tamelijk gering is. En als hij nu parallel geschakeld zou worden met het geheel van die afgestemde kring, zou hij die te sterk dempen, hetgeen de versterking weer zou verminderen. Dat is dus de reden, waarom men er de voorkeur aan geeft aan te sluiten op slechts een deel van die kring. Toch is er nog een ander middel om de inwerking van die demping op de ingangskring te voorkomen. Kun je raden, wat dat is?

Vr. — Nee, dat geef ik op.

W. — Welnu, je kunt ermee volstaan onze triode met geaard rooster te laten voorafgaan door een andere versterktriode, die op de klassieke wijze wordt geschakeld (fig. 124).

„Cascade” = twee trappen in cascade

Vr. — Je drijft zeker de spot met me, Weetal? Je schakeling kan niet werken, want

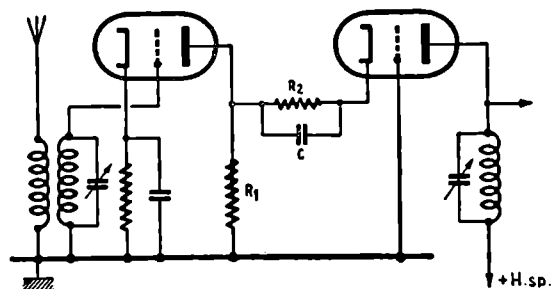


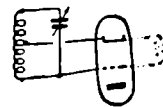
Fig. 124. Hier ziet men de theoretische samenstelling van de zg. *cascoodeschakeling*. Merk op, dat de weerstand  $R_1$ , helemaal niet nodig is.

W. — Je hebt ongelijk door zo beslist in je bewering te zijn. Ik erken wel, dat deze schakelwijze, die men *cascoodeschakeling* noemt, een tikje afwijkt van het klassieke geval, dat jij met zoveel vuur verdedigt. Maar in tegenstelling met wat jij denkt, staat er toch een positieve spanning op de anode van de eerste buis en dat werkt allemaal best.

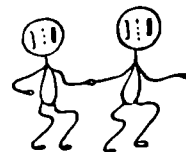
Vr. — Waar komt die spanning dan vandaan?

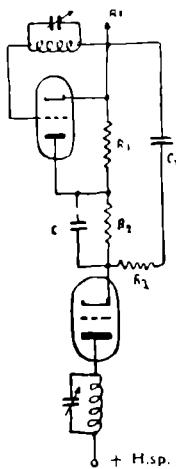
W. — Heel gewoon: van de plaat van de tweede buis, die — op zijn beurt — verbonden is aan de pluspool van de hoogspanningsbron.

Vr. — Moet ik het zo begrijpen, dat die spanning de plaat van de eerste triode bereikt door de weerstand anode-kathode van de tweede buis met daarbij in serie de weerstand  $R_2$ , die weer parallel is geschakeld met de koppelcondensator  $C$ ?



de laadweerstand  $R_1$  van de eerste buis ligt aan aarde, d.w.z. aan de negatieve hoogspanning. Er is bijgevolg geen enkele positieve spanning op de anode van die eerste triode. En zelfs al ging je voor haar op je knieën liggen, zou die triode, die jij — wat een verwaandheid — beweert in een „klassiek” schema te willen gebruiken, absoluut weigeren een spanning te versterken of zelfs maar over te brengen naar de volgende buis.





W. — Zo is het. Men kan het beschouwen, alsof de weerstanden  $R_1$ ,  $R_2$  en die tussen kathode en plaat van de tweede triode in serie geschakeld een spanningsdeler vormen, die tussen de negatieve en de positieve pool van de hoogspanningsbron is geplaatst. Dat wil zeggen, dat het verbindingspunt tussen de weerstanden  $R_1$  en  $R_2$ , waarmee de eerste anode wordt verbonden, een zekere positieve spanning heeft, die des te hoger is, daar  $R_1$  een waarde heeft in de orde van grootte van een halve megohm, terwijl  $R_2$  niet meer is dan een honderd ohm.

Vr. — Ik zondaar! Daar had ik allemaal aan moeten denken . . . Maar tegelijkertijd merk ik op, dat in de tweede buis van de *cascode* (mag ik dat geval zo noemen?) en wel die, waarvan het rooster geaard is, de voorspanning op de juiste wijze is verzorgd, want de kathode heeft een positieve potentiaal, terwijl het rooster negatief is ten opzichte van de kathode. En zo gaat dan alles van een leien dakje.

### Eerherstel voor een veronachtzaamde schakeling

W. — Misschien! Maar door me al maar lukraak vragen te stellen, laat je me de bestudering van de ontangtoestellen voor frequentiemodulatie beginnen bij de midden-frequenttrappen en voortzetten met de H.F.-versterker, wat nu niet direct de logische volgorde is.

Vr. — Valt er dan nog het een en ander over de frequentie-omzetting, d.w.z. over de mengtrap, te zeggen?

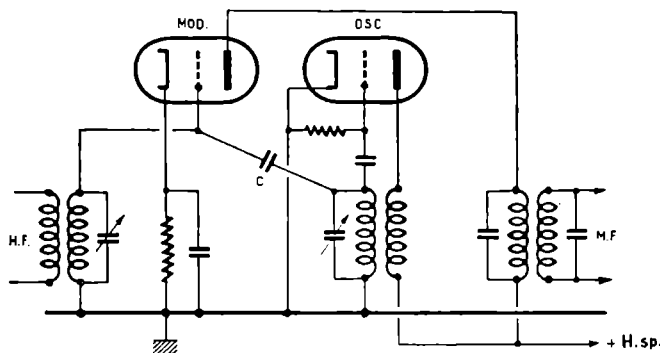
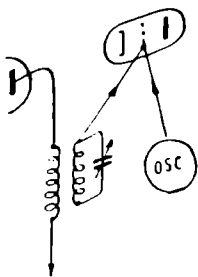


Fig. 125. In een mengtrap met twee trioden worden de inkomende trilling en de oscillatortrilling tegelijk aan het rooster van de mengtriode doorgegeven.



W. — Zeker, want voor de zeer hoge frequenties worden onze klassieke mengbuizen minder werkzaam. Men ziet dan ook voor F.M. — behalve in enkele zeldzame uitzonderingsgevallen — af van het gebruik van heptoden of trioden-hexoden, waarin het hoogfrequente signaal en de hulptrillingen aan twee verschillende roosters worden doorgegeven, om terug te keren tot het oude systeem van de afzonderlijke oscillator, door de beide spanningen aan hetzelfde rooster te geven (fig. 125).

Vr. — Ditmaal houd je me werkelijk voor de gek. Geloof je, dat ik al die ellende vergeten ben, die je me kort geleden hebt verteld over dat systeem? Ik herinner me, dat het voornaamste bezwaar ervan de neiging van de hulposcillator is, trillingen



van dezelfde frequentie op te wekken als die van de op het ontvangen signaal afgestemde kring.

W. — Men heeft er inderdaad moeite mee een dergelijke „synchronisatie” (gelijklopen) van de twee hoogfrequente trillingen te voorkomen, die tot dichtknijpen van de mengbuis zou leiden.

Vr. — Waarom zou je desondanks toch een schakeling, die door een dergelijke fout wordt verknoeid, toepassen in de F.M.-ontvangers?

W. — Omdat het verschil van een tiental megahertz tussen beide frequenties (en zoveel zal de waarde van de M.F. bedragen) voldoende is om die synchronisatie — of laat ik zeggen: dat gelijklopen — te voorkomen.

Vr. — Ik zie dus, dat je twee trioden gaat gebruiken, waarvan er één, die als mengbuis dienst doet, op zijn rooster hoogfrequente trillingen van het ontvangen signaal krijgt, die al eerder versterkt waren, en aan de andere kant door de condensator C heen, de trillingen van de oscillator ontvangt.

W. — Zo is het! Men gebruikt vaak dubbele trioden, zg. duo-trioden, dat zijn buizen, waarvan de beide elektrodensystemen in één ballon zijn ondergebracht. In dat geval kan men zonder bezwaar de koppelcondensator C weglaten, daar de inwendige capaciteiten tussen de elektroden toereikend zijn om de spanningen van het ene rooster op het andere over te brengen.

Vr. — Kan men nu echter toch niet een pentode toepassen in de rol van mengbuis? De winst zou dan toch veel groter zijn?

W. — Dat doet men weleens. Maar dan neemt het ruisniveau toe. Iedere medaille heeft nu eenmaal een keerzijde . . .

### In het rijk der symmetrie

Vr. — En nu we de H.F.-vóórversterktrap, de mengtrap en de middenfrequentieversterkers de revue hebben laten passeren, blijft ons niets anders over dan de detector en de L.F.-versterker te onderzoeken.

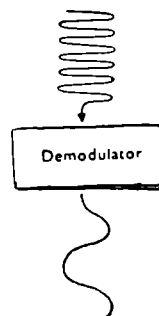
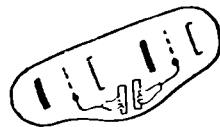
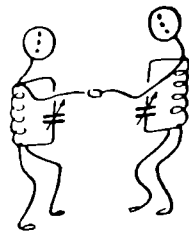
W. — Je drukt je niet voldoende duidelijk uit. Voor F.M. spreken we over de *demodulator* in plaats van kortweg over detector. Die naam blijft dan gereserveerd voor de A.M. Er bestaan verscheidene typen demodulatoren, of — als je dat nu beslist zou willen — frequentiedetectoren. Maar ze hebben allemaal hetzelfde doel . . .

Vr. — Ik denk, dat het hun taak is frequentiemodulatie in amplitudemodulatie te vertalen.

W. — Daarin vergis je je niet, vriend. En men bereikt dat doel door twee op de middenfrequentie afgestemde kringen toe te passen, dat wil zeggen op de waarde van de middenfrequentie, zoals die is bij afwezigheid van de modulatie, twee symmetrische kringen, die dus te zamen een nulspanning geven, of — in andere gevallen — een gelijkspanning. Maar zodra de frequentie aan de ene of aan de andere kant verandert, is het evenwicht verbroken en hebben we een veranderlijke uitgangsspanning.

Vr. — Het zijn waarschijnlijk mooie, diepe gedachten, die jij daar onder woorden brengt, maar voor mij is het allemaal erg duister en vaag. Zou je niet eens een verhelderend schema voor me willen tekenen?

W. — Hier is er een van de meest bekende frequentiedetector, *discriminator* genaamd (fig. 126). Bij de eerste oogopslag zul je de volmaakte symmetrie van deze schakeling opmerken. Merk op, dat de spanningen van de primaire naar de secundaire van de laatste M.F.-transformator niet alleen door inductie worden overgebracht, maar ook



door een capaciteit: door de condensator C heen en dan naar een aftakking, die zich precies in het midden van de secundaire bevindt.

Vr. — Ik veronderstel, dat daar bij die discriminator het addertje onder het gras zit.

W. — Je voor gevoel bedriegt je ditmaal niet. Inderdaad zijn de via de condensator overgebrachte spanningen in fase verschoven ten opzichte van die, welke door het magnetische veld zijn geïnduceerd.

Maar zolang de frequentie van deze spanningen dezelfde is als die, waarop de beide kringen van de M.F.-transformator zijn afgestemd, vindt men aan beide einden van de secundaire volkomen gelijke spanningen ten opzichte van het middelste punt daarvan.

Vr. — Het vervolg kan ik wel raden. Die spanningen worden door de twee dioden  $D_1$  en  $D_2$  gelijkgericht en wekken in de weerstanden  $R_1$  en  $R_2$  eendere gelijkspanningen op, maar met tegengestelde richtingen. Ik wil daarmee zeggen, dat de punten A en B dezelfde positieve potentiaal zullen hebben ten opzichte van punt X. Die twee spanningen zullen elkaar dus opheffen . . . !

W. — Ik wil wedden, Vraagal, dat je minstens een heel blikje sardines hebt opgegeten om met de fosfor daarvan je hersenen te verlichten . . . Daar je redenering zo tot in kleinigheden volmaakt is, laat ik je maar doorgaan.

Vr. — Dat is niet moeilijk. Laten we nu eens aannemen, dat het signaal wordt gemoduleerd, dat wil zeggen dat de frequentie ervan toe- of afneemt ten opzichte van de rustspanning. Zodra zij afwijkt van de afstemfrequentie van onze kringen, is het evenwicht verbroken en een der uiteinden van de secundaire heeft dan — ten opzichte van het middelpunt daarvan — een hogere spanning; en de twee gelijkgerichte spanningen, die in A en B ontstaan ten opzichte van punt X zijn dan onderling niet meer gelijk. We zullen dus tussen A en B een zekere spanning aantreffen, die gelijk is aan hun verschil. En dat is dan de laagfrequente spanning, die we wensten te krijgen.

W. — Gefeliciteerd, mijn beste vriend! Je hebt met ontheven van de taak deze schakeling te ontleden. Het is nu helemaal niet meer nodig eraan toe te voegen, dat de condensatoren  $C_1$  en  $C_2$ , die parallel zijn geschakeld met de beide detectieweerstanden, de gebruikelijke toereikende capaciteit hebben om de middenfrequente component te onderdrukken.

### De verhoudingsdetector of balans-frequentiedetector

Vr. — Is dit de enige in gebruik zijnde discriminator?

W. — O nee, er bestaan talloze varianten. Maar ze zijn allemaal gebaseerd op hetzelfde principe: een symmetrische schakeling met onderling tegengestelde gelijk-

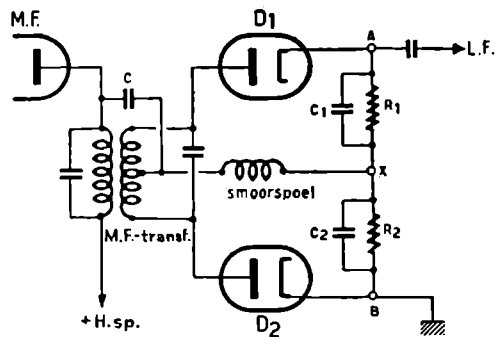
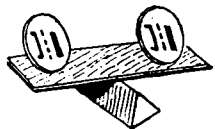
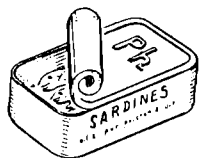
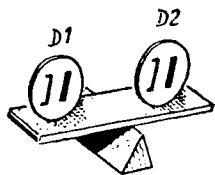


Fig. 126. Demodulatieschakeling voor frequentie-modulatie, discriminator genaamd. Een laagfrequente spanning ontstaat pas in A, als de frequentie van het op de secundaire van de M.F.-transformator aangekomen signaal ongelijk is aan die, waarop deze secundaire is afgestemd.

gerichte spanningen. Men heeft enkele andere detectiesystemen (beter zou het zijn van „demodulatie“-systemen te spreken) bedacht, die van enigszins afwijkende principes uitgaan. Dat is bv. het geval met de *verhoudingsdetector* of *balans-frequentie-detector*, waarvan ik je nu het schema geef (fig. 127).

Vr. — Je doet wat aarzelend over de aanduiding „detector“ bij de F.M.-theorie, maar je kunt er blijkbaar nog niet helemaal buiten . . . . Overigens lijkt je schema bijzonder veel op dat van de gewone discriminator. Dezelfde gelijkvormigheid, dezelfde overbrenging van spanningen van de primaire naar de secundaire van de laatste M.F.-transformator, gelijktijdig door inductie en via condensator C naar de aftakking in het midden. Je moet jezelf echter hebben vergist in de aftakking van de dioden, want in plaats van dat ze elkaar tegenwerken, worden de gelijkgerichte spanningen nu in serie bij elkaar gevoegd.

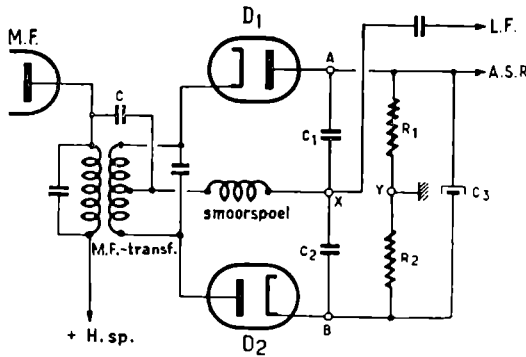
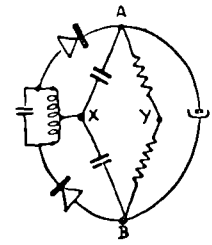


Fig. 127. Het demodulatie schema voor F.M.: de verhoudingsdetector.

die een grote capaciteit heeft (het is een elektrolytische condensator van verscheidene microfarad). Zo ontstaat er een gelijkspanning op de condensatorplaten, dat wil zeggen tussen de punten A en B. Wat punt X betreft, je raadt wel . . . .

Vr. — . . . . dat dat juist de helft van de spanning heeft, daar alle symmetrische onderdelen onderling geheel gelijk moeten zijn: zowel  $C_1$  en  $C_2$  als  $R_1$  en  $R_2$ .

W. — Je hebt werkelijk een buitengewoon heldere geest vandaag! Inderdaad gebeurt dat allemaal zo, als jij zegt, ten minste . . . bij afwezigheid van enige modulatie. Maar als de frequentie van het signaal verandert ten opzichte van die, waarop de transformatorkring is afgestemd . . . .

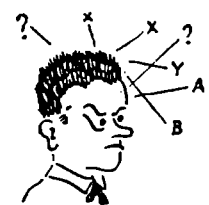
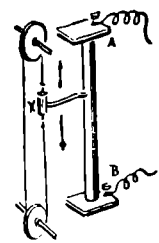
Vr. — O, dat zie ik wel: de door een der dioden gelijkgerichte spanning wordt hoger of lager dan die, welke door de andere diode werd gelijkgericht. Bijgevolg bevindt punt X zich niet meer op het midden van de spanning tussen A en B.

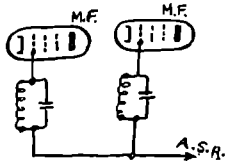
W. — Je stelt nog weer eens, zij het op een weinig fraaie manier, onomstotelijke waarheden vast. Ik moet er echter wel de nadruk op leggen, dat als de frequentie verandert, de totale spanning tussen A en B ongewijzigd blijft (ze hangt immers niet van de frequentie af). Wat echter wel verandert, dat is de *verhouding* van de spanningen tussen X en B en tussen X en A.

Vr. — Als we nu dus de spanning afnemen tussen de punten X en Y, krijgen we de laagfrequente modulatie, daar zij op ieder ogenblik evenredig is met de afwijking van de frequentie ten opzichte van de gemiddelde waarde bij het ontbreken van modulatie.

W. — Je redeneert als Euclides en Cartesius, dat waren grote wiskundigen, te zamen!! Merk ondertussen op, dat als tussen X en Y de spanning op ieder willekeurig moment alleen afhankelijk is van de waarde van de frequentie, dat niet hetzelfde geval is wat betreft de globale spanning tussen A en B ten gevolge van de detectie door de twee dioden.

W. — Neen, dat is geen fout. Die twee spanningen moeten juist te zamen komen, ze laden dan de condensator  $C_2$ ,





Vr. — Ik veronderstel, dat de waarde dáárvan afhankelijk is van de amplitude van de gelijkgerichte signalen.

W. — Daarin vergis je je niet. En dat is dan de reden, waarom men ze kan gebruiken voor de A.S.R.: de automatische sterkteregeling.

### Weg met de storingen!

Vr. — Kortom: we hebben nu twee punten (A en B), waartussen de spanning varieert met de amplitude en twee andere punten (X en Y), waarin ze afhankelijk is van de frequentie. Dat brengt me op een idee, dat jou misschien wel belachelijk zal lijken.

W. — Misschien wel. Zeg het toch maar.

Vr. — Nou, zoals je weet, heb ik erg veel te lijden van de storingen, die dat neon-reclamebord bij ons aan de gevel veroorzaakt en dat een ontstellend geknetter in mijn ontvangtoestel laat horen. Dat geknetter is het gevolg van modulatie in de amplitude van de uitzendingen, die mij bereiken door storende spanningen. Dus, als ik nu met die verhoudingsdetector een in frequentie gemoduleerde uitzending ontvang, moeten die storingen, welke alleen op de amplitude inwerken, maar niet op de frequentie van het signaal, niets van zich laten merken in de gedemoduleerde laagfrequente stroom, die men afneemt tussen X en Y . . . . Waarom lach je, Weetal? Heb ik iets reuze stoms gezegd?

W. — Integendeel zelfs, Vraagal. Alles wat je zojuist hebt uitgelegd, is volkomen in orde. Ik geloof, dat als ik je in het vervolg heel moeilijke dingen moet uitleggen, het het beste is, als ik je maar direct zelf aan het woord laat. Dat prikkelt je logische denkvermogen . . . .

Vr. — De F.M. biedt bijgevolg naast zijn muzikale deugden (geen besnoeiing van de frequenties, noch van de dynamiek) het voordeel gevrijwaard te zijn van storingen. Dat is wel schitterend!

W. — Kalmpjes aan, vriendje! Je hebt vrijwel gelijk voor wat de verhoudingsdetector betreft. Maar het gaat allemaal niet op bij de gewone discriminator, die even gevoelig is voor veranderingen in de frequentie als voor amplitudeveranderingen.

Vr. — Hè, wat jammer. Bestaat er geen middel die laatste te onderdrukken, want ze hebben geen enkel nut en doen niets dan de ontvangen uitzendingen verontreinigen met storingen?

W. — Er is wat aan te doen, men brengt namelijk een *begrenzer* aan.

Vr. — Wat is dat nu weer?

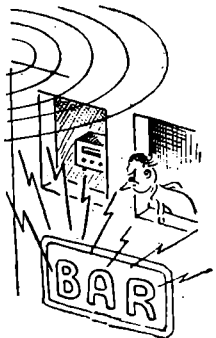
W. — Dat is een trap, die men aanbrengt na het middenfrequent gedeelte en vóór de detector. De begrenzer . . . begrenst de amplitude van het signaal tot een constante waarde. Men snijdt dus als het ware alle amplituden, die een gegeven waarde te boven gaan, af. Derhalve worden alle amplitudevariaties, die het gevolg zijn van storingen of van sluiering (je weet wel: fading), afgesneden.

Vr. — Je begrenzer doet me denken aan die dorpsbarbiërs, die hun klanten een bloempot op hun hoofd zetten: alles wat daar onderuit komt, knippen ze weg.

W. — Ik moet je bekennen, dat ik nog nooit zo'n behandeling heb ondergaan.

Vr. — Maar hoe gaat men nu te werk om de amplituden te begrenzen en dus die „nivellering naar beneden” te bereiken?

W. — De voor dat doel meest gebruikte schakelwijze is die met de *verzadigde* (of *uitgestuurde*) pentode. Men neemt de nodige maatregelen dat de karakteristiek van



de plaatstroom onder invloed van de roosterspanning een horizontale lijn aangeeft, d.w.z. een wel zeer nadrukkelijke verzadiging uitbeeldt (fig. 129). Van dat ogenblik af zullen de aan het rooster doorgegeven spanningen — op voorwaarde dat ze een vrij grote amplitude hebben — de grenzen van het rechte lijnige deel van de karakteristiek overschrijden en dus afgesneden worden, hetzij door de onderste, hetzij door de bovenste bocht.

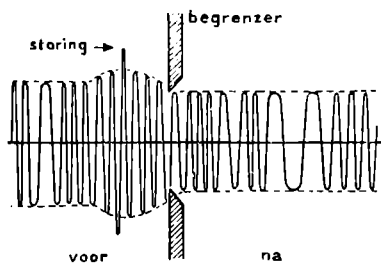


Fig. 128. Schetsmatige voorstelling van de werking van een „tweezijdige” begrenzer van een golf met frequentie-modulatie, maar die bovendien amplitudeveranderingen te zien geeft.

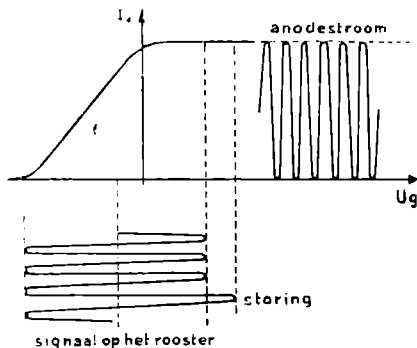


Fig. 129. Een buis kan als begrenzer fungeren in de onderste en de bovenste bocht van zijn karakteristiek.

Vr. — En hoe slaagt men erin die heel bijzondere vorm aan de karakteristiek te geven?  
 W. — Door aan het schermrooster een zeer lage spanning te geven tussen 5 en 15 V. Men bereikt dat, door een weerstand met hoge waarde te gebruiken ( $R$  in fig. 130), die de spanning doet dalen. Soms geeft men aan de anode een spanning, die aanmerkelijk lager is dan de gebruikelijke.

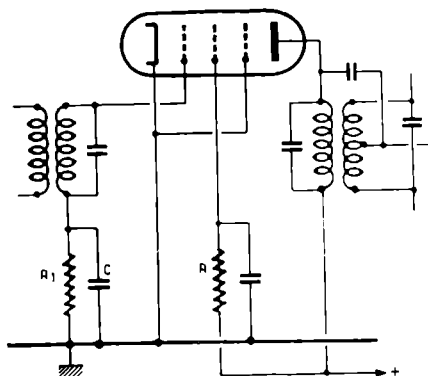
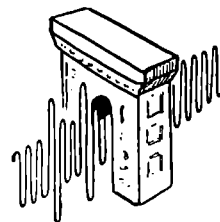


Fig. 130. Het praktische schema van een begrenzer, waarvan de bovenste bocht wordt benaderd dank zij een tamelijk lage schermroosterspanning.

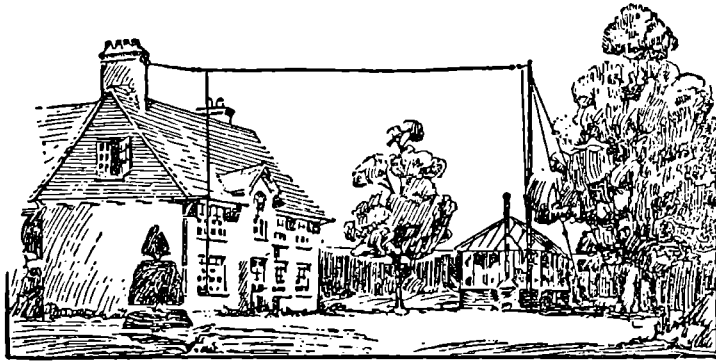
Vr. — Ach, die arme ondervoede pentode! Ik snap wel, dat hij, als-t-ie verzwakt is, geen kracht meer heeft om amplituden, die een zekere waarde te boven gaan, door te geven . . . Maar waarvoor dienen in je schema de weerstand  $R_1$  en de condensator  $C$ ? Gaat het soms om roosterdetectie?  
 W. — Tot op zekere hoogte: ja. De spanningsval, die de roosterstroom in  $R$  veroorzaakt, maakt het mogelijk het werkpunt van de buis zo gunstig mogelijk te kiezen om een volmaakte begrenzing van de amplituden te verkrijgen en op die manier de invloed van storingen of van sluiering uit te bannen . . .

Vr. — We zouden dan nu misschien het laagfrequente deel van de F.M.-ontvangers



wel eens onderhanden kunnen nemen. Ik veronderstel, dat daar ook wel weer heel bijzondere schakelingen te bestuderen vallen?

W. — En daar vergis je je nu eens lelijk in! We kunnen alleen zeggen, dat een F.M.-ontvanger het waard is een bijzonder goed verzorgde laagfrequentieversterker te krijgen ten einde de getrouw doorgegeven frequenties en amplituden te eerbiedigen. We hebben er dus alle belang bij hier een schakeling te hulp te roepen van zo groot mogelijke getrouwe weergave en ook een luidspreker (of nog liever een stel luidsprekers) te gebruiken, die ten volle die benaming van . . . *hi-fi*, werkelijkheidsweergave dus, waard is. Maar ik geloof, dat de topkwaliteit van jouw bevattingsvermogen op dit ogenblik sterk begrensd is . . .



*En zo zijn wij nu gekomen aan het einde van onze mooie reis door het schilderachtige land van de radio, die u hebt kunnen volbrengen met behulp van de gesprekken van onze vrienden. Als u ze met aandacht hebt gevolgd, heeft de radio geen geheimen meer voor u, tenminste in grote trekken. Maar voordat zij u verlaten, gaan Weetal en Vraagal met gebruikmaking van de verworven kennis het schema van een modern ontvangoestel schetsen en onderzoeken, waarna zij dan de samenstelling ervan gaan ondernemen.*

**En nu: aan het werk**

Vr. — Wel alle pentoden! Wat zie ik daar! Heb je een winkel van radio-onderdelen leeggehaald, waarde neef Weetal?!

W. — Dat scheelt niet veel, Vraagal. Wij zijn nu in het actieve stadium van onze technische samenwerking gekomen, die, naar ik hoop, zo vruchtbaar zal blijken, dat . .

Vr. — Hou op, hou op! Verpletter me asjeblijft niet onder die gezwollen stadhuisstijl . . . Zeg me liever, waarvoor dient die massa afgeschermdde spoelen, radiobuizen, weerstanden en condensatoren?

W. — Wel, om eindelijk eens te beginnen met het maken van het al zolang aan mijn tante beloofde toestel. Ik stel het werkelijk zeer op prijs, dat jij nu alles weet, wat er over de werking van ontvangoestellen te weten valt, om zonder vrees met de vervaardiging te kunnen beginnen.

Vr. — Ik gevoel me zeer gevleid door dat bewijs van vertrouwen, om ook eens de stijl te gebruiken waaraan jij vandaag de voorkeur schijnt te geven . . . Ik zou echter nog willen weten, hoe het schema er uitziet, dat jij me wilt opdringen.

W. — Ik wil je niets opdringen vriendje! Maak me je wensen maar kenbaar, dan zal ik trachten een schema samen te stellen, geheel en al naar jouw begeren.

Vr. — Prachtig! Welnu, het moet natuurlijk een superheterodyne zijn. En omdat ik wil, dat het een erg gevoelig toestel wordt, moet het om te beginnen een trap H.F.-vóórversterking hebben.

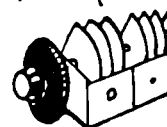
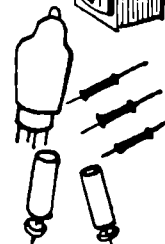
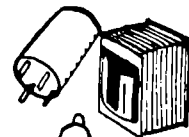
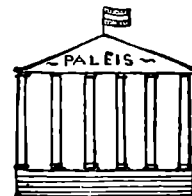
W. — Je wensen worden ingewilligd, Vraagal. Wij zullen het rooster van de pentode-voorversterker verbinden via een hoogfrequentie-transformator, bestaande uit de spoelen  $L_1$  en  $L_2$ , waarvan de secundaire is afgestemd door de draaibare condensator  $CV_1$ . De buis krijgt voorspanning over de weerstand  $R_1$  in de kathodekring, terwijl de potentiaal van het schermrooster wordt bepaald door de weerstand  $R_2$ . Diezelfde aanduidingen zullen we gebruiken voor alle andere weerstanden van de voorspanning en van de schermroosters.

Vr. — Je hebt vergeten de ontkoppelcondensatoren van aanduidingsletters te voorzien.

W. — Dat heb ik met opzet gedaan om de tekening niet al te ingewikkeld te maken. Je moet dan maar onthouden, dat al die naamloze condensatoren voor de ontkoppe-ling zorgen.

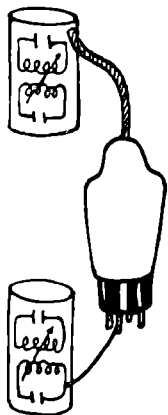
Vr. — Afgesproken! . . . En die condensator  $C_4$  speelt, denk ik, dezelfde rol als condensator  $C_7$  in figuur 77?

W. — Ik maak je wel mijn compliment over je buitengewone geheugen! Ja, die condensator dient er inderdaad voor om de kring  $L_2 - CV_1$  af te sluiten voor de hoge



frequentie. Het zou eigenlijk nodig zijn om het vaste gedeelte van de draibare condensator te aarden, daar hij aan het metalen raam van het toestel is verbonden. Maar de spoel  $L_1$  is al verbonden aan de leiding van de automatische sterkteregeling, die een veranderlijke spanning heeft. Zo is dan, dank zij  $C_4$ , de instandhouding van de afgestemde kring gelukkig hersteld. Tegelijkertijd zorgt die  $C_4$ , te zamen met  $R_7$  voor de overbrenging van de A.S.R.-spanning met de noodzakelijke tijdconstante.

Vr. — Nu zou ik wel graag een mengtrap zien, liefst uitgerust met een triode-hexode mengoscillator.



W. — Niets eenvoudiger dan dat. Via de H.F.-transformator, die bestaat uit  $L_3$  en  $L_4$ , waarvan de laatstgenoemde spoel wordt afgestemd door  $CV_2$ , brengen we de versterkte hoogfrequente trillingen over op het eerste rooster van de hexode. Let er ondertussen gelijk even op, dat de plaatkringen van al onze buizen ontkoppeld worden over de weerstanden  $R_3$ . Wat de hulposcillator, die het triodegedeelte van de gecombineerde buis gebruikt, betreft, die omvat de afstemkring  $L_5 - CV_3$  en de terugkoppelspoel  $L_6$ , en, zoals het behoort, wordt de spanning daarvan aangesloten op het derde rooster van de hexode.

Vr. — De rest van het schema kan ik nu vrij gemakkelijk verklaren.

De M.F.-spanningen worden doorgegeven aan de M.F.-versterkpentode door de eerste transformator  $Tr_1$ , met afgestemde primaire en secundaire.

Een tweede transformator,  $Tr_2$ , brengt de versterkte M.F.-spanningen over naar de detectie-diode, die weer een onderdeel is van een gecombineerde buis, waarin ook de triode zit voor de L.F.-vóórversterking . . .

W. — Vraagal, je praat als een radiohandboek en . . . je zegt heus geen stomme dingen!

Vr. — Plaag me nou niet, Weetal. Nu we eenmaal tot in de kleinste bijzonderheden de samenstellende onderdelen van de gehele schakeling samen hebben onderzocht, heb ik er immers helemaal geen moeite meer mee ze in hun geheel te begrijpen. Je diode-triode lijkt me volkomen klassiek te zijn. De gelijkgerichte spanningen verschijnen op de potentiometer  $P_1$  (of, om mee te helpen aan de verbreiding van zijn Nederlandse naam: op de *spanningsdeler*  $P_1$ ), waarvan het schuif- of afneemcontact er een kleiner of groter gedeelte van afneemt om dan door de koppelcondensator  $C_1$  aangelegd te worden aan het rooster van de triode; de gemiddelde potentiaal daarvan wordt bepaald door de lekweerstand  $R_4$ .

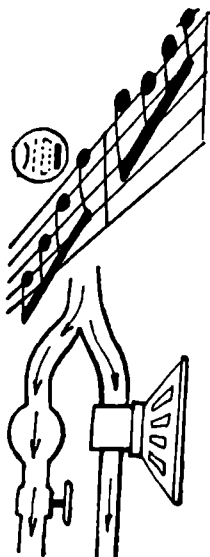
W. — En de automatische sterkteregeling?

Vr. — Die is ook heel gewoon. De gelijkgerichte spanning wordt, via  $R_7$ , die gecombineerd is met  $C_4$ , aangesloten op de stuurroosters van de H.F.- en M.F.- versterkbuizen om de versterking daarin te regelen.

W. — Werkelijk, je bent vandaag niet te vangen. Ga dus maar door tot het bittere eind.

Vr. — Nou, ik kan niets bijzonders opmerken over de klassieke koppelweerstand  $R_5$  en de condensator tussen de L.F.-voorversterker en de uitgangspentode. Wat de voeding aangaat: die levert geen enkele moeilijkheid op, daar de gelijkrichting van de hoogspanning wordt verzorgd door een indirect verhitte tweefasige gelijkrichter. Er is evenmin wat nieuws te zeggen over de filter, die uit twee elektrolytische condensatoren  $C_5$  en  $C_6$  en een smoerspoel met ijzeren kern bestaat.

W. — Wat die elektrolytische condensatoren betreft, wou ik wel even opmerken, dat het condensatoren zijn van het type, dat men gewoonlijk gebruikt voor de ontkoppeling van de kathoden der beide laagfrequentiebuizen.





Je hebt daar immers behoefte aan grote capaciteiten . . . Is nu dus alles in het schema duidelijk voor je?

Vr. — Ja, hoewel . . . ik merk daar nog tussen de plaat van de eindbuis en de aardleiding de ongebruikelijke aanwezigheid op van de condensator  $C_3$ , in serie gekoppeld met een regelbare weerstand  $P_2$ . Waar dienen die twee voor?

W. — Om van de luidspreker de hoge frequenties van de muziekstroom af te houden. Want, zie je, Vraagal, de bij de lage frequenties gebruikte pentoden hebben de slechte eigenschap, dat zij de hoogste frequenties meer versterken en zodoende dus de hoogste tonen van de muziek het meest bevoordelen. Om te voorkomen, dat het ten gehore gebrachte schel gaat klinken, verzwakt men de sterkte der hoge frequenties door ze gedeeltelijk af te voeren via  $C_3$  en  $P_2$ .

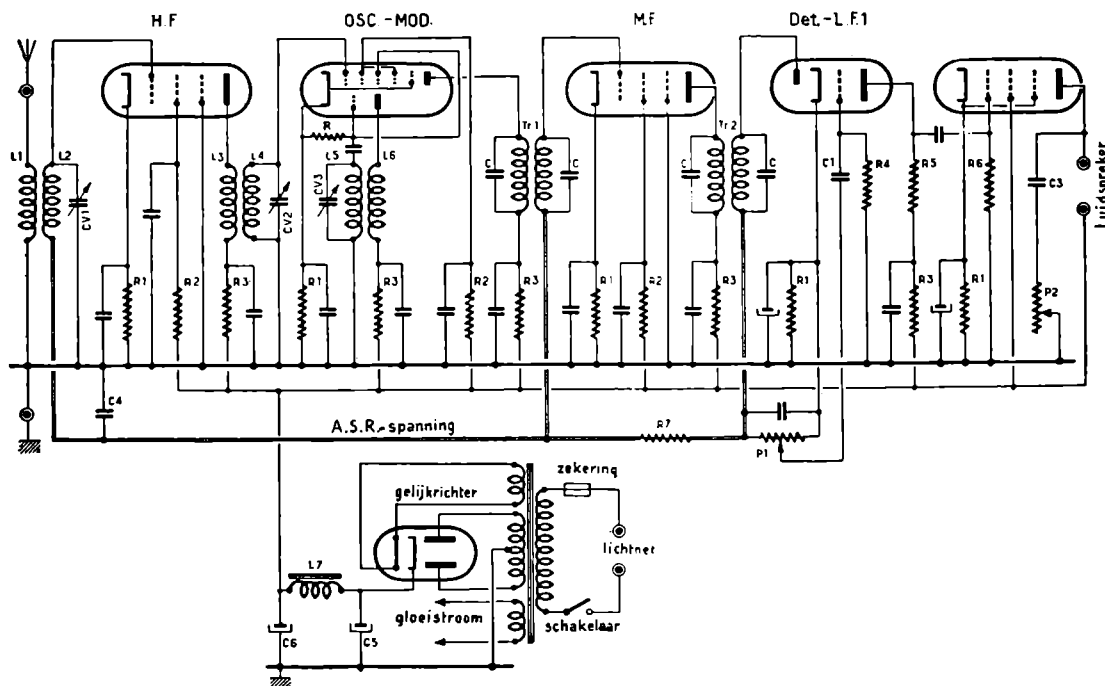
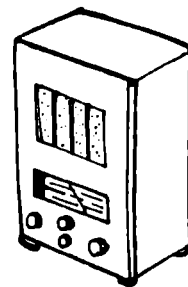


Fig. 131. En hier is nu na vele wijzigingen het definitieve schema voor het ontvangtoestel, dat Vraagal gaat maken.

Hoe hoger nu de frequentie der stromen is, des te gemakkelijker passeren zij een condensator, zoals je weet. Om de hoeveelheid van de zo door afleiding aan de luidspreker onttrokken stroom te regelen, maakt men de weg van het „lek" meer of minder gemakkelijk door de weerstand  $P_2$  naar verkiezing te regelen. Op die manier verkrijgen wij een *klankregelaar*, die het mogelijk maakt de sterkte der hoge tonen een beetje te verminderen.

Vr. — Behalve de afstemknop van de groep draaibare condensatoren zal ons toestel dus nog een knop hebben voor de regeling van de geluidsterkte ( $P_1$ ) en één voor de „klankkleur” ( $P_2$ ).

W. — Je vergeet de knop van de overschakeling op de verschillende golf lengteschalen . . . En nu, waarde vriend, is er niets anders meer te doen dan je te wapenen met een tang, een schroevendraaier en een soldeerbout en aan het werk te gaan.

### Laatste raadgevingen

Vr. — Geloof je nu werkelijk, dat ik voortaan je verdere raadgevingen zal kunnen missen?

W. — Zeker! In de loop van de tweeëntwintig avonden, die wij zo prettig met babelen hebben doorgebracht, heb ik je weliswaar niet alle kleine details van de theorie uitgelegd, maar je weet er nu genoeg van om met gemak ieder schema te begrijpen. De ingewikkeldste toestellen kunnen ontleed worden in een zeker aantal eenvoudige onderdelen, die je volkomen kent. Tijd en ondervinding zullen je met één oogopslag die elementen leren herkennen, welke je vertrouwd zijn. Bij het lezen van de schema's moet je de goede gewoonte aannemen om met een potlood in de hand de wegen van de stroom in de verschillende kringen te volgen, vooral in de kathode-anodekringen van de buizen. Vergeet niet, dat de elektronenstroom, als hij de kathode heeft verlaten, daar tenslotte moet terugkeren. Oefen je dan ook zo dikwijls mogelijk in het lezen van schema's. Alleen met kennis van zaken en bewust van de rol van elk afzonderlijk onderdeel kun je het praktische werk van het maken tot een goed einde brengen . . . Vergeet evenmin, dat de radiotechniek een jonge wetenschap is, nog in volle ontwikkeling en dat alleen het lezen van goede vakboeken en vaktijdschriften je op de hoogte kan houden van de vorderingen der techniek.

Je hebt me in de loop van onze gesprekken zoveel vragen gesteld, dat ik meen op mijn beurt ze alle te mogen samenvatten in één vraag: Ben je nog altijd van mening, dat de radio „zo verduiveld ingewikkeld” is?

Vr. — De radio? . . . Neen, zij is zeer eenvoudig! Dank zij jouw toelichtingen in woord en beeld van het hoe en waarom weet ik nu:

**Zo . . . werkt de radio!**







# **TOELICHTINGEN**



## TOELICHTING BIJ HET EERSTE GESPREK

### Potentiaal, geleiders en niet-geleiders (isolatoren)

In het eerste gesprek is Weetal er in geslaagd Vraagal een aantal onmisbare grondbegrippen van de elektriciteit bij te brengen, die wij hier zullen samenvatten.

De atomen van alle stoffen bestaan uit een bepaald aantal *elektronen* en *protonen*. De eerste vormen de elementaire negatieve elektrische lading, de protonen de elementaire positieve lading. De verhouding tussen die twee bepaalt het elektrische vermogen of de *potentiaal* van het atoom. Dit is neutraal, als het atoom evenveel protonen als elektronen bevat. Het is negatief, als het aantal elektronen groter is dan het aantal protonen en positief in het omgekeerde geval. Men dient te onthouden, dat het aantal protonen in een bepaald atoom steeds gelijk blijft; sommige elektronen kunnen echter van het ene atoom naar het andere trekken als zij ontsnappen aan de aantrekkingskracht, die er tussen protonen en elektronen bestaat. Zulke „vrije” elektronen komen echter alleen voor in bepaalde stoffen, die wij geleiders noemen. Stoffen, waarvan de atomen geen vrije elektronen bevatten, behoren tot de groep der *niet-geleiders* of *isolatoren*.

Naast de elektronen en protonen kan de atoomkern ook *neutronen* bevatten, die, hoewel zij de massa van de kern vergroten, geen enkele invloed uitoefenen op het elektrische vermogen daarvan.

### Elektrische stroom

Wanneer er tussen de atomen van een geleider verschil in elektrisch vermogen of *potentiaalverschil* bestaat, wordt het evenwicht hersteld door de overgang van het teveel aan elektronen aan het negatieve einde (of de *negatieve pool*) naar het positieve einde (de *positieve pool*) van de geleider, waar er te weinig zijn.

Dit zich verplaatsen van elektronen van de negatieve pool naar de positieve vormt de *elektrische stroom*.

De bewegingsrichting der elektronen is tegengesteld aan de overeengekomen richting van de elektrische stroom (van positief naar negatief), welke willekeurig is gekozen in een tijd, toen men nog niet bekend was met de elektronentheorie.

Wij dienen hierbij op te merken, dat de beweging van de elektronen door de gehele geleider minder eenvoudig geschiedt dan de uiteenzettingen van Weetal doen veronderstellen. Het is niet hetzelfde elektron, dat de geleider van het ene einde naar het andere doorloopt. Meestal doet het niets anders dan overstappen van het ene atoom naar het naburige, waaruit op zijn beurt een ander elektron overspringt op het volgende atoom enz. De eigen snelheid van het elektron is betrekkelijk gering, maar de algemene beweging plant zich voort met een constante snelheid van ongeveer 300 000 km per seconde, wat dan de snelheid is van de elektrische stroom.

Men zou de elektronen kunnen vergelijken met een rij auto's, die staan te wachten voor de neergelaten bomen van een overweg. Zodra de bomen omhooggaan, zetten

alle automobilisten hun motor aan. Er verloopt zeer weinig tijd tussen het moment, waarop de eerste motor aanslaat en de laatste: dat is dan de snelheid van de stroom. De snelheid van iedere auto afzonderlijk (= de snelheid der elektronen) is echter op dat ogenblik nog betrekkelijk gering.

Als er niets gebeurt om aan de einden van de geleider het potentiaalverschil (of de *spanning*) te onderhouden, houdt de stroom op, zodra het evenwicht is hersteld. Ten einde de stroom zonder onderbreking te doen doorgaan, moeten er voortdurend elektronen toegevoegd worden aan de atomen van de negatieve pool en onttrokken worden aan de atomen van de positieve pool. Daaruit bestaat nu de rol van de elektrische krachtbron, die de elektrische energie voortbrengt, bv. een elektrische batterij (waarin de chemische energie wordt omgezet in elektrische energie), een thermoelektrische batterij (waarbij warmte in elektriciteit wordt omgezet) of een dynamo, geplaatst in een elektrische centrale, welke laatste de mechanische energie van een motor transformeert in elektrische energie.

Men dient er op te letten, dat de elektronen in het *inwendige* van de stroombron van de positieve pool naar de negatieve gaan, daar zij aan de atomen van de eerstgenoemde moeten worden onttrokken om overwicht te krijgen op de atomen van de laatstgenoemde pool. Op die manier stromen de elektronen in een elektrische keten in dezelfde richting van het ene einde naar het andere.

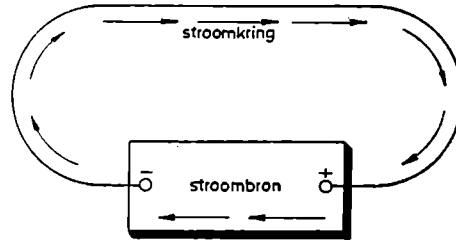


Fig. 1. De baan van de stroom binnenin de bron en die in de kring daarbuiten.

### Volt, ampère, ohm

Het potentiaalverschil of de *spanning*, die bestaat tussen twee punten van een geleider, wordt gemeten en uitgedrukt in *volts*.

Het aantal elektronen, dat de doorsnede van een geleider in één seconde passeert kan meer of minder groot zijn. Dat aantal bepaalt de sterkte van de stroom, gemeten in *ampères*.

Al naar gelang de lengte, de doorsnede en de aard van het materiaal zelf, biedt de geleider een zekere weerstand aan de passerende stroom. Deze weerstand meet men in *ohms*.

Hoe langer de geleider, hoe groter de weerstand. Daarentegen: hoe groter de doorsnede, hoe kleiner de weerstand.

### De Wet van Ohm

Als wij de spanning, die er bestaat tussen de beide einden van een bepaalde geleider, verhogen, vergroten wij in dezelfde mate het aantal elektronen, dat dan in beweging komt, d.w.z. de sterkte van de stroom. Op die manier constateren wij, dat de *stroomsterkte recht evenredig is met de spanning*.

Door dezelfde spanning te geven aan geleiders met verschillende weerstanden, bemerkt men, dat de geleiders met grotere weerstand een zwakkere stroom doorlaten. Daarom zegt men, dat de *stroomsterkte omgekeerd evenredig is met de weerstand*.



De beide hierboven vastgestelde feiten zijn samengevat in de *Wet van Ohm*: *De stroomsterkte is recht evenredig met de spanning en omgekeerd evenredig met de weerstand.*

Dus, als men de spanning (in volts) weet, die gegeven is aan de einden van een geleider met bekende weerstand (uitgedrukt in ohms) en de eerste waarde deelt door de tweede, krijgt men de sterkte van de stroom (in ampères), die die geleider doorloopt. Bij een spanning van 10 volt en een geleider van 5 ohm weerstand, heeft men dus een stroom van 2 ampères. Vanzelfsprekend doet een spanning van 1 volt, aangesloten op een weerstand van 1 ohm een stroom van 1 ampère ontstaan.

De Wet van Ohm is a.h.w. de grondwet, waaraan alle gebieden van de elektriciteit en de radio zijn onderworpen. Het is dan ook uiterst noodzakelijk de diverse vormen ervan, welke hierna worden behandeld, goed te onthouden.

### De drie schrijfwijzen van de wet van Ohm

Daar in de formule van de Wet van Ohm:

$$I = \frac{U}{R}$$

de spanning  $U$  de teller, de weerstand  $R$  de noemer en de stroomsterkte  $I$  het quotiënt van beide is, kunnen wij, daar de teller gelijk is aan het produkt van quotiënt en noemer, dezelfde wet ook in een nieuwe formule uitdrukken:

$$U = I \times R.$$

Dit wil dus zeggen, dat *de spanning gelijk is aan het produkt van stroomsterkte en weerstand.*

Dus, als wij de sterkte van de stroom kennen, die een geleider met gegeven weerstand doorloopt, kunnen wij, door die beide waarden te vermenigvuldigen, de spanning bepalen, die deze stroom veroorzaakt.

Uitgaande van deze tweede schrijfwijze kunnen wij, daar het produkt ( $U$ ), gedeeld door een der factoren ( $I$ ) gelijk is aan de andere factor ( $R$ ) ook schrijven:

$$R = \frac{U}{I}$$

wat ons dan de derde schrijfwijze voor de Wet van Ohm oplevert. Wij zien, dat *de weerstand gelijk is aan de spanning, gedeeld door de stroomsterkte.* Als wij de waarde kennen van de spanning aan de einden van een geleider en de stroom die zij opwekt, krijgen wij, als we de eerstgenoemde waarde delen door de tweede, de waarde van de weerstand van die geleider. Op deze wet zijn de zg. „ohmmeters” gebaseerd, dat zijn instrumenten, die dienen om de weerstand van een geleider te meten. Zij bevatten een element, waarvan de spanning bekend is, en een ampèremeter (een toestel, dat de stroomsterkte meet). Als de spanning van het element wordt aangesloten op de te meten weerstand, wijst de ampèremeter de sterkte van de veroorzaakte stroom aan. Men kan dan dus volstaan met de spanning van het element te delen door de stroomsterkte, die de ampèremeter aangeeft, om de waarde van de gemeten weerstand te bepalen.

### Wisselstroom

In het eerste gesprek is Weetal erin geslaagd, de fundamentele eigenschappen te verklaren van de *gelijkstroom*, d.w.z. van een stroom, opgewekt door een spanning met een constante waarde en richting. In het tweede gesprek heeft hij zich vol ijver geworpen op de bestudering van de *wisselstroom*. Deze wordt opgewekt door een wisselende spanning, dat is een spanning, die zodanig varieert, dat het ene einde van een geleider ten opzichte van het andere afwisselend positief en negatief is; de spanning doorloopt daarbij alle tussenliggende potentiaalverschillen (o.a. het nulpunt). Het resultaat is een stroom, die voortdurend van richting verandert: gaande in de ene richting neemt hij toe, bereikt zijn maximum (*amplitude* genaamd), neemt af, verdwijnt een ogenblik, neemt daarna weer toe, maar . . . in tegengestelde richting, bereikt daar weer zijn hoogste waarde, neemt vervolgens weer af om het nulpunt opnieuw te doorlopen om daarna in dezelfde volgorde dezelfde veranderingen weer te ondergaan.

De tijd, die nodig is om één reeks van dergelijke veranderingen te doorlopen tot het moment, waarop dezelfde veranderingen zich weer gaan herhalen, noemt men een *periode* van de wisselstroom. Het aantal perioden van de stroom per seconde noemt men *de frequentie* van de stroom. Men kan nu gemakkelijk vaststellen dat, *hoe korter de periode* is (hoe meer er dus per seconde zijn), *hoe hoger de frequentie*. In het merendeel van de elektriciteitsnetten in ons land wordt tegenwoordig wisselstroom toegepast. Hij wordt opgewekt door machines, die men *wisselstroomdynamo's* of *wisselstroomgeneratoren* noemt. De gebruikelijke frequentie in Europa is 50 perioden per seconde, in Amerika 60 perioden per seconde.

### Elektro-magnetische golven

Deze „industriefrequenties” zijn voor een radiotechnicus uiterst laag. Want in de radio-techniek maakt men, om golven geschikt voor radio-uitzendingen te verkrijgen, gebruik van wisselstromen van een *hoge frequentie*, van minstens 10 000 per sec, anders gezegd van stromen met een periode, gelijk aan of korter dan 0,0001 sec. Iedere periode van een dergelijke stroom, die een verticale draad doorloopt (de *zendantenne*), veroorzaakt een elektro-magnetische golf, die zich in de ruimte voortplant als een steeds wijder wordende ring rondom de antenne. Dat wijder worden geschiedt met een zeer grote snelheid, waardoor de golf zich 300 000 000 meter per seconde van de zendantenne verwijdert, dat is dus met de snelheid van het licht. Dit feit behoeft ons niet te verbazen, want de radiogolven en de lichtgolven zijn van gelijke aard: in beide gevallen betreft het elektro-magnetische golven. Alleen de frequenties verschillen, daar die van de lichtgolven veel hoger zijn.

De afstand tussen twee na elkaar uitgezonden golven heet *golflengte*. Hoe korter de periode (of hoe hoger de frequentie) des te kleiner de afstand; de golven volgen elkaar dan met kortere tussenpozen op. Men onderscheidt in de radio verschillende „golfbanden”:

De *lange golven*: boven 600 meter.

De *middengolven*: tussen 200 en 600 meter.

De  *korte golven*: van 10 tot 200 meter.

De *ultra-korte golven*: van 1 tot 10 meter.  
De *decimetergolven*: van 10 cm tot 1 meter.  
De *centimetergolven*: van 1 tot 10 cm.  
Deze laatste benaderen de infrarode stralen.

Nu moeten wij verder nog onthouden, dat men in plaats van „periode” vaak *cycle* gebruikt en dat de uitdrukking „periode per seconde” wordt vervangen door *hertz*. (Afgeleid van de naam van de natuurkundige die proefondervindelijk het bestaan van de elektro-magnetische golven heeft aangetoond. Deze golven worden soms ook „hertzgolven” genoemd.) Daar men in de radio veelal te doen heeft met zeer hoge frequenties, bedient men zich van veelvoud van deze eenheid:  
*kilohertz* = 1000 hertz (= 1000 perioden per seconde);  
*megahertz* = 1 000 000 hertz (= 1 000 000 perioden per seconde).  
Men kan ook zeggen *kilocycles* of *megacycles per seconde*.

### Het magnetische veld

Het opwekken van elektro-magnetische golven door een elektrische stroom is een der vele blijken van de nauwe verwantschap — om het nog niet sterker te zeggen — die er bestaat tussen de elektrische en de magnetische verschijnselen. Iedere elektronenverplaatsing heeft ook in de omgeving bepaalde invloeden. De ruimte, waarin deze invloeden zijn waar te nemen, noemt men het magnetische veld. De magnetische naald van een kompas toont de aanwezigheid van een magnetisch veld aan, dat ontstaan is rondom een geleider, waardoorheen een stroom gaat, door loodrecht op de richting van de geleider te gaan staan. Als men de stroomrichting omkeert, beschrijft de naald een halve cirkel, hetgeen aantoont, dat de richting van het magnetische veld wordt bepaald door de richting van de elektrische stroom.

Het magnetische veld van een geleider kan versterkt worden door die geleider (een metalen draad) op te rollen in de vorm van een spoel (zoals garen op een klos). De magnetische velden van alle windingen worden dan bij elkaar geteld, en het magnetische veld van de spoel gedraagt zich op dezelfde wijze als het magnetische veld van een staafmagneet.

De werking van een dergelijke magneet zal nog versterkt worden door binnen in de spoel een ijzeren staaf te plaatsen. Het ijzer biedt de magnetische velden een grotere *permeabiliteit* (= doorlatingsvermogen) dan de lucht. Bovendien wordt het magnetische veld dichter in de aldus gevormde *magnetische kern*. Zo verkrijgen we een *elektromagneet*. Als de kern van week ijzer is, verliest zij haar magnetische kracht, zodra de stroom verbroken wordt (of bewaart er slechts een klein gedeelte van). Is de kern van staal, dan blijft zij magnetisch. Op deze wijze vervaardigt men tegenwoordig de gewone magneten.

### Inductie

Zoals veranderingen van de elektrische stroom overeenkomstige veranderingen veroorzaken in het opgewekte magnetische veld, veroorzaken omgekeerd de variaties van een magnetisch veld veranderingen in de stroom der geleiders. Op die manier kunnen wij, door een magneet naar een spoel toe of er van af te bewegen een stroom in die spoel doen ontstaan, die niet langer duurt dan de beweging van die magneet, d.w.z. dan de verandering van het veld. Men dient wel goed te onthouden, dat het

de *verandering* in een magnetisch veld en niet de simpele aanwezigheid daarvan is, die de stroom in de geleider opwekt.

In plaats van een magneet kan men een elektromagneet, gevormd door een spoel, waardoorheen een gelijkstroom loopt, gebruiken; het resultaat blijft hetzelfde. Men kan die spoel nog blijvend aanbrengen in de nabijheid van de andere en er een veranderlijke stroom doorvoeren; deze veroorzaakt dan een veranderlijk magnetisch veld, dat, op zijn beurt, in de tweede spoel een veranderlijke stroom doet ontstaan. Dus: een wisselstroom, die door de eerste spoel loopt, doet eveneens in de tweede spoel een wisselstroom ontstaan. Wij staan dan tegenover het *inductieverschijnsel*. Zonder dat geleidende verbinding noodzakelijk is, bestaat er nu een *magnetische koppeling* tussen de twee spoelen, die te zamen een *elektrische transformator* vormen. Later zullen wij een nadere verklaring van deze naam geven.

## TOELICHTING BIJ HET DERDE GESPREK

### De wet van Lentz

Bij het voortzetten van de bestudering der magnetische inductie hebben onze jonge vrienden, zonder haar te noemen, de *Wet van Lentz* opnieuw ontdekt. Zij hebben inderdaad vastgesteld, dat de geïnduceerde spanning zich voortdurend schijnt te verzetten tegen de veranderingen van de inducerende stroom. Als deze laatste toeneemt, gaat de geïnduceerde stroom in tegengestelde richting. Neemt de inducerende stroom af, dan gaat de geïnduceerde stroom in dezelfde richting. De inductieverschijnselen gehoorzamen, zoals wij zien, aan een zeer algemene natuurwet: de wet van actie en reactie.

De grootte van de inductiestroom is afhankelijk van de snelheid der veranderingen in de inducerende stroom en van de sterkte van die stroom.

### Zelfinductie

Als de in een spoel rondgaande stroom een stroom induceert in andere spoelen, die zich in de nabijheid bevinden, dan is er een reden te meer om aan te nemen, dat er eveneens in de eigen windingen van de eerstgenoemde spoel een stroom wordt geïnduceerd. Dit *zelfinductieverschijnsel* is aan dezelfde wetten onderworpen als die, welke de inductie regeren. Dus, als de sterkte van een in een spoel circulerende stroom toeneemt, ontstaat er een zelfinductiestroom in tegengestelde richting. Het resultaat hiervan zal zijn, dat de oorspronkelijke stroom in langzamer tempo zal toenemen dan deze zou doen, indien geen zelfinductie-invloeden aanwezig waren. Om deze reden kan een stroom, die ontstaat, als men op een spoel een gelijkspanning aansluit, niet onmiddellijk zijn normale sterkte bereiken. Daarvoor is een zekere tijd nodig, die des te langer is, naarmate de zelfinductie van de spoel groter is. Eveneens zal, als wij de spanning aan de einden van de spoel trapsgewijze verhogen, de stroomsterkte deze toeneming met enige vertraging volgen, daar ten gevolge van de zelfinductie het toenemen van de stroom tegengewerkt wordt, dus als het ware remmend werkt. Als wij daarentegen de op de spoel aangesloten spanning verlagen, zal de vermindering van de stroomsterkte ook achteraan komen, daar de zelf-

inductiestroom dan in dezelfde richting loopt als de inducerende stroom en deze in zeker opzicht langer doet duren. In het uiterste geval zal, als men een plotselinge onderbreking van de aangelegde spanning veroorzaakt (bv. door het omdraaien van een schakelaar), de zeer snelle verandering van de inducerende stroom een geïnduceerde spanning opwekken, die zeer hoog kan zijn en aanleiding kan geven tot een vonk, die overspringt tussen de beide contacten van de schakelaar.

### Inductantie

Als een wisselspanning wordt aangesloten op een zelfinductiespoel, onderhoudt de daardoor ontstane wisselstroom een afwisselend magnetisch veld, dat op zijn beurt een zelfinductiestroom doet ontstaan, die zich voortdurend verzet tegen de veranderingen in de inducerende stroom en deze om die reden belet, de maximumsterkte te bereiken, die hij behaald zou hebben bij afwezigheid van de zelfinductie. We moeten hierbij bedenken, dat de toeneming van de inducerende stroom een geïnduceerde stroom in *tegengestelde* richting opwekt, zodat de sterkte ervan moet worden afgetrokken. Het lijkt hierdoor dus, alsof aan de normale weerstand van de geleider nog een andere weerstand ten gevolge van de zelfinductie toegevoegd moet worden. Deze weerstand van de zelfinductie of *inductantie* is des te groter naarmate de stroomfrequentie hoger en de eigen zelfinductie groter is (omdat de snellere variaties van de inducerende stroom grotere zelfinductiestromen veroorzaken). De zelfinductie van een spoel is uitsluitend afhankelijk van de afmetingen van de spoel: aantal en diameter van de windingen en hun onderlinge afstand. Zij neemt snel toe met de toeneming van het aantal windingen. Het inbrengen van een ijzeren kern, waardoor het magnetische veld verdicht wordt, verhoogt de zelfinductie in belangrijke mate. De zelfinductie van een spoel wordt uitgedrukt in *henry's* (H) of in onderdelen van deze eenheid: *millihenry* (mH), het duizendste deel van 1 henry, de *microhenry* ( $\mu$ H), het miljoenste deel van een henry. Als  $L$  de zelfinductie van een spoel voorstelt, uitgedrukt in henry's, zal een stroom met frequentie  $f$  er een inductieve weerstand ondervinden van  $6,28 \times L \times f$  ohm. (Merk op, dat hier bij benadering 6,28 is genomen voor de waarde van  $2\pi$ .)

### De condensator

Nadat zij zo de voornaamste inductie- en zelfinductieverschijnselen de revue hebben laten passeren, hebben Weetal en Vraagal zich vervolgens blindelings geworpen op de bestudering van de *condensatoren*, die de . . . *capaciteit* hebben elektrische ladingen op te zamelen. De condensator bestaat uit twee geleiders (de *bekledingen* of de *platen*), van elkaar gescheiden door een isolerende stof, of in technische taal: door het *diëlectricum*. Als men de beide platen verbindt met een elektrische krachtbron, zullen de elektronen zich ophopen op die plaat, welke verbonden is met de negatieve klem, terwijl ze de andere (verbonden met de positieve klem) zullen verlaten. Deze *lading* wordt versterkt door het verschijnsel van afstoting tussen de elektronen van de twee dicht bij elkaar geplaatste platen. Als dezelfde platen zich verder van elkaar verwijderd zouden bevinden, zouden ze niet dezelfde elektrische ladingen kunnen bevatten.

Op het ogenblik, dat de krachtbron met de condensator wordt verbonden, ontstaat een *laadstroom*, eerst sterk, daarna steeds zwakker, naarmate de platen op de potentiaal van de klemmen van de krachtbron worden gebracht. De stroom houdt op te bestaan, als deze potentialen zijn bereikt. De totale duur is zeer kort.

## Capaciteit

Al naar gelang de hoeveelheid elektriciteit, die een condensator kan bevatten, groter of kleiner is bij een bepaalde spanning, zegt men, dat de capaciteit groter of kleiner is. De capaciteit wordt gemeten in *farads* (F) of in onderdelen van die eenheid: *microfarad* ( $\mu\text{F}$ ), 0,000 001 F, *milli-microfarad* of *nanofarad* ( $\text{m}\mu\text{F}$  of nF) gelijk aan 0,000 000 001 F en zelfs de *micro-microfarad* of *picofarad* (pF) gelijk aan 0,000 000 000 001 F . . . .

De capaciteit is klaarblijkelijk afhankelijk van de oppervlakte van de desbetreffende platen en neemt in verhouding met deze toe. Zij is des te hoger naarmate de platen dichter bij elkaar komen, zonder dat het echter mogelijk is in dit opzicht te ver te gaan, daar men bij een te geringe dikte van het diëlectricum de risico loopt, dat er een vonk overspringt, ten gevolge van een te hoge spanning („de condensator slaat door” zegt de technicus). Tenslotte is de capaciteit ook nog afhankelijk van de aard van het diëlectricum. De beste en tevens goedkoopste middenstof is droge lucht. Als men deze vervangt door welk ander diëlectricum ook, neemt de capaciteit van de condensator toe.

Merk daarentegen op, dat de capaciteit van een condensator onafhankelijk is van de aard en de dikte der platen.

## TOELICHTING BIJ HET VIERDE GESPREK

### De wisselstroom „gaat door een condensator heen”

In het vorige gesprek hebben we onze condensator geladen achtergelaten. Door hem van de elektriciteitsbron af te koppelen en de platen te verbinden met een weerstand, veroorzaken wij de *ontlading*. De overtollige elektronen op de negatieve plaat komen, door de weerstand heen, het tekort aanvullen van de positieve plaat. De ontlaadstroom, aanvankelijk sterk, wordt zwakker naarmate het potentiaalverschil tussen de platen afneemt, en houdt helemaal op, als de beide platen dezelfde potentiaal hebben.

Men kan een ononderbroken reeks ladingen en ontladingen van een condensator veroorzaken, door hem te verbinden met een wisselstroombron. De platen worden dan geladen, ontladen en weer geladen in het ritme van de frequentie der wisselspanning en zo ontstaat in de kring (dat is het geheel van onderdelen door een stroom doorlopen) een volledige wisselstroom. Dit maakt het mogelijk te zeggen, dat de condensator *stroomvoerend* is voor de wisselstroom, zonder dat echter de elektronen daarvoor dóór het diëlectricum gaan van de ene plaat naar de andere.

### Capacitantie

Het spreekt vanzelf dat het veroorzaken van een wisselstroom in een stroomkring, waarin een condensator is opgenomen, niet met hetzelfde gemak geschiedt als in een goede geleider; de condensator biedt de stroom een zekere „capacitieve” weerstand die men *capacitieve reactantie* of *capacitantie* noemt. Deze is zwakker, naarmate de capaciteit groter en de stroomfrequentie hoger is, want hoe meer

veranderingen er per seconde zijn, des te groter is het aantal elektronen, dat in één seconde een deel van de geleiders van de kring doorloopt.

Als  $C$  de capaciteit (in farads) voorstelt van een condensator, waardoorheen een stroom met frequentie  $f$  gaat, dan is de capacitantie:

$$\frac{1}{6,28 C f} \text{ ohm.}$$

Bij vergelijking zal men zien, dat de capacitantie en inductantie juist tegengestelde eigenschappen bezitten; terwijl de inductantie aangroeit met de zelfinductie en de frequentie, neemt daarentegen de capacitantie af, als de capaciteit of de frequentie toeneemt.

### Faseverschuiving

De tegenstelling tussen zelfinductie en capaciteit manifesteert zich ook nog op een andere wijze en wel op een zeer merkwaardige. Wij herinneren ons, dat ten gevolge van de zelfinductie de stroomsterkte de veranderingen in de wisselspanning met een zekere *vertraging* volgt. (Zie nogmaals fig. 9.) Deze verschuiving tussen stroom en spanning draagt de naam *faseverschuiving*. Men zegt dan, dat „de stroom bij de spanning ten achter is”.

Bij de bestudering van de wisselstroom in een keten, die een condensator bevat (fig. 12), zal men opmerken, dat de elektronenbeweging ophoudt (dus de stroom nul wordt) op het moment, waarop de spanning maximaal is; daarna stijgt — bij afnemng van de spanning — de stroomsterkte, die op haar hoogtepunt is, als de spanning door het nulpunt gaat om van richting te veranderen. Vervolgens neemt de stroomsterkte weer af, naarmate de condensator weer geladen wordt (d.w.z. als de spanning in de andere richting stijgt), om tot nul te dalen op het ogenblik, waarop de spanning weer maximaal is. Deze opeenvolging der verschijnselen wordt bijzonder duidelijk, als men zich bij nadere beschouwing van fig. 12 herinnert, dat de maximum-spanningen te vergelijken zijn met de uiterste standen van een pompzuiger (of met de uiterste kromming van het membraan), terwijl het nulpunt van de spanning overeenkomt met de gemiddelde stand van de zuiger. (Het membraan is dan plat.) Wij zien, dat hier de stroomveranderingen *voorlopen* bij de spanningsveranderingen, want als de spanning nog nul is, is de stroom al maximaal. Wij hebben hier, evenals bij de zelfinductie, met een faseverschuiving te doen, maar in tegengestelde richting.

Als de keten alleen een zuivere zelfinductie of een zuivere capaciteit bevat, bedraagt de faseverschuiving hoogstens een kwart periode. Dit geval wordt grafisch voorgesteld in de figuren 16 en 17, die in verband met het volgende ten zeerste de aandacht van de lezer verdienen.

In werkelijkheid komt de zelfinductie of de capaciteit niet in „zuivere” toestand voor. Het is vanzelfsprekend, dat de stroomketen eveneens een zekere gewone weerstand bevat. De faseverschuiving bereikt dan ook nooit de maximale waarde van  $\frac{1}{4}$  periode.

### Samenvoeging van impedanties

Een nauwkeurig onderzoek brengt in iedere stroomkring de aanwezigheid van drie impedanties aan het licht, nl. de inductantie, capacitantie en de gewone weerstand, ook wel *resistantie* genoemd. Laten we niet vergeten, dat zelfs een rechtlijnige

geleider nog een zekere zelfinductie bezit en dat tussen de verschillende punten ervan een zekere capacatieve werking geconstateerd kan worden. In de praktijk houdt men echter alleen rekening met de doorslaggevende waarden; zo zal men in een wikkeling, die aan een stroom met gegeven frequentie een inductantie biedt van 10 000 ohm graag die gewone weerstand van 10 ohm verwaarlozen. Als echter aan de wikkeling een gelijkspanning wordt aangelegd, zijn juist die 10 ohm de enige, die in aanmerking komen, daar de zelfinductie alleen bij wisselspanningen optreedt.)

De impedanties kunnen in een stroomketen op verschillende, min of meer samengestelde manieren geschakeld worden. Men zegt, dat ze „in serie” geschakeld zijn, als de stroom ze na elkaar doorloopt, terwijl ze „parallel” zijn geschakeld (of „in shunt”), als de stroom er in vertakkingen doorheen gaat. Als de impedanties in serie geplaatst zijn, wordt de uitwerking van die op elkaar volgende hindernissen bijeengevoegd. Dus: *De totale weerstand van een aantal in serie geschakelde weerstanden is gelijk aan de som dier weerstanden.* Inductanties en capacitanties in serie worden eveneens bij elkaar gevoegd, maar niet op de eenvoudige manier, zoals Vraagal dat veronderstelt. Als men denkt aan de tegengestelde uitwerking, die zelfinductie en capaciteit op de stroom hebben, kan men zich gemakkelijk voorstellen, dat zij elkaar tot op zekere hoogte tegenwerken. Daarom zal de impedantie van een kring, gevormd door een zelfinductie en een capaciteit in serie, kleiner zijn dan de inductantie en capacitantie afzonderlijk beschouwd. De eenvoudige, zuivere optelling van de impedanties is alleen geldig, als de kring uitsluitend uit gewone weerstanden (resistanties) in serie geschakeld bestaat, of alleen uit capacitanties dan wel uit inductanties. In dit laatste geval is het dan echter nog noodzakelijk, dat er geen onderlinge inductiewerking tussen de verschillende wikkelingen (spoelen) bestaat.

### Impedanties in serie

Daar de inductanties in serie bij elkaar worden opgeteld, moet daaruit geconcludeerd worden, dat de zelfinducties (waarmee ze, laten we dat niet vergeten, evenredig zijn) eveneens opgeteld moeten worden. Of anders gezegd: *Enige spoelen in serie geplaatst, zijn door hun elektrische werking gelijk aan één enkele spoel, waarvan de zelfinductie gelijk is aan de som der afzonderlijke zelfinducties.* Zou het met de condensatoren net zo zijn? Het is duidelijk, dat dit niet het geval is, want de capacitanties zijn omgekeerd evenredig met de capaciteiten. En daar de capacitanties van enige condensatoren in serie worden opgeteld, moet het omgekeerde van hun capaciteiten bijeen gevoegd worden om het omgekeerde van de gelijkwaardige totale capaciteit te krijgen. Als wij de capaciteiten van enige in serie geplaatste condensatoren  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  enz., noemen, kan de capaciteit  $C$  van de enige daarvoor in de plaats te stellen condensator bepaald worden door de formule:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \dots \text{enz.}$$

In het speciale geval, dat het om slechts twee condensatoren  $C_1$  en  $C_2$  gaat, is:

$$C = \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2}.$$

Merk op, dat de vervangende capaciteit steeds kleiner is dan de kleinste der samen-



stellende capaciteiten. Dat was overigens te voorzien, daar dit de voorwaarde is voor de toeneming van de capacitantie, ontstaan door het in serie schakelen van de verschillende condensatoren.

### Parallel geschakelde impedanties

Nu moeten we nog de gedragingen bestuderen van de *parallel geschakelde* impedanties. Op deze wijze geschakeld bieden zij de stroom verschillende wegen in plaats van één enkele en zij maken de doortocht voor de stroom gemakkelijker. In tegenstelling met wat er bij serieschakeling gebeurt, worden nu niet meer hun weerstanden, maar hun geleidingsvermogens opgeteld. Het geleidingsvermogen (of de *geleidendheid*), is, hetgeen gemakkelijk is in te zien, het omgekeerde van de weerstand, d.w.z.  $\frac{1}{R}$ .

Als dus verschillende gewone weerstanden  $R_1, R_2, R_3$  enz. parallel geschakeld worden, zal de gelijkwaardige weerstand  $R$  van dat geheel gemakkelijk bepaald kunnen worden door de som van de afzonderlijke geleidingsvermogens, waaraan zijn eigen geleidingsvermogen gelijk moet zijn:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \dots \text{enz.}$$

In het bijzondere geval van twee weerstanden  $R_1$  en  $R_2$  is de gelijkwaardige weerstand:

$$R = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}.$$

Als wij nu twee gelijkwaardige weerstanden parallel schakelen is de totale weerstand gelijk aan de helft van elke afzonderlijke weerstand:

$$(R_1 + R_2) \quad \text{dus} \quad R = \frac{R_1 \times R_1}{2 R_1} = \frac{1}{2} R_1.$$

Een gelijksoortige redenering stelt ons in de gelegenheid dezelfde resultaten te bereiken voor de inductanties en voor de zelfinductie van parallel geschakelde (maar niet inductief gekoppelde) spoelen. Voorts zullen we zien, dat, in het geval van parallel geschakelde condensatoren, het omgekeerde van de totale capacitantie gelijk is aan de som der omgekeerden van de samenstellende capacitanties. Wat de capaciteiten zelf betreft, zou het zeer onverstandig zijn, ze dezelfde wiskundige behandeling te laten ondergaan. Reeds in het geval van de serieschakeling hebben wij gezien, dat de capaciteiten zich onderscheiden door hun bijzonder karakter. De reden van hun bijzonder gedrag berust op het feit, dat de capacitantie omgekeerd evenredig is met de capaciteit.

Zonder moeite kunnen wij dan ook concluderen, dat, als de omgekeerden van de capacitanties opgeteld moeten worden, de waarden van de capaciteiten zelf bijeengevoegd dienen te worden om de gelijkwaardige totale capaciteit te berekenen van verschillende parallel geschakelde condensatoren. Waarschijnlijk zullen al die begrippen als weerstand, zelfinductie, capaciteit aan de ene kant en hun respectievelijke impedanties aan de andere kant enige verwarring scheppen in het brein van de lezer, en dat is wel te verontschuldigen. Maar Weetal zorgt er voor orde te scheppen vanaf het begin van het volgende gesprek. Het begrijpen daarvan is overigens door dit vierde gesprek al grotendeels voorbereid.

### Elektrische resonantie

Vooruitlopende op de uiteenzettingen van Weetal hebben wij in onze toelichtingen het begrip „faseverschuiving” verklaard en wij hebben aangetoond, dat de stroom bij het passeren van een zelfinductie achterblijft bij de spanning, terwijl hij vooruit is bij het passeren van een capaciteit. Voorts hebben wij, steunend op het feit, dat zelfinductie en capaciteit tegengestelde eigenschappen bezitten, gezegd, dat de inductantie en capacitantie elkaar bij serieschakeling min of meer tegenwerken. Wij zullen nu eens van naderbij de impedantie van een dergelijk geheel (fig. 18) onderzoeken, waarbij aan de klemmen van een wisselspanningsbron een spoel en een condensator in serie zijn geschakeld. Laten wij er bovendien nog bijvoegen, dat wij naar keuze de frequentie van de wisselspanning kunnen wijzigen.

Als bij een gegeven frequentie de inductantie kleiner is dan de capacitantie, heeft het effect van de capaciteit de overhand: de stroom zal vooruit zijn bij de spanning en de impedantie van de schakeling zal gelijk zijn aan de capacitantie minus de inductantie (bij verwaarlozing van de gewone weerstand). Wij verhogen nu geleidelijk de frequentie. Wat zal er dan gebeuren? De frequentieverhoging zal de waarde van de inductantie vergroten en die van de capacitantie verkleinen.

Er zal dus een ogenblik komen, waarop voor een bepaalde frequentie de inductantie gelijk is aan de capacitantie. Deze twee gelijke waarden, die elkaar tegenwerken, maken, dat de impedantie van de gehele schakeling nul wordt.

Ook de faseverschuiving zal nul zijn, d.w.z. de stroom zal in fase zijn met de spanning. Daar nu de impedantie van de keten nul is, wordt de stroomsterkte, in theorie tenminste, oneindig groot. In werkelijkheid bezit de stroomketen een zekere gewone weerstand, zodat de impedantie niet geheel nul kan worden en de stroom om die reden een meetbare waarde behoudt.

Als wij voortgaan met de frequentieverhoging, zal de inductantie groter worden dan de capacitantie, de stroom zal bij de spanning ten achter zijn en de impedantie zal opnieuw aangroeien. Wij zien, dat er één enkele frequentie is, waarvoor de impedantie nul, althans zo kleine mogelijk, en de stroom maximaal wordt. Dat is de *resonantie-frequentie*. Men zegt ook wel, dat bij die frequentie de stroom *in resonantie* is met de keten.

### Oscillerende (= trillende) ontlading

Men kan hetzelfde resonantieverschijnsel waarnemen, als men een spoel verbindt met de platen van een geladen condensator (fig. 19). Terwijl de condensator, indien de platen door middel van een weerstand verbonden waren, zich via die weerstand in korte tijd zou ontladen, dus bij ontladen condensator de stroom zou ophouden te bestaan, zien wij hier een „oscillerende ontlading”.

Men herinnert zich, dat een zelfinductie zich verzet tegen de vermindering van de stroom, door hem als het ware te verlengen met een zelfinductiestroom, die in dezelfde richting loopt. Die stroom laadt de condensator in tegengestelde zin weer op. De condensator kan zich daarna opnieuw ontladen (de stroom gaat nu in de tegengestelde richting), daarna weer laden door de invloed van de zelfinductie enz. Een wisselstroom doorloopt onze kring zonder enige toevoeging van energie van buitenaf en

er zou geen enkele reden zijn om die stroom te laten ophouden . . . als onze kring geen gewone weerstand had, waardoor de energie, die de geladen condensator aanvankelijk bezat, wordt verbruikt.

Door dit energieverlies is iedere volgende trilling zwakker dan de voorafgaande en tenslotte houdt het trillen op, als alle energie verbruikt is. Zo ontstaan de *gedempte trillingen* (fig. 21, A), vroeger in de radiotelegrafie gebruikt, terwijl iedere heroplading van de condensator werd veroorzaakt door het overspringen van een vonk. In plaats van deze oorspronkelijk gedempte golven te bezigen is later het gebruik van *ongedempte golven* gekomen (fig. 21, B). De stroom, die deze golven veroorzaakt, is een wisselstroom, die ontstaat in de *trillingskring*, zoals men de kring noemt, die bestaat uit een condensator, verbonden aan de klemmen van een spoel. Om de toenemende verzwakking van de trillingen te voorkomen, zoals dat bij de gedempte trillingen gebeurt, is het voldoende die energieverliezen aan te vullen door van buitenaf aan de trillingskring hoeveelheden energie toe te voegen, die noodzakelijk en toereikend zijn om de trillingsamplitude constant te houden.

Die toevoeging van energie, die „herbevoorrading”, moet in hetzelfde tempo geschieden als de eigen trillingen van de kring, die, dat spreekt vanzelf, plaats vinden op de resonantiefrequentie, waarbij de impedantie het kleinst is. Als die stroomstoten in de trillingskring worden toegevoerd met een frequentie, die verschilt van de resonantiefrequentie, zullen zij op bepaalde momenten in plaats van de trillingen te ondersteunen, deze tegenwerken en dan krijgen wij per slot van rekening in de kring maar een heel zwakke wisselstroom (*gedwongen trillingen*).

### De impedantie van een trillingskring

De wisselstroombron, die tot taak heeft de trillingskring opnieuw van energie te voorzien, kan daarmede inductief (fig. 22a) of direct (fig. 22b) worden verbonden. Als de trillingskring weinig energie verspilt, doordat de weerstand en andere oorzaken van verlies zo klein mogelijk zijn gehouden, noemt men hem weinig *gedempt*. In dat geval zal ook de energie, die hij van de wisselstroombron betreft, zeer gering zijn (want die is gelijk aan het te vergoeden energieverlies). Dus: *hoe minder gedempt de trillingskring is, des te minder energie verbruikt hij van de keten, waardoor hij gevoed wordt*. Wij staan hier voor een schijnbaar tegenstrijdige situatie. Terwijl binnenin de trillingskring de wisselstroom een grote sterkte bereikt (des te groter naarmate de kring minder gedempt is), is in de buitenste kring (in fig. 22b in dunne lijnen getekend) de stroom zwak, en wel zwakker, naarmate de trillingskring minder gedempt is, of ook — en dat is een ander beeld van hetzelfde verschijnsel — de impedantie van de trillingskring is zeer klein voor de stroom, die binnenin circuleert, maar aan de stroom van de buitenste kring biedt hij een zeer hoge impedantie. Dit alles geldt natuurlijk voor de *resonantiefrequentie*.

Als Weetal de zaken nog duidelijker zou willen maken voor Vraagal, zou hij een goede vergelijking kunnen vinden . . . in de keuken, door de trillingskring te vergelijken met een pan vol water, dat aan de kook is gebracht. Als de pan weinig warmte verliest aan de omringende lucht, kan de kooktemperatuur met een kleine vlam onderhouden worden. Dat is dus het geval van een trillingskring met geringe verliezen, waarin de trillingen door een geringe toevoer van energie op peil gehouden worden. Als de pan echter veel warmte verliest, bv. doordat de afkoelingsoppervlakte zeer groot is, is er een felle vlam nodig om het water op het kookpunt te houden. Dat is dan de sterk gedempte trillingskring.

## Resonantie „in serie” en „parallel”

Laten wij nu de verschillende begrippen, die wij van de resonantie hebben gekregen, eens samenvatten. In het geval van figuur 18 staan wij tegenover een condensator en een spoel, die *in serie* met de spanningsbron zijn verbonden.

Voor de resonantiefrequentie vormt deze kring de minimale impedantie en de stroomsterkte bereikt het maximum.

In figuur 22b zijn de condensator en de spoel *parallel* geschakeld met de bron van de wisselspanning. De trillingskring vormt nu *voor de bron* de maximale impedantie en laat slechts een zeer zwakke stroom passeren; maar die zwakke stroom is voldoende om in de trillingskring zelf een stroom van grote sterkte te onderhouden.

Men begrijpt, dat, als men dit laatste geval onderzoekt, de spanningen met andere frequenties dan de resonantiefrequentie niet meer dezelfde eigenschappen hebben. De *gedwongen trillingen*, die zij in de trillingskring veroorzaken, zullen zwak zijn, en klein zal eveneens de impedantie zijn, die de trillingskring voor de krachtbron vormt.

## TOELICHTING BIJ HET ZESDE GESPREK

### De formule van Thomson

De eigen trillingstijd of de resonantietrillingstijd van een kring neemt toe met het groter worden van de zelfinductie of van de capaciteit. Dat is volkomen logisch, want alles, wat wij over die twee grootheden hebben geleerd, toont aan, dat hun groei de trillingen alleen maar kan verzwakken.

De weinige formules, die wij in onze samenvattingen hebben opgenomen, stellen ons toch in staat de formule voor de resonantiefrequentie af te leiden zonder ons aan al te gevaarlijke bokkesprongen te wagen.

Wij hebben gezien, dat de resonantie optreedt, als de inductantie gelijk wordt aan de capacitantie voor een bepaalde frequentie. Laten wij proberen die frequentie te bepalen door de juist genoemde gelijkheid aan te nemen. De inductantie is, zoals reeds is gezegd, gelijk aan  $6,28 f L$ , waarbij  $f$  de frequentie en  $L$  de (coëfficiënt van) zelfinductie (in henry's) is.

Voorts is de capacitantie gelijk aan:  $\frac{1}{6,28 f C}$  waarbij  $C$  de capaciteit (in farads) is.

Uitgaande van bovengenoemde gelijkheid, kunnen we dus schrijven:

$$6,28 f L = \frac{1}{6,28 f C}$$

En zo hebben we dan een algebraïsche vergelijking!

Nu is het niet moeilijk meer de waarde van  $f$  — de frequentie, die wij zoeken — te bepalen. Daartoe vermenigvuldigen wij de beide termen (zo noemt men in een vergelijking het deel voor of achter het = teken) met  $f$  en delen ze door  $6,28 L$ . Wij krijgen dan:

$$f^2 = \frac{1}{6,28^2 L C}$$

Daarna trekken we de vierkantswortel uit beide termen:

$$f = \frac{1}{6,28 \sqrt{LC}}$$

Daar de periode of de trillingstijd  $t$  het omgekeerde is van de frequentie  $f$ , kunnen wij ook schrijven:

$$t = 6,28 \sqrt{LC}.$$

Dit is dan de *formule van Thomson*, bepaald volgens alle regelen van de wiskunde, d.w.z. bijna. Want wij hebben de gewone weerstand verwaarloosd, die toch tussenbeide komt, vooral als hij een betrekkelijk hoge waarde heeft. In de voor radiotechniek gebruikte trillingskringen tracht men echter de gewone weerstand tot een minimum te beperken. De formule, die wij zo juist hebben afgeleid, blijft daar dan ook volkomen geldig.

Zij laat ons o.a. zien, dat, als wij de capaciteit of de zelfinductie 4 of 9 of 16 of 25 maal zo groot maken, de periode of trillingstijd slechts respectievelijk 2, 3, 4 of 5 maal zo groot zal worden (en de frequentie wordt evenveel malen kleiner).

### Selectiviteit

Het resonantieverschijnsel verschaft ons in de radio die kostelijke mogelijkheid, uit de talloze uitzendingen, die op verschillende frequenties plaats hebben, diegene te *selecteren* (= uit te kiezen), die wij willen horen.

Dank zij hun *selectiviteit* („kiesscherpte”) geven de ontvangtoestellen niet gelijktijdig alle uitzendingen weer, waarvan de golven de ether in beroering brengen en die hoogfrequente spanningen in de ontvangantenne opwekken.

Een groter of kleiner aantal trillingskringen (een ontvangtoestel van een gebruikelijk type heeft er vijf), geplaatst op de juiste punten van de stroomketen van een ontvanger, maakt het mogelijk alleen de frequentie van een gewenste zender door te laten met uitsluiting van alle andere.

Zo zal een trillingskring, bestaande uit een parallelschakeling van spoel en condensator, die in de antenne is geplaatst, gemakkelijk alle stromen van verschillende frequenties naar de aarde doorlaten, met uitzondering van die met zijn resonantiefrequentie. Doordat hij hiervoor een hoge impedantie vormt, ontstaat aan de klemmen van de kring een wisselspanning, die overgebracht wordt naar de reeks van kringen in de ontvanger.

Als de trillingskring, zoals in fig. 23, inductief aan de antenne is gekoppeld, zullen alleen de stromen van de resonantiefrequentie een belangrijke stroom in de trillingskring opwekken en een wisselspanning tussen de punten A en B doen ontstaan.

### De afstemming van de kringen

Om een uitzending te kunnen kiezen, moet men de resonantiefrequentie van de trillingskringen kunnen veranderen, of, zoals men zegt, ze op de verschillende frequenties *afstemmen*. (Men spreekt eveneens van *afstemkring* om een kring aan te duiden, die op de frequentie van een zender wordt afgestemd.)

Het afstemmen van de kringen geschiedt door de waarde van een der samenstellende delen te veranderen: de zelfinductie of de capaciteit. Om de gehele frequentieband

zonder enige onderbreking te doorlopen, d.w.z. om de afstemming in een zeker frequentiegebied geleidelijk te veranderen, is het het eenvoudigst de capaciteit te wijzigen; dat gebeurt met behulp van *variabele of regelbare condensatoren*, bestaande uit een vaste en een beweegbare (draaibare) bekleding. Elk dier bekledingen bestaat uit een aantal platen (*lamellen* genaamd). De beweegbare platen zijn op een as gemonteerd en tussen de vaste geplaatst. Door de as te draaien, komen de beweegbare platen meer of minder tussen de vaste, waardoor het oppervlak van de bekledingen ten opzichte van elkaar toe- of afneemt en eveneens de capaciteit van de condensator. Teneinde de afstemming met grote nauwkeurigheid te doen plaats hebben, wordt de beweging van de stelknop vertraagd met behulp van een vertraginginrichting, zodat enkele omwentelingen van de knop nodig zijn om de beweegbare platen hun hele baan te laten doorlopen. Men noemt dit de *fijnregeling*. De as van de variabele condensator regelt tegelijkertijd de beweging van een naald, die zich beweegt langs een in frequenties (of golflengten) verdeelde schaal. Hierop zijn tevens de standen aangegeven, waarop voor de voornaamste zendstations moet worden afgestemd.

De meest gebruikelijke variabele condensatoren zijn van maximaal 500 pF of van kleinere capaciteit.

In de uiterste stand, als de beweegbare platen geheel buiten de vaste liggen, blijft er toch nog een zekere capaciteit tussen de bekledingen over. Men noemt dat de „nulcapaciteit“. Al naar gelang de constructie, varieert deze van 10 tot 25 pF.

Later zullen we zien, dat men voor de afstemming ook gebruik maakt van veranderingen in de zelfinductie: deze verandert niet geleidelijk, zoals de capaciteit, maar met sprongen en die veranderingen dienen om van de ene golfband op de andere over te gaan.

## TOELICHTING BIJ HET ZEVENDE GESPREK

### Elektronenbuizen of radiobuizen

Tot nu toe hebben onze jonge vrienden op hun gemak door het terrein van de elektriciteit in het algemeen rondgewandeld. Wij moeten echter erkennen, dat Weetal uit de verschillende wetten, die daar gelden, een weloverwogen keuze heeft gedaan om Vraagals hersenen niet te veel te vermoeien met begrippen die geen direct nut hebben voor de bestudering van de radio. Bij de aanvang van de studie over de elektronen- of radiobuizen zitten onze vrienden nu plotseling midden in het gebied van de eigenlijke radiotechniek, want de gehele techniek der draadloze verbindingen is tegenwoordig gebaseerd op het gebruik van deze buizen. Hun toepassingen zijn daarentegen niet beperkt tot de radio alleen; men vindt ze tegenwoordig in alle takken van wetenschap en techniek terug en hun gebruik breidt zich nog van dag tot dag uit. Men duidt tegenwoordig met de term *elektronica* of *elektronentechniek* het gehele gebied van hun toepassingen aan.

Waaruit bestaat nu zulk een *elektronen- of radiobuis*? Van buiten gezien is het een glazen ballon, bevestigd aan een isolerende buis, voet of huls, die voorzien is van enige contactpennen, of soms klemmen. De ballon zelf is van glas, ofschoon de modernste buizen stalen ballons hebben. De voornaamste eis is, dat de ballon volkomen

luchtdicht is, want binnenin moet hij zoveel mogelijk luchtledig zijn. Dat luchtledige is onmisbaar om aan de elektronen binnenin de buis een zo gemakkelijk mogelijke doortocht te verschaffen. Bij aanwezigheid van lucht zouden de elektronen voortdurend tegen de moleculen botsen, hun baan zou onderbroken worden en wat nog belangrijker is, de luchtmoleculen zouden uit die botsingen elektrisch geladen te voorschijn komen (zg. „geïoniseerd”) en op die manier de normale werking der buizen verstoren. In de ballon vinden wij een min of meer samengesteld systeem van *elektroden*. Onverschillig wat voor een buis het is, er zijn ten minste twee elektroden nodig om de elektronen te laten circuleren: de *kathode* en de *anode*.

### Kathode en verhitting

De taak van de kathode is elektronen in de ruimte te werpen. Die *elektronenuitzending* of elektronenemissie wordt verkregen door een lichaam op hoge temperatuur te brengen. Niet alle lichamen bezitten in gelijke mate dat emissievermogen. De ene soort leent er zich beter toe dan de andere. Vooral is dit het geval met barium- en strontiumoxyden. De verhitting van de kathode geschiedt door gelijk- of wisselstroom, die door een weerstandsdraad, *gloeidraad* genaamd, loopt, soortgelijk aan de gloeidraden in de verlichtingslampen. De kathode, bestaande uit een nikkelen buisje, bedekt met een oxydenmengsel, omringt de gloeidraad. De isolatie tussen kathode en gloeidraad wordt verzekerd door een laagje van een isolerende, vuurvaste stof. (In de oudste typen was dat een porseleinen buisje.)

Dit is de vrij gecompliceerde samenstelling van de indirect verhitte kathode. De functies van verhitter (gloeidraad) en elektronenuitstraler (de eigenlijke kathode) kunnen samengevoegd worden in de gloeidraad zelf, mits deze behoorlijk geschikt gemaakt is en die emitterende stof bevat. Wij hebben dan buizen voor directe verhitting. Alle buizen voor 1930 behoorden tot die categorie.

Het is niet overbodig er op te wijzen, dat die verhittingsstroom (de *gloeistroom*) slechts een ondergeschikte rol heeft. Zijn enige taak is, de warmte op te wekken, die het de kathode mogelijk maakt elektronen uit te zenden. Niet alleen zou men een beroep kunnen doen op andere warmtebronnen (verhitting door gas, olie e.d.) maar men zou ook kathoden, zonder verhitting kunnen gebruiken. Zo bestaat in de foto-elektrische cellen, die nu bij de televisie worden gebruikt, de kathode uit een laag alkalisch metaal en zendt elektronen uit, als zij getroffen wordt door een lichtstraal. Misschien zal later de studie van de radio-actieve stoffen ons een kathode verschaffen met krachtig emissievermogen, waarvoor geen verhitting nodig is . . . .

### Diode

Het effect van de elektronenemissie, door Edison ontdekt, zou geen grote gevolgen hebben gehad, als Fleming in 1904 niet op het idee was gekomen, een tweede elektrode vlak bij de kathode te plaatsen: de *anode* of de *plaat*, positief ten opzichte van de kathode. De elektronen, die door de kathode in de ruimte worden geslingerd, worden dan door de anode aangetrokken. Als nu een gelijkspanningsbron de anode positief houdt ten opzichte van de kathode, ontstaat er een stroom, *anode-* of *plaatstroom* genaamd. Na de kathode verlaten te hebben, doorlopen de elektronen het luchtledige van de buis en bereiken de anode; daarna keren de elektronen door de anodekring, waarin de spanningsbron zich bevindt, naar de kathode terug (fig. 26). Allereerst stelt deze buis (*diode* geheten) ons in staat de elektrische stroom in zuivere toestand te „zien” en wij stellen vast, dat de elektronen van negatief naar positief gaan, tegen-

gesteld dus aan de vroeger overeengekomen richting voor de elektrische stroom. Merk op, dat de elektronenstroom in de diode slechts in één richting kan gaan: *van de kathode naar de anode*. Maken wij de anode negatief t.o.v. de kathode, dan houdt alles op, want de elektronen zullen door de anode worden teruggestoten en daar deze laatste koud is, zendt zij geen elektronen uit, die geschikt zijn om door de kathode aangetrokken te worden. Onze diode werkt dus als een echt ventiel. Men begrijpt nu wel, dat een wisselspanning, aangelegd tussen die twee elektroden, aanleiding geeft tot een stroom in één richting, die aanhoudt gedurende de halve periode, dat de anode positief is en nul is gedurende de andere halve periode. Die geschiktheid van de diode om de wisselstroom „gelijk te richten”, wordt, zoals wij later zullen zien, gebruikt bij de detectie en de voeding van de ontvangtoestellen uit het wisselstroomnet. Zoals in iedere weerstand, hangt de sterkte van de anodestroom in de diode af van de aangelegde spanning tussen kathode en anode (de *anodespanning*) door ongeveer te gehoorzamen aan de Wet van Ohm. De stroom wordt evenredig met de spanningstoename sterker, maar slechts tot een bepaalde waarde, een verdere aanwas van de spanning veroorzaakt geen overeenkomstige versterking van de stroom meer, daar *alle* door de kathode uitgezonden elektronen reeds deelnemen aan de anodestroom. Men zegt, dat wij dan de *verzadigingsstroom* hebben bereikt. Alleen de direct verhitte kathoden vertonen echter het verzadigingsverschijnsel, zoals wij dat hier hebben beschreven.

### Triode

Twee jaar na de uitvinding van de diode is Lee de Forest op het idee gekomen om tussen de kathode en de anode nog een derde elektrode te plaatsen: het *rooster*. Dit bestaat uit een tralierooster of uit een cilindervormige spiraal, die de kathode omringt. In onze drie-elektrodenbuis of *triode* is het rooster dus geplaatst in de baan van de elektronen, waardoor het mogelijk is de beweging daarvan te regelen. Inderdaad hangt nu de sterkte van de elektronenstroom niet meer alleen af van de anodespanning, maar ook van de potentiaal van het rooster t.o.v. de kathode.

Hoe meer het rooster negatief is, des te meer remt het de loop der elektronen en des te meer stuurt het er terug naar de kathode en des te minder slagen deze er in zich, door de anode aangetrokken, daarheen een weg te banen. Is het rooster heel erg negatief, dan laat het, ondanks de aantrekkingskracht der anode geen enkel elektron passeren: de stroom is nul. Als wij het rooster langzamerhand minder negatief maken, zien wij een stroom ontstaan, die aangroeit met de toeneming van de roosterpotentiaal (een potentiaal neemt toe, als zij minder negatief wordt).

Het is opmerkelijk, dat de invloed, die door de roosterspanning op de sterkte van de anodestroom wordt uitgeoefend, veel sterker is dan de invloed van de plaatsspanning. *Een geringe verandering van de roosterpotentiaal is voldoende om een grote verandering van de plaatsstroom te veroorzaken.* Als wij de roosterpotentiaal constant laten en toch dezelfde stroomverandering willen opwekken door de plaatsspanning te wijzigen, dan moeten wij laatstgenoemde in veel sterkere mate veranderen. Dat is overigens gemakkelijk te verklaren uit het feit, dat het rooster dichter bij de kathode is geplaatst dan de plaat. Op dat verschijnsel is nu het versterkvermogen van de buis gebaseerd.

### Steilheid

De wijziging, die optreedt in de plaatsstroom ten gevolge van een verandering van de potentiaal van het rooster, noemt men de *steilheid* van de buis. Zij wordt uitgedrukt



in milli-ampères per volt (mA/V). De steilheid toont derhalve aan, met hoeveel milli-ampères de plaatstroom toe- of afneemt, als wij de roosterpotential met 1 V verhogen of verlagen. De meest gebruikelijke buizen hebben een steilheid, die ligt tussen 1 en 15 mA/V.

Als wij de verandering van de anodestroom  $dI_a$  en die van de roosterpotential  $dU_g$  noemen, vinden wij de steilheid  $S$  in de onderstaande formule:

$$S = \frac{dI_a}{dU_g}$$

### Versterkingsfactor

Wij hebben zoëven gezegd, dat, om dezelfde verandering in de plaatstroom te brengen, de plaatspanning meer veranderd moet worden dan de spanning van het rooster. De verhouding tussen die twee spanningen heet de *versterkingsfactor*. Als men bv. een versterking van de stroom van 1 milli-ampère kan bereiken door óf de anodespanning met 28 V, óf de roosterspanning met 2 V te verhogen, is de versterking  $28 : 2 = 14$ .

De versterkingsfactor van trioden gaat zelden boven 100, maar in de buizen met meer dan drie elektroden bereikt hij vaak een waarde van meer dan 1000.

Als  $dU_a$  de verandering van de plaatspanning voorstelt, vinden wij de versterkingsfactor  $K$  als volgt:

$$K = \frac{dU_a}{dU_g}$$

### De inwendige weerstand

Tenslotte is er nog een derde factor, waaraan Weetal stilzwijgend voorbijgegaan is, maar waarvan het nuttig is iets te weten: de *inwendige weerstand* van de buis. Laten wij ons de Wet van Ohm herinneren, volgens welke de weerstand bepaald wordt door het verband tussen spanning en stroomsterkte. Het mag ons dan ook niet verbazen, als wij horen, dat de inwendige weerstand van een buis wordt bepaald door de verhouding tussen de verandering in de anodespanning en de verandering, die deze veroorzaakt in de sterkte van de anodestroom. Als wij de inwendige weerstand aangeven met  $\rho$  (de Griekse letter rho), krijgen wij dus:

$$\rho = \frac{dU_a}{dI_a}$$

De inwendige weerstand wordt uitgedrukt in ohms. Voor de trioden varieert de waarde tussen enige duizenden en enige tienduizenden ohm. Voor de buizen met meer dan drie elektroden kan hij honderdduizenden ohm bedragen.

Hier zij opgemerkt, dat de steilheid en de inwendige weerstand van een bepaalde buis tussen zekere grenzen kunnen variëren al naar gelang de potential van het rooster; de versterkingsfactor daarentegen blijft praktisch onafhankelijk van de spanningen der elektroden, daar hij bepaald wordt door hun plaats en hun afmetingen.

## Het verband tussen $S$ , $K$ , en $\varrho$

Hoewel het niet de bedoeling is hier diepgaande wiskundige verhandelingen te houden, zullen we wel het wiskundige verband vastleggen tussen  $S$ ,  $K$  en  $\varrho$ . Het is namelijk zeer eenvoudig het verband aan te tonen, dat deze drie grootheden bijeenhoudt.

Als wij  $S$  met  $\varrho$  vermenigvuldigen, krijgen wij:

$$S \times \varrho = \frac{dI_a}{dU_g} \times \frac{dU_a}{dI_a} = \frac{dU_a}{dU_g} = K.$$

Wij zien nu, dat de *versterkingsfactor gelijk is aan het produkt van steilheid en inwendige weerstand*. Als de steilheid wordt weergegeven in mA/V, moet de inwendige weerstand in duizendtallen ohm worden uitgedrukt, daar we anders onjuiste resultaten krijgen.

Het is dus dank zij de boven aangegeven onderlinge betrekking voldoende twee grootheden te kennen om de derde te berekenen. Is bv. de steilheid van een buis 3 mA/V en de inwendige weerstand 80 000  $\Omega$ , dan is de versterkingsfactor  $K = 3 \times 80 = 240$ .

## TOELICHTING BIJ HET ACHTSTE GESPREK

### De karakteristiek van een buis

In de triode is de sterkte van de plaatstroom, zoals wij hebben gezien, afhankelijk van de roosterspanning en, hoewel niet in gelijke mate, van de plaatspanning. De invloed van de eerste is groter dan die van de tweede. Men kan grafisch weergeven, hoe de sterkte van de plaatstroom  $I_a$  verandert al naar gelang de waarden, die de roosterspanning  $U_g$  of de anodespanning  $U_a$  aanneemt. Om de kromme voor  $I_a$  te tekenen afhankelijk van  $U_g$ , houden wij de plaatspanning  $U_a$  op een constante waarde en als wij nu aan de roosterspanning  $U_g$  een serie verschillende waarden geven (in een stijgende of dalende reeks), kunnen wij de overeenkomstige waarden van de anodestroom  $I_a$  noteren.

Vervolgens tekenen wij op een vel ruitjespapier twee lijnen loodrecht op elkaar: de horizontale as is bestemd voor de roosterspanningen en de verticale as wordt verdeeld in sterkten van de plaatstroom. Wij beschouwen het snijpunt van de beide lijnen (assen) als het nulpunt, de negatieve waarden van de roosterspanningen komen links, de positieve waarden rechts van dat punt. Voor elk paar overeenkomstige waarden van  $U_g$  en  $I_a$ , die wij genoteerd hebben, vinden wij nu een gemeenschappelijk punt, dat ligt op het snijpunt der loodlijnen opgericht in de met elkaar corresponderende aspunten. Als bv. bij — 1 V roosterspanning de anodestroom 4 mA bedraagt, krijgen wij het gemeenschappelijke punt aldus: op de horizontale as richten wij een loodlijn op in het punt — 1 V en op de verticale as een loodlijn in het punt 4 mA (de eerste loodlijn is dus verticaal, de tweede horizontaal), en het snijpunt van deze twee bepaalt tegelijkertijd de beide overeenkomstige waarden.

Na op die manier enkele punten getekend te hebben, verbinden wij ze door een lijn, die de *karakteristiek* van de plaatstroom vormt onder invloed van de roosterspanning (fig. 31). Naarmate het rooster minder negatief wordt, neemt de stroom toe, eerst langzaam, maar na de onderste bocht van de kromme sneller; daarna vertoont de kromme een recht stuk, hetgeen laat zien, dat voor dat gedeelte van de karakteristiek

de plaatstroomverandering evenredig is met de roosterspanningsverandering. Daarna buigt de kromme opnieuw, vooral als het een direct verhitte buis betreft, die onderworpen is aan het verzadigingsverschijnsel.

### Andere karakteristieken

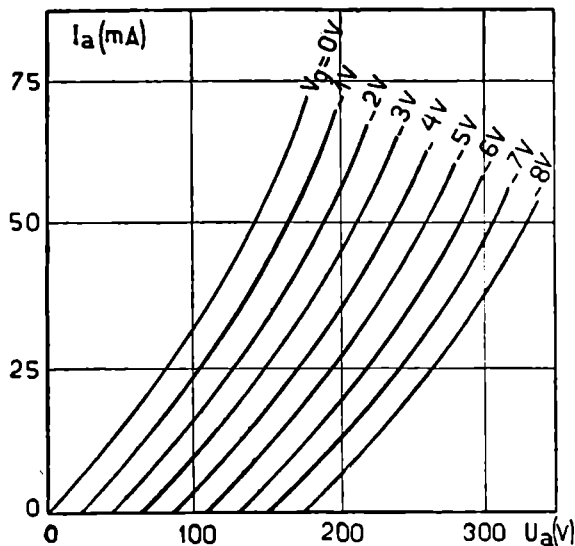


Fig. II. Krommen, die de veranderingen van de plaatstroom van een triode weergeven onder invloed van de veranderingen in de plaatspanning. Iedere kromme is getekend voor een gegeven roosterspanning.

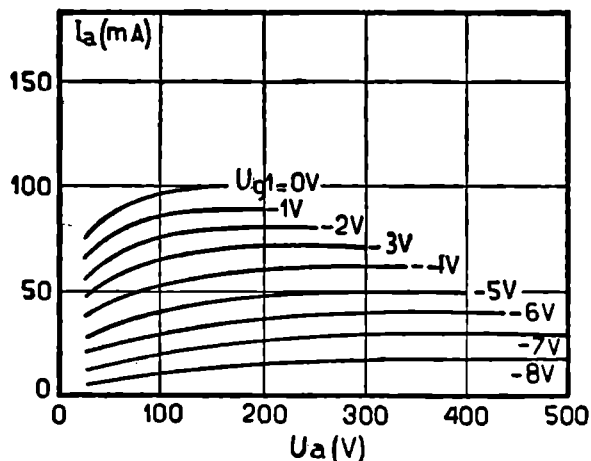


Fig. III. Dezelfde krommen als in fig. II, maar nu bepaald voor een pentode, d.w.z. een buis met 3 roosters, die wij later zullen bespreken.

Men zou op dezelfde manier een tweede karakteristiek kunnen tekenen, door de plaatspanning op een hogere waarde in te stellen. In dat geval zal de stroom groter zijn. De kromme verschuift dan naar links. Om een buis goed te karakteriseren is het nodig een hele groep (of „bundel”) karakteristieken te bepalen, die elk overeenkomen met een gegeven plaatspanning (fig. 32). We moeten hierbij wel bedenken, dat er nog een andere groep karakteristieken geschetst kan worden, als men van een enigszins ander standpunt uitgaat. Men neemt dan een vaste waarde voor de roosterspanning en laat nu de anodespanning veranderen, waarna weer de corresponderende waarden van de plaatstroom genoteerd worden. Op de horizontale as geeft men nu de waarden van  $U_a$ , op de verticale die van  $I_a$  aan en zo krijgen wij dan de karakteristiek van de plaatstroom afhankelijk van de plaatspanning (fig. II en III).

Zo kunnen wij dus nog een bundel karakteristieken opstellen, elk overeenkomend met een bepaalde roosterspanning. Door een betrekkelijk eenvoudige bewerking, die wij hier echter niet zullen aangeven, kan men van het ene systeem in het andere overgaan.

De karakteristieken van een buis geven de radiotechnicus de nodige inlichtingen over haar eigenschappen, over de beste wijze van toepassing en over de manier, waarop de buis zich in deze of gene schakeling zal gedragen. Bij wijze van voorbeeld zullen wij eens laten zien, hoe de bestudering van de karakteristieken ons in de gelegenheid stelt, de steilheid, de versterkingsfactor en de inwendige weerstand te bepalen.

### Grafische bepaling van $S$ , $K$ en $\rho$

De *steilheid*, dat herinneren wij ons, toont aan, hoeveel de plaatstroom verandert, als wij de roosterspanning met 1 V wijzigen. Laten wij nu uit de karakteristiekenbundel van figuur IV er eens een nemen, bv. die, welke overeenkomt met  $U_a = 160$  V. Wij zien, dat bij een roosterspanning van  $-3$  V het punt A een stroomsterkte geeft van 3 mA; bij  $-2$  V geeft punt B 6 mA. Door de roosterspanning 1 V te verhogen, hebben wij de plaatstroom 3 mA sterker gemaakt. De steilheid is dus 3 mA/V. Men zal opmerken, dat de steilheid in het algemeen gelijk is aan de verhouding tussen BC en AC. Hoe steiler de kromme . . . hoe groter de steilheid! Dit verklaart het gebruik van het woord „steilheid” door de radiotechnici. Laten wij nog noteren, dat, terwijl de steilheid gelijk blijft in het gehele rechte deel van de kromme, zij minder wordt in de bocht (bij punt D is zij dan ook kleiner).

Nu gaan wij over tot de bepaling van de *versterkingsfactor*, die de verhouding weergeeft tussen de veranderingen in de plaat- en in de roosterspanning, waardoor dezelfde wijziging van de plaatstroom ontstaat. Laten wij eens door een horizontale lijn twee punten P en Q op twee naburige krommen verbinden. Die twee punten hebben betrekking op dezelfde plaatstroom. Als we nu van Q naar P gaan, wat doen we dan? Aan de ene kant verhogen wij de roosterspanning met 1,5 V (want zij gaat van  $-3$  naar  $-1,5$  V), wat een vergroting van de plaatstroom zou moeten veroorzaken. Deze blijft echter onveranderd, want de uitwerking van de verandering in de roosterspanning wordt geneutraliseerd door de afneming van de plaatspanning; deze wordt met 40 V verminderd, daar wij van de kromme  $U_a = 200$  V zijn overgegaan op de kromme  $U_a = 160$  V. Een plaatspanningsvariatie van 40 V heeft dus op de plaatstroom dezelfde uitwerking als een verandering van 1,5 V in de roosterspanning. De versterkingsfactor (d.i. verhouding tussen die twee spanningen) is nu gelijk aan:

$$40 : 1,5 = 26,7$$

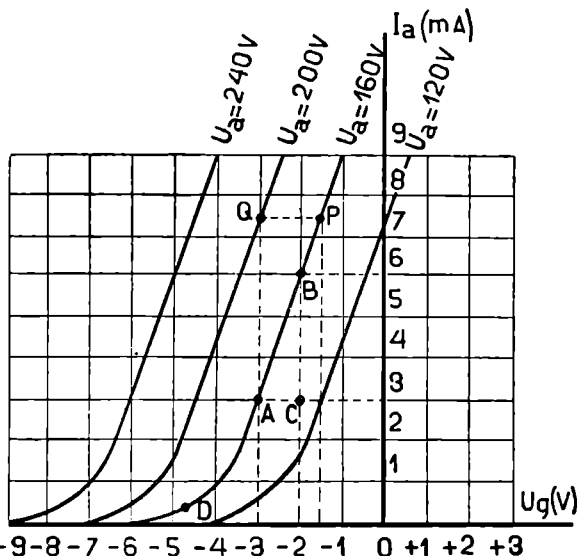


Fig. IV. De karakteristieken voor de plaatstroomverandering onder invloed van de roosterspanning maken het mogelijk de steilheid, de versterkingsfactor en de inwendige weerstand van de buis te bepalen.

Tenslotte zullen wij nog trachten uit de karakteristieken de waarde van de *inwendige weerstand* af te leiden. Dat is, zoals wij al gezegd hebben, de verhouding tussen de verandering in de anodespanning en de verandering in de anodestroom, die zij veroorzaakt; wij nemen daarbij aan, dat de roosterspanning constant blijft.

In onze grafische voorstelling liggen alle verschijnselen, die zich voordoen zonder verandering in de roosterspanning, op een verticale lijn. Als wij dus aannemen, dat het rooster — 3 V is, is het de verticale lijn, opgericht in het punt — 3 V van de horizontale as. Als de anodespanning oploopt van 160 V (punt A) tot 200 V (punt Q), hebben wij een spanningsverandering van 40 V. Deze veroorzaakt een stroomtoename van 4,5 mA (of in ampères 0,0045), nl.: van 3 mA (bij punt A) tot 7,5 mA (bij punt Q). De inwendige weerstand is dan:

$$40 : 0,0045 = \pm 8900 \text{ ohm.}$$

Nu kunnen wij controleren, of de formule  $K = S \times \rho$  juist is, want, als wij rekenen, dat  $\rho = 8,9 \times 1000 \text{ ohm}$ , kunnen wij schrijven:

$$S \times \rho = 3 \times 8,9 = 26,7$$

Welnu, wij vonden reeds, dat  $K = 26,7$  hetgeen bewijst, dat er op radiogebied orde heerst.

### Ingang en uitgang van een buis

Om voordeel te trekken uit het versterkvermogen van een buis wordt de wisselspanning voor de versterking aangelegd tussen het rooster en de kathode. Door de potentiaal van het rooster ten opzichte van de kathode te veranderen, veroorzaken wij belangrijke veranderingen in de sterkte van de plaatstroom. (Zij zijn  $K \times$  zo sterk als in het geval, dat de spanning aangelegd zou worden tussen anode en kathode.) Die variaties in de plaatstroom, die weer plaatspanningsveranderingen ten gevolge hebben, kunnen op hun beurt weer versterkt worden door een tweede buis, zoals wij later zullen zien.

De spanning, die versterkt moet worden, wordt dus aangelegd aan wat wij in het vervolg de *ingang* van de buis (rooster-kathode) zullen noemen, de *uitgang* bevindt zich dan in de anodekring.

De wisselspanningen aan de ingang zijn betrekkelijk zwak, de eerste buis, bestemd om de zeer zwakke spanning, welke wordt opgewekt door de trillingen in de afgestemde antennekring, te versterken, zal aan de ingang een spanning krijgen van de grootte van enige microvolts of enige tientallen microvolts (een nabije en sterke zender kan evenwel spanningen veroorzaken van enige millivolts). De laatste buizen van een versterkketen in een ontvangtoestel zullen daarentegen te maken hebben met ingangsspanningen, die zeer versterkt zijn en die enkele volts of zelfs tientallen volts kunnen bedragen.

### Roostervoorspanning

Behalve de wisselspanning, die wordt aangelegd tussen rooster en kathode, moeten wij eveneens de *gemiddelde roosterspanning* in beschouwing nemen, d.w.z. de gelijkspanning, die gebracht wordt tussen het rooster en de kathode bij afwezigheid van wisselspanningen (bv. gedurende een pauze in de uitzending). Die spanning (*negatieve roostervoorspanning* genaamd) kan bv. bepaald worden met behulp van een batterij Bg (fig. 33), die tussen rooster en kathode wordt geplaatst. Daardoor wordt op de

buis karakteristiek het *werkpunt* bepaald. Zo is in figuur IV, als de plaatspanning 160 V en het rooster op  $-3$  V ingesteld is, het *werkpunt* in A. De gemiddelde anodestroom (of *ruststroom*) is 3 mA.

Als een wisselspanning op haar beurt op het rooster werkzaam is, zal de roosterspanning toe- en afnemen met de waarde van de wisselspanning. Zo zullen, als wij aannemen, dat de gemiddelde spanning  $-3$  V bedraagt en de amplitude van de wisselspanning 2 V is, de ogenblikswaarden van de roosterspanning variëren tussen  $-5$  en  $-1$  V. Gelijktijdig zal ook de plaatstroom toe- en afnemen tot aan de uiterste waarden, die overeenkomen met de roosterspanningen van  $-5$  V en  $-1$  V.

Twee gevaren dienen vermeden te worden op straffe van vervormingen van het geluid. (*Distorsie* zeggen de technici met een overbodig vreemd woord.) Aan de ene kant moeten de veranderingen in de plaatstroom evenredig zijn met de veranderingen van de roosterspanning. Aan die voorwaarde zal voldaan zijn, als de ogenblikswaarden van de roosterspanning niet buiten het rechte deel van de karakteristiek gaan. Vervormingen in de onderste bocht van de kromme noemt men om die reden „niet-lineaire” vervormingen. Wanneer men dat met een zekere nadruk zegt, maakt men altijd enige indruk . . . vooral op hen, die er de betekenis niet van snappen!

Het tweede gevaar bedreigt ons op het punt, waar de roosterspanning nul wordt. Als wij daar voorbijgaan, d.w.z. als het rooster positief wordt, ontstaat er een *roosterstroom*. Het positieve rooster gedraagt zich dan als een anode: het trekt elektronen aan, die door de roosterkring gaan lopen naar de kathode. Eigenlijk begint de roosterstroom al, als het rooster nog een beetje negatief is ( $-1,5$  tot  $-1$  V, al naar gelang de hoedanigheid van de buis), en dat is te wijten aan de kracht, waarmee de elektronen door de kathode worden uitgezonden.

De roosterstroom veroorzaakt ernstige storingen. De instandhouding daarvan vergt een belangrijk energieverbruik door de roosterkring, waarin een dergelijk energieverlies juist vermeden moet worden.

Samenvattend zien wij dus, dat de ogenbliksspanningen van het rooster zich moeten beperken tot het rechte deel van de karakteristiek zonder buiten het gebied der negatieve spanningen te treden. Men heeft er dus belang bij de voorspanning zo te kiezen, dat het *werkpunt* zich bevindt in het midden van het rechte deel, links van de verticale as. Als de amplitude van de wisselspanning de waarde van de voorspanning niet te boven gaat, zullen op die manier de potentialen van het rooster wijselijk in het rechtlijnige deel blijven en dan zullen ze nooit positief worden.

## TOELICHTING BIJ HET NEGENDE GESPREK

### De microfoon

In dit gesprek heeft Weetal zich bezig gehouden met de bestudering van de eerste onderdelen van de keten der radio-elektrische geluidsoverbrenging. Hij is bij het begin begonnen: de microfoon en de geluidsgolven, die daarop inwerken.

De geluidsgolven, die trillingen van luchtmoleculen zijn en waarvan de frequenties liggen tussen 16 per./sec (voor de laagste tonen) en 16 000 per./sec (voor de hoogste tonen) worden met behulp van een microfoon omgezet in overeenkomstige veranderingen van een elektrische stroom.

De *koolmicrofoon*, door Weetal beschreven, die functioneert door veranderingen in de weerstand, is zeer gevoelig, zelfs voor betrekkelijk zwakke geluiden, maar zij heeft een paar hinderlijke gebreken, die onzuiverheid van de weergave ten gevolge hebben. Er bestaan andere microfoonssystemen, minder vervorming veroorzakend, maar ook minder gevoelig (hetgeen er weinig op aan komt, daar men altijd met behulp van buizen de te zwakke microfoonstromen kan versterken). Dat zijn bv. de *elektrodynamische microfoons*, waarin een lichte spoel trilt door de inwerking van de geluidsgolven, in het veld van een magneet; wij weten, dat er onder die voorwaarden inductiestromen in de spoel ontstaan.

De microfoonstroom, een zuiver elektrisch beeld van de geluidsgolven, is van een te lage frequentie om voldoende voortplanting van elektrische golven te kunnen bewerkstelligen. Om die *laagfrequente* stroom te kunnen vervoeren door de ruimte, die de zendantenne scheidt van de ontvangantenne, moet hij samengevoegd worden met een hoogfrequente stroom, die wel het vermogen bezit golven te produceren.

### Modulatie

Op welke manier brengt men de laagfrequente stroom in de hoogfrequente stroom? Of in meer technische termen: hoe *moduleert* men de hoge frequentie door de lage? In zuivere toestand, als hij dus niet gemoduleerd is, komt de hoogfrequente stroom voor in de gedaante van een klassieke wisselstroom, zoals wij die nu goed gaan kennen (fig. 38a). De modulatie door de laagfrequente trilling heeft ten doel de gelijke waarden der amplituden van de hoogfrequente trilling te veranderen. Deze worden vergroot of verkleind met de ogenblikswaarden van de laagfrequente trilling, zodat, als men de toppen van alle halve perioden verbindt, men een lijn krijgt — de stippellijn in figuur 38c — die de vorm heeft van de microfoonstroom.

Die ongelijkheid der amplituden van de hoogfrequente trilling verbergt de laagfrequente trilling. Een stroom moduleren betekent als het ware hem „kneden”.

Het zo juist beschreven modulatiesysteem noemt men „*amplitudemodulatie*” (A.M.), want de amplitude van de hoogfrequente trillingen varieert op de maat van de laagfrequente. Men kan echter de lage frequentie ook laten inwerken op een andere karakteristiek van de hoge frequentie en wel op zijn eigen frequentie.

In de *frequentie-modulatie* (F.M.), zoals men die werkwijze noemt, blijven de amplituden van de hoogfrequente stromen constant; de frequentie ervan verandert daarentegen minder of meer rondom een gemiddelde waarde, evenredig aan de ogenblikswaarden van de modulerende laagfrequente stroom.

Later zullen wij die wijze van moduleren bespreken. Zij is alleen bruikbaar voor zeer korte golven.

### De uitzending

De zuivere (of ongemoduleerde) hoogfrequente stroom wordt opgewekt door een als generator of oscillator geschakelde buis. De *heterodyne* geeft het voorbeeld van een dergelijke schakeling en Weetal heeft gelijk gehad, lang stil te staan bij de uiteenzetting van haar werking. Zonder in verdere bijzonderheden te vervallen van de verschillende fasen uit het proces van het onderhouden der trillingen, behoeven wij ons slechts te herinneren, dat de heterodyne hoofdzakelijk bestaat uit een trillingskring, tussen rooster en kathode geschakeld en inductief gekoppeld met een spoel, die opgenomen is in de plaatkring. De afwisselende ladingen en ont-ladingen van de condensator uit de trillingskring brengen de hoogfrequente stroom

voort, die teniet zou gaan na verloop van een zeker aantal perioden (zoals in figuur 21, A), als op de juiste ogenblikken de plaatspoel niet de nodige energie inductief in de spoel van de trillingskring zou toevoeren, om de geleden verliezen weer aan te vullen. Dank zij deze voortdurend herhaalde energietoevoeging worden de eens opgewekte trillingen in stand gehouden met een constante amplitude en

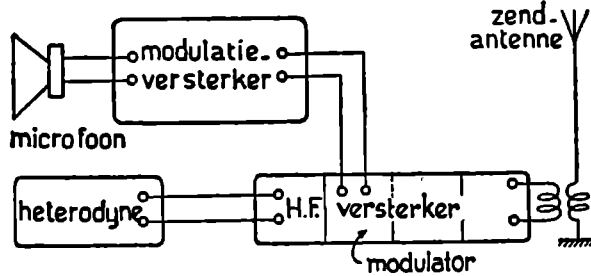


Fig. V. Samenstelling van een radiozender.

met een frequentie, die gelijk is aan de resonantiefrequentie van de trillingskring. Het is dus per slot van rekening de door de bron van de anodestroom geleverde energie, die de trillingen van de heterodyne onderhoudt. In een zender worden de tamelijk zwakke trillingen van de heterodyne, die men de *loods-frequentie* noemt, versterkt door een krachtige hoogfrequente versterker, voordat zij aan de zendantenne worden doorgegeven. Een der trappen van deze versterking is bestemd voor de modulatie, hetzij, in geval van de telegrafie, door stroomverbrekingen met behulp van een seinsleutel, hetzij — en dit is bij de telefonie het geval — door de microfoonstroom. Deze laatste is meestal te zwak om de hoogfrequente trilling te kunnen moduleren. Men versterkt hem daarom eerst in een modulatieversterker of *modulator*, alvorens hem aan de moduleertrap door te geven. En zo ziet dan het blokschema van een radiozender er uit: figuur V, terwijl in figuur 37 een tot het uiterste vereenvoudigd schema is getekend.

## TOELICHTING BIJ HET TIENDE GESPREK

### De telefoon

Terwijl de keten van de draadloze overbrenging begint met de microfoon, eindigt zij met een telefoon. Het is inderdaad de telefoon (of haar naaste en machtigste bloedverwant: de luidspreker), die de omgekeerde functie vervult van de microfoon: de omzetting van laagfrequente trillingen in geluidsgolven.

De *telefoon* (fig. VI) bestaat uit een elektromagneet met gemagnetiseerde stalen kern, die geplaatst is achter een membraan van zeer buigzaam staal. Het geheel is in een metalen doos of een doos van een of ander geperst materiaal geplaatst. De variërende laagfrequente stromen, die de wikkelingen van de elektromagneet

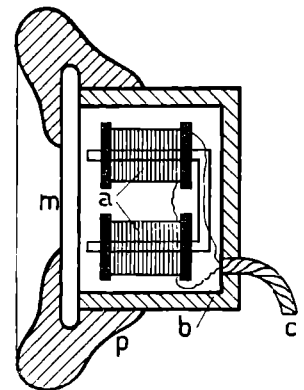


Fig. VI. Samenstelling van een telefoon. a = elektromagneet; m = membraan; p = oorschelp; b = telefoonhuis; c = snoer.



doorlopen, vergroten en verkleinen afwisselend de graad van magnetisatie van de kern, die daardoor meer of minder het membraan aantrekt. Dit buigt dan meer of minder door op de maat van de stroomvariaties en de zo teweeggebrachte trillingen worden overgebracht op de omringende luchtlagen, waarna zij zich in de vorm van geluidsgolven voortplanten. Als geen der talloze bewerkingen, die de stroom tussen de microfoon van de zender en de telefoon van de ontvanger heeft ondergaan, hem vervormd heeft, zal het door de telefoon weergegeven geluid gelijk zijn aan dat, wat aan de microfoon werd medegedeeld.

## Detectie

Het is juist de laagfrequente stroom, die de telefoon moet doorlopen. Het zou nergens toe dienen te trachten een gemoduleerde hoogfrequente stroom te beluisteren. Het te trage membraan zou weigeren op een zo hoge frequentie te gaan trillen. Als het dat, als door een wonder, toch zou doen, zou het voortgebrachte „geluid” een zo hoge frequentie hebben, dat ons oor het niet kon waarnemen . . . Maar voor alles, de hoogfrequente stroom kan niet door de wikkelingen van de telefoon lopen, die er een te hoge inductantie voor vormen. Drie redenen, elk op zichzelf reeds voldoende, brengen ons er dus toe de omgekeerde weg van de modulatie te volgen: wij dienen uit de gemoduleerde hoogfrequente stroom het laagfrequente bijmengsel te halen. Die operatie draagt de naam: *detectie*.

Om de laagfrequente component (= het samenstellende deel) van een gemoduleerde stroom vrij te kunnen maken, is het voldoende die stroom *gelijk te richten*, d.w.z. alle halve perioden in één richting te onderdrukken. Men krijgt dan stroomstoten in dezelfde richting, die elkaar op de maat van de hoge frequentie opvolgen en waarvan de amplitude varieert volgens de waarden van de laagfrequente trilling (fig. 41, B). Het is voldoende die stroomstoten op te zamelen op de platen van een condensator met geringe capaciteit, zodat deze bij ontlading door een telefoon (of iedere andere impedantie) heen, daarin een laagfrequente stroom opwekt (fig. 41, C). Zo is het algemene beeld van de detectie. Wij zullen nu van naderbij bekijken, hoe dit in praktijk wordt gebracht.

## Detectoren of gelijkrichters

Het gelijkrichten van de stroom gebeurt met behulp van een éénrichting-geleider of „gelijkrichter”. Een dergelijke geleider biedt de stroom een betrekkelijk geringe weerstand in één richting, maar een veel grotere (of zelfs oneindig grote) weerstand in de tegengestelde richting. De diode is een goed voorbeeld van een dergelijke gelijkrichter (of *detector*) met oneindig grote weerstand voor de „verboden richting”, want de elektronenstroom kan niet lopen van de anode naar de kathode. De detectoren met zg. onvolkomen of los contact, waarvan de bekendste bestaat uit een metalen punt, die op een loodglanskristal drukt, laten de stroom veel gemakkelijker in de ene richting door dan in de andere.

Weetal heeft gelijk, als hij zegt, dat iedere ongelijkheid (hetzij natuurkundig, scheikundig of meetkundig) tussen twee met elkaar in contact zijnde lichamen een ongelijke geleidendheid veroorzaakt in de beide stroomrichtingen. Daar zuivere symmetrie nooit voorkomt, kan men dus zeggen, dat alle onvolkomen contacten min of meer gelijkrichten. Het betreft hier vaak een zeer ongewenst verschijnsel.

Vandaar ook het gevaar van slecht gemaakte contacten en tevens de noodzakelijkheid bij het vervaardigen van een radiotoestel te zorgen voor volkomen contacten tussen de verbindingen door middel van met zorg uitgevoerd soldeerwerk.

Ofschoon de kristaldetector op de diode voor heeft, dat er geen gloeistroom nodig is, kan hij daarentegen slechts zeer zwakke stromen gelijkrichten. Tegenwoordig wordt hij dan ook alleen nog gebruikt in ontvangers zonder buizen die dus geen enkele versterking bevatten en waarin de zeer zwakke antennetrilling, na gelijkrichting, rechtstreeks in de telefoon terechtkomt. Die zg. „kristalontvangers” kunnen alleen voor het luisteren naar een regionale omroep worden gebruikt. Is het op zichzelf echter al niet een wonder, dat een dergelijke ontvanger mogelijk is, waarin het kleine deeltje energie, door de antenne in de ruimte opgevangen, voldoende is om het telefoonmembraan in beweging te brengen? De condensator, die dient om de stoten-in-één-richting van de gelijkgerichte stroom op te zamelen, moet een tamelijk geringe capaciteit hebben ten einde voor de laagfrequente stroom een hoge weerstand te vormen; anders zou deze er doorheen gaan. De gebruikelijke waarde is 2000 pF.

We moeten hier nog bijvoegen, dat men in de toestellen met buizen vaak detectoren met zg. half-geleiders gebruikt, zoals germanium of silicium. Ze vormen even goede gelijkrichters als de diode en hebben geen gloeistroom nodig.

### **Plaatdetectie**

De triode maakt het mogelijk gelijktijdig te zorgen voor de detectie en de versterking van de gemoduleerde stroom. Te dien einde wordt de gelijk te richten spanning aangelegd tussen het rooster en de kathode, waarbij het rooster een veel hogere voorspanning krijgt dan voor de versterking; het werkpunt moet gebracht worden in de onderste bocht van de karakteristiek. Onder die voorwaarden veroorzaken de negatieve halve perioden van de hoogfrequente spanning slechts zwakke verminderingen in de plaatstroom, terwijl de positieve halve perioden aanleiding geven tot een grote toeneming van de plaatstroom. Dit zal dus opnieuw het beeld geven van de serie eenzijdige hoogfrequente stroomstoten met een ongelijke amplitude. Een in de plaatkring geschakelde condensator, die door deze stroomstoten wordt geladen, zal ze afstaan aan de telefoon (of een andere impedantie) in de vorm van een laagfrequente stroom. Op die wijze werkt *de detectie door middel van instelling in de onderste bocht van de karakteristiek*. Zij heeft echter een versterking van het signaal ten gevolge, waarbij een hinderlijke vervorming kan optreden.

## **TOELICHTING BIJ HET ELFDE GESPREK**

### **Hoogfrequentie- en laagfrequentieversterking**

In de meeste ontvangtoestellen vindt de versterking zowel vóór als na de detectie plaats. De hoogfrequente trillingen moeten versterkt worden, opdat de aan de detector aangelegde spanning niet te zwak wordt en de detectie onder normale verhoudingen kan plaats vinden. Wij moeten onthouden, dat elke detector zijn „drempel van gevoeligheid” heeft, die bepaald wordt door de zwakste spanning, welke hij nog in staat is normaal gelijk te richten. Als derhalve de aan de detector

aangelegde spanning om de een of andere reden (bv. als de zender te zwak is of te veraf ligt) beneden die drempelspanning blijft, zal er onvoldoende detectie plaats hebben en zij zal met vervorming gepaard gaan.

De H.F.\*-versterking stelt ons dus in staat zelfs zwakke en ver verwijderde zenders te horen; zij dient bovendien voor het vergroten van de *gevoeligheid* van het toestel. Bovendien richt men het zo in, dat de *verbindingsskringen* tussen de H.F.-versterkbuizen bijdragen tot de toeneming van de *selectiviteit* van het ontvangtoestel.

De gelijkgerichte spanning is gewoonlijk te zwak om onmiddellijk aan een luidspreker te worden doorgegeven. Deze eist een vrij grote energie, hetgeen er toe leidt de laagfrequente stroom, die na de gelijkrichting is ontstaan, te versterken. Een triode versterkt met hetzelfde gemak zowel de H.F.- als de L.F.-spanningen. Aangelegd aan de ingang van de buis (tussen rooster en kathode) veroorzaakt een veranderlijke spanning variaties in de anodestroom. Indien wij de versterkte stroom nogmaals een versterking willen doen ondergaan in een tweede buis, moeten wij eerst de veranderlijke stroom in een veranderlijke spanning omzetten (transformeren).

## Transformator

Die bewerking kan op verschillende manieren geschieden. Een der gebruikelijkste is, haar toe te vertrouwen aan een *transformator*. Laten we goed onthouden, dat een transformator niets anders is dan een geheel van twee door inductie gekoppelde spoelen. Als wij een veranderlijke spanning aan een der wikkelingen aanleggen, die wij de *primaire* zullen noemen, zal in de andere wikkeling (de *secundaire*), een geïnduceerde spanning van dezelfde vorm optreden. Als de twee wikkelingen uit een gelijk aantal windingen bestaan, is de in de secundaire geïnduceerde spanning gelijk aan de op de primaire aangelegde spanning. Heeft de secundaire tweemaal zoveel windingen als de primaire, dan zal de spanning daarin het dubbele bedragen van die in de primaire, want zij kan beschouwd worden als een koppeling van twee spoelen in serie, waarvan elk hetzelfde aantal windingen heeft als de primaire; in dat geval zal elk der spoelen dezelfde spanning als de primaire opwekken en in serie worden de beide spanningen opgeteld.

In het algemeen is de verhouding tussen de spanning van de secundaire en van de primaire gelijk aan de verhouding van de aantallen hunner windingen. Bevat de secundaire meer windingen dan de primaire, dan noemen wij de transformator *spanningsverhoger*, in het tegengestelde geval *spanningsverlager*. De verhouding van het aantal windingen van de secundaire tot dat van de primaire heet de *transformatieverhouding*. Voor een spanningsverhoger ligt deze boven 1, voor een verlager beneden 1.

Aangezien ijzer een hoog magnetisch doorlatingsvermogen (*permeabiliteit*) bezit, bevatten de transformatoren voor laagfrequente stromen een ijzeren kern. Opdat zich niet te grote inductiestromen (*wervelstromen* of *foucaultstromen*) in de kern zullen ontwikkelen — zij zouden de oorzaak zijn van een ongewenst energieverlies — is de kern niet massief, doch bestaat uit dunne en onderling geïsoleerde plaatjes ijzer. De H.F.-transformatoren kunnen eveneens een magnetische kern bevatten. Maar daarbij is het, gezien de hoog opgevoerde frequentie, niet voldoende, dunne blaadjes

\* H.F. = Hoogfrequentie-, boven  $\pm 20$  kHz.

L.F. = Laagfrequentie-, beneden  $\pm 20$  kHz.

ijzer te nemen om grote energieverliezen te voorkomen: men moet de kern samenstellen uit ijzerpoeder, waarbij ieder microscopisch klein korreltje van de omringende korreltjes gescheiden moet worden door een isolerende stof.

Ten slotte is in transformatoren voor zeer hoge frequenties al het ijzer verboden. De transformatoren voor de korte en ultrakorte golven bevatten dan ook in het geheel geen ijzeren kern en worden bij voorkeur gewonden van blank draad, zonder isolatie (want verliezen ontstaan ook in isolatoren, die in een hoogfrequent elektrisch veld zijn geplaatst).

### Transformatorkoppelingen

Om als koppeling tussen twee buizen te dienen wordt de transformator als volgt geschakeld: de primaire aan de uitgang van de eerste buis, (tussen de anode en de positieve klem van de bron der anodespanning), de secundaire aan de ingang van de tweede buis (tussen rooster en kathode). Alzo veroorzaken de veranderingen in de sterkte van de anodestroom in de primaire veranderlijke spanningen in de secundaire, die dus werkzaam zijn aan de ingang van de volgende buis.

### Automatische negatieve roosterspanning

Een gemeenschappelijke bron van de anodespanning dient voor de voeding van alle buizen in het ontvangoestel. Wat de negatieve voorspanning van de roosters betreft, deze wordt verkregen door de *spanningsval*, die de anodestroom veroorzaakt in een weerstand, ingeschakeld tussen de kathode van iedere buis en de negatieve klem van de anodespanningsbron.

„Spanningsval” is de spanning, die verkregen wordt tussen de einden van een weerstand, door de stroom, die er doorheen loopt. Volgens de Wet van Ohm is die spanningsval gelijk aan het produkt van stroomsterkte (in amp.) en weerstand (in ohms)  $E = I \times R$ .

Schakelen wij dus tussen de kathode en de negatieve klem van de plaatspanning een weerstand van 2000  $\Omega$ , dan zal een anodestroom van 0,003 A daarin een spanningsval veroorzaken van

$$0,003 \times 2000 = 6 \text{ V.}$$

De stroomrichting wijst aan, dat het einde van de weerstand, dat aan de negatieve klem van de plaatspanning is verbonden, aldus negatief wordt ten opzichte van de kathode. En juist aan dat einde verbinden wij de roosterkring, zodat ook het rooster negatief wordt ten opzichte van de kathode.

Nu ontstaat er echter een nieuwe moeilijkheid. Terwijl de negatieve roostervoorspanning een zo constant mogelijke waarde moet hebben, is de anodestroom, die de spanningsval tot stand brengt, veranderlijk, ten minste als een veranderlijke spanning aan de ingang van de buis wordt aangelegd. Dus, onder die omstandigheden wordt ook de spanningsval, die voor de roostervoorspanning moet zorgen, veranderlijk. Hoe kunnen we daar nu tegen optreden?

### Scheiding van de componenten

Gaan wij nu de vorm van de plaatstroom nader onderzoeken, dan zien wij, dat, terwijl hij slechts in één richting kan lopen — daar de elektronenstroom in de buis

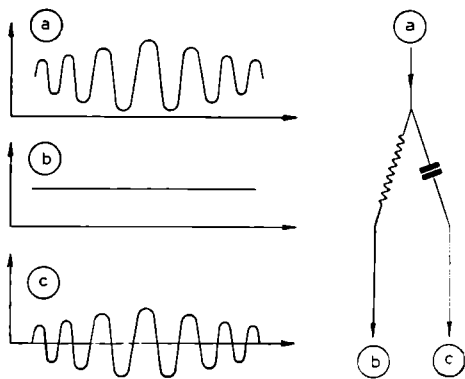


Fig. VII. Een veranderlijke anodestroom *a* kan beschouwd worden als de som van twee componenten: een gelijkstroom *b* en een wisselstroom *c*. Rechts: de schakeling om de twee componenten te scheiden.

alleen van de kathode naar de anode kan gaan — zijn sterkte varieert overeenkomstig de variaties van de roosterspanning. Bij een meer nauwkeurige beschouwing kan men vaststellen, dat de plaatstroom uit twee afzonderlijke stromen bestaat: een gelijkstroom (de *ruststroom*, bij afwezigheid van de veranderlijke spanning op het rooster) en een wisselstroom, afkomstig van de veranderingen in de roosterspanning. De wisselstroomcomponent laat de sterkte van de plaatstroom variëren rondom de waarde van de gelijkstroomcomponent; de positieve halve perioden worden er bijgeteld, de negatieve er afgetrokken. Het beeld, dat onze geest zich kan vormen over de

samenstelling van de anodestroom door hem te beschouwen als de som van een gelijk- en wisselstroomcomponent, zal ons helpen de moeilijkheid op te lossen, die ontstaan is naar aanleiding van de automatische negatieve roostervoorspanning. Ten einde deze constant te houden is het echter voldoende, dat de spanningsval uitsluitend samenhangt met de gelijkstroomcomponent van de anodestroom. Wat de wisselstroomcomponent aangaat, wij zullen hem beletten de kathodeweerstand te doorlopen, door hem af te leiden via een condensator. Wanneer deze een tamelijk grote capaciteit heeft, biedt hij de wisselstroom een veel gemakkelijker weg dan de weerstand en . . . klaar is Kees!

Een dergelijke scheiding van componenten is een zeer gebruikelijke werkwijze in de radiotechniek en wij zullen nog vele malen gelegenheid krijgen, hiertoe onze toevlucht te nemen. Men begrijpt, dat de capaciteit van de condensator des te hoger moet zijn, naarmate de frequentie lager is, opdat de capacitantie, die hij voor de wisselstroomcomponent vormt, niet te groot is. Aan de andere kant: hoe lager de kathodeweerstand is, des te groter moet de capaciteit zijn, opdat de wisselstroomcomponent er werkelijk belang bij heeft, van de weg door de condensator gebruik te maken. Zo zou Weetal het ten minste uitdrukken . . .

### Laagfrequentie- en hoogfrequentietransformatoren

Na deze uiteenzetting over de voedingsproblemen keren wij tot onze transformator terug. Wanneer hij voor de lage frequentie bestemd is, bevat hij een groot aantal windingen (enkele duizendtallen) in iedere wikkeling. Tussen de windingen vormen zich capaciteiten, evenals tussen de beide wikkelingen. Er worden verliezen geleden ten gevolge van wervelstromen en door andere oorzaken. Dat alles maakt, dat niet alle frequenties in dezelfde mate worden overgebracht: de transformator veroorzaakt een zekere vervorming. Hij moet van een zeer goede kwaliteit zijn, opdat die vervorming zo gering mogelijk blijft. Het zou ideaal zijn, als alle geluidsfrequenties op gelijke wijze werden overgebracht; maar dat is slechts een ideaal . . .

Een dergelijke eis voor de L.F.-transformator zou ontoelaatbaar zijn voor de H.F.-transformator, waar men er naar streeft één enkele frequentie te bevoordelen, nl. die van de gewenste zender, met onderdrukking van alle andere. De hoogfrequentie-transformatoren moeten dus selectief zijn. Te dien einde stemt men met behulp van variabele condensatoren een der wikkelingen (primaire of secundaire) of beide af.

### Balansschakeling

Tot besluit van het hoofdstuk over de versterking door transformatoren blijft er nog één schakeling ter bestudering over. Die schakeling is zeer bekend en verdient dat ook te zijn. Het betreft hier de zg. *push-pull* of *balansversterking*.

In deze schakelwijze (fig. 54) beïnvloedt de eerste buis  $L_1$  door de transformator  $TR_1$  gelijktijdig de beide buizen  $L_2$  en  $L_3$ , die de eigenlijke balanstrap vormen. De tekening geeft duidelijk de volkomen symmetrie van de schakeling weer, waarvan wij nu de werking zullen onderzoeken.

De roosters van de beide buizen  $L_2$  en  $L_3$  zijn doorlopend onderhevig aan tegengestelde spanningen, want als tijdens de ene halve periode de elektronen in de secundaire van  $TR_1$  van boven naar beneden gestuurd worden, wordt het rooster van  $L_2$  minder negatief en dat van  $L_3$  juist meer negatief. In de volgende halve periode heeft dan het tegengestelde plaats.

Dus, als de anodestroom van  $L_2$  toeneemt, neemt hij in  $L_3$  af en omgekeerd. De stroom- en spanningsveranderingen zijn in de beide buizen dus tegengesteld. Daarom de naam „balans”: neemt de ene toe, dan neemt de andere af.

Om de anodestromen met tegengestelde veranderingen nuttig te gebruiken, wendt men een tweede transformator  $TR_2$  aan met een aftakking midden in de primaire. De stroom van elke buis doorloopt dus slechts één helft van de primaire. Hoewel die stromen in tegengestelde richting de beide helften van de primaire doorlopen, maar aan de andere kant ook hun veranderingen tegengesteld zijn, zullen hun invloeden in de secundaire van  $TR_2$  elkaar ondersteunen en zij kunnen dus bij elkaar worden opgeteld, daar hun magnetische velden dezelfde richting hebben. Zo induceren de beide wisselstroomcomponenten in de primaire door samenwerking in de secundaire een spanning, die een stroom door de luidspreker (L.spr.) ten gevolge heeft.

Terwijl de wisselstroomcomponenten der anodestromen samenwerken, wekken de gelijkstroomcomponenten daarentegen, omdat ze van gelijke sterkte zijn, maar de beide helften van de primaire in tegengestelde richting doorlopen, tegengestelde magnetische velden op, die elkaar opheffen. Dat is dan nog een der voordelen van de balansschakeling. Door de afwezigheid van een gelijkstroomveld werkt de kern van de transformator onder de gunstigste voorwaarden, het gehele magnetische vermogen is uitsluitend van de wisselstroomcomponenten afkomstig. Het doorlatingsvermogen van het ijzer, dat toeneemt als de veldsterkte afneemt, is hier veel groter dan bij aanwezigheid van een constant veld, opgewekt door de gelijkstroomcomponent.

En zo kunnen wij nog andere voordelen opsommen. Dank zij de tegengestelde werking van de twee buizen in de balansschakeling worden bv. bepaalde vervormingen ten gevolge van de bocht in de karakteristiek (niet-lineaire vervormingen) geneutraliseerd.

## Diverse versterkingssystemen

Bij de balansschakeling kan men zelfs het werkpunt der buizen kiezen in de onderste bocht van de karakteristiek. Men kan dan volstaan met ze meer negatieve roosterspanning te geven dan onder de normale voorwaarden voor de werking der versterkbuizen, die wij hiervoor hebben onderzocht, gebezigd werd. In dit geval geven alleen de positieve halve perioden van de roosterspanning aanleiding tot overeenkomstige veranderingen van de anodestroom. De beide buizen werken dan om de beurt. In de uitgangstransformator  $TR_2$  zullen echter de complete variaties weer samengesteld worden, want de halve perioden volgen elkaar daar elk met haar eigen richting op.

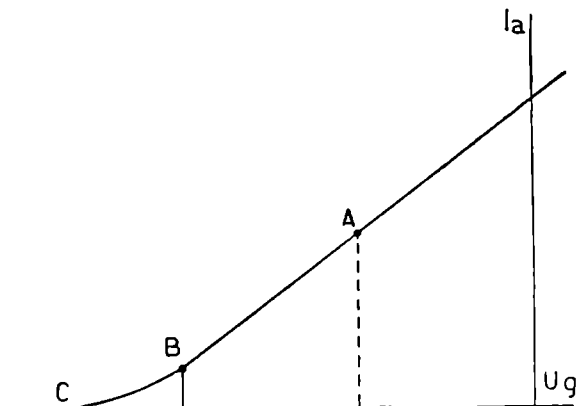


Fig. VIII. De werkpunten van versterkbuizen in de klassen A, B en C.

Bij deze werkwijze (klasse of type B) kan men aan de roosters wisselspanningen aanleggen met een veel hogere amplitude — ongeveer het dubbele — dan bij klasse A, d.w.z. in het gebruikelijke versterkingssysteem, waarbij het werkpunt bepaald dient te worden middenin het rechte lijnige deel van de karakteristiek. Bij een balansversterking in klasse B worden de buizen ten volle gebruikt en men werkt dan met groter rendement dan bij klasse A. Natuurlijk kan het werkpunt van de buizen in een balansschakeling in elk ander punt tussen A en B worden gekozen. Men zegt dan, dat de buizen werken in de klasse A/B (fig. VIII). Wij vermelden hier nog de werking in klasse C, waarbij het werkpunt links van de onderste bocht in de karakteristiek ligt en waarbij alleen de positieve halve perioden aanleiding geven tot een plaatstroomverandering. Men maakt van een dergelijke instelling alleen gebruik in sommige zenders of in meettoestellen.

## TOELICHTING BIJ HET TWAALFDE GESPREK

### Impedantiekoppelingen

In dit gesprek hebben onze vrienden de tweede groep koppelingen tussen de buizen besproken: de impedantiekoppelingen.

Het principe is eenvoudig: In de anodekring van de eerste buis wordt een impedantie geplaatst. De anodestroom veroorzaakt daarover, zoals wij weten, een veranderlijke spanningsval, omdat de stroom zelf een veranderlijke component bevat. Via een condensator van behoorlijke capaciteit wordt de veranderlijke spanning dan doorgegeven aan het rooster van de volgende buis. Tenslotte wordt de gemiddelde potentiaal van dat rooster (het werkpunt waaromheen de ogenbliksspanningen variëren) bepaald

met behulp van een *lekweerstand*, die verbonden is aan de negatieve klem van de hoogspanningsbron (— H.sp.). De waarde van de koppelcondensator, die geplaatst wordt tussen de anode van de eerste buis en het rooster van de volgende buis, moet voldoende zijn om de wisselcomponent zonder moeite te laten passeren. Voor de hoogfrequentie is 500 pF voldoende, maar voor de laagfrequentie, die minder gemakkelijk door een capaciteit gaat, moeten wij een waarde aannemen van 10 000 pF voor de L.F.-versterking.

De lekweerstand heeft gewoonlijk een waarde van enkele duizenden ohms: 0,5 M $\Omega$  is een der meest gebruikelijke waarden.

### Weerstandversterkers

Wat de impedantie van de anodekring betreft, het eenvoudigst is, die te maken van een gewone weerstand. Die oplossing wordt algemeen toegepast voor L.F.-versterking in de tegenwoordige toestellen. Voor de hoogfrequentie is zij onaanvaardbaar, daar zij voor de selectiviteit in het geheel geen voordelen biedt. Maar voor de L.F. biedt zij het voordeel, in ongeveer gelijke verhouding alle geluidsfrequenties te versterken en bovendien is zij heel gemakkelijk te verwezenlijken.

De waarde van de plaatkringweerstand is van verschillende factoren afhankelijk, vooral van de inwendige weerstand van de buis. Al naar gelang het type van de toegepaste buis bedraagt de weerstand enige tienduizenden of honderdduizenden ohm. Wij moeten vooral niet vergeten, dat ook de gelijkstroomcomponent van de plaatstroom een spanningsval in deze weerstand teweegbrengt en zulks ten koste van de werkelijke spanning tussen anode en kathode. Als dus de hoogspanningsbron er een van 250 V is, de plaatweerstand 150 000  $\Omega$  bedraagt en als de gemiddelde anodestroom 1,2 mA (= 0,0012 A) is, zal de spanningsval bedragen:

$$0,0012 \times 150\,000 = 180 \text{ V.}$$

Tussen anode en kathode blijft dan slechts 250 — 180 = 70 V over.

### Smoorspoelversterking of versterking door een inductantie

Het gebruik van een smoorspoel in plaats van een gewone weerstand maakt het mogelijk de gelijkspanningsval zeer belangrijk te verminderen, waardoor deze oplossing bijzonder geschikt wordt, wanneer men beschikt over een betrekkelijk zwakke bron voor de anodestroom.

T.o.v. de weerstandversterker heeft de versterking door een smoorspoel echter het nadeel de hoge tonen te begunstigen ten koste van de lage. Doordat de inductantie evenredig is met de frequentie, ontwikkelen de hoogste frequenties in de smoorspoel verhoudingsgewijs hoge spanningen, derhalve grote versterking van de hoge tonen. In de praktijk hebben vakkundig gemaakte L.F.-spoelen de besproken fout slechts in geringe mate; men behoeft daarom de versterking door een inductantie niet te verwerpen, omdat zij de oorzaak zou zijn van ontoelaatbare vervormingen.

### Andere impedantieschakelingen

In H.F.-kringen wordt de versterking door een inductantie zeer zelden gebruikt, want zij bevordert de selectiviteit niet. Men geeft er hier de voorkeur aan ze te vervangen door die zeer bijzondere impedantie, die gevormd wordt door een op resonantie afgestemde trillingskring. Wij hebben hier dan te doen met een koppeling



door middel van een afgestemde kring (fig. 58) met kleine gelijkstroomweerstand maar met een grote impedantie voor de wisselstromen met de resonantiefrequentie. Geen noemenswaardige gelijkspanningsval, toegenomen selectiviteit, een goede versterking, ziedaar de voornaamste eigenschappen, die voor deze schakeling pleiten, welke men wel eens „blokkeerkringen” noemt.

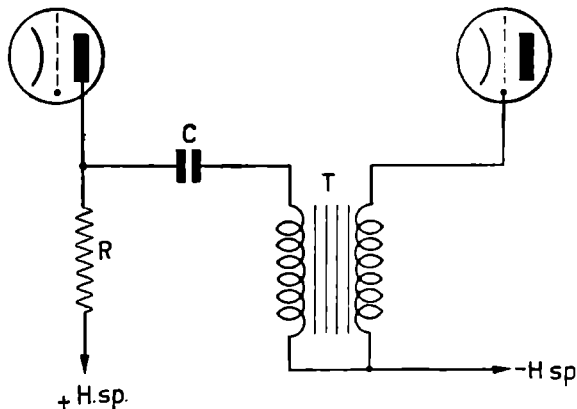


Fig. IX. Gemengde koppeling met weerstand en transformator.

spanningen op, die tussen rooster en kathode van de volgende buis komen. Het voordeel van deze werkwijze is gelegen in het feit, dat door de transformator geen gelijkstroom loopt en dus de kern onder de gunstigste voorwaarden werkt. (Dat is ook, zoals men zich zal herinneren, een der voordelen van de balansschakeling.)

### Schakelingen met de fase-omkeerbuis

En nu wij deze schakeling hebben vermeld, grijpen wij de gelegenheid aan op te merken, dat men daarbij ook gemakkelijk voor de transformator koppeling een koppeling door een weerstand en capaciteit in de plaats kan stellen. In plaats van de ingangstransformator, die tot taak heeft spanningen met tegengestelde fasen te brengen op de roosters van de twee buizen van de balanstrap gebruikt men dan een fase-omkeerbuis. De klassieke fase-omkeerbuis is schematisch voorgesteld in figuur X. Men ziet, dat de voorversterker via de condensator  $C_1$  is verbonden met het rooster van de eerste buis van de balanstrap. Tegelijkertijd wordt door  $C_3$  heen een deel van de in de weerstand  $R_1$  opgewekte spanning gelegd aan het rooster van de fase-

Wij moeten nog opmerken, dat men er soms voordeel van heeft een koppeling te gebruiken, die een combinatie is van de principes van een transformator en een weerstand, zoals die van figuur IX. In deze schakeling vertakken de twee componenten van de anodestroom zich bij de uitgang van de buis. Terwijl de gelijkstroomcomponent gebruik maakt van de weg door de weerstand R, doorkruist de veranderlijke component de koppelcondensator C en de primaire van transformator T en wekt alzo in de secundaire de veranderlijke

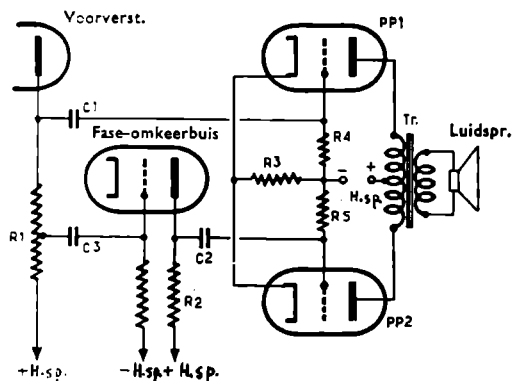


Fig. X. Balanseindtrap met fase-omkeerbuis.

omkeerbuis. Men vindt aan de uitgang daarvan over de weerstand  $R_2$  spanningen met tegengestelde (zgn. „gedraaide”) fase aan die, welke aan de ingang van die buis zijn aangelegd.

Waarom? Wel, omdat de positieve halve periode op het rooster de anodestroom doet toenemen en bijgevolg ook de spanningsval (of *spanningsdaling*) in  $R_2$ ; die spanningsval wordt nu afgetrokken van de voedingspanning, zodat de op de plaat overblijvende spanning afneemt.

En het is nu die spanning, met gedraaide fase ten opzichte van die, welke via  $C_1$  aan de eerste buis  $PP_1$  van de balans is doorgegeven, welke men aanlegt aan de tweede buis  $PP_2$ .

Het is gemakkelijk te raden, dat als men aan de fase-omkeerbuis slechts een deel van de over  $R_1$  opgewekte spanning aanlegt, dit gebeurt omdat men rekening moet houden met het versterkvermogen van die buis. Het is immers noodzakelijk, dat de aan de beide buizen van de balanstrap doorgegeven spanningen in evenwicht zijn.

Voorts moet men onthouden, dat de roosters van de twee balansbuizen voorspanning krijgen over een gemeenschappelijke kathodeweerstand  $R_3$ . Deze behoeft bovendien niet door een condensator ontkoppeld te worden, want de wisselstroomcomponenten van de twee buizen hebben tegengestelde fasen en heffen elkaar dus op.

Een andere schakeling met fase-omkeerbuis wordt gevormd door de zgn. *cathodyne*. In deze schakeling vindt men een koppelweerstand  $R_1$  aan de anode en bovendien een tweede ( $R_2$ ) aan de kathode. Het is nu makkelijk te zien, dat de aan de punten A en B door de veranderingen in de plaatstroom opgewekte spanningen ten opzichte van elkaar in fase gedraaid zijn. Tijdens een positieve halve periode op het rooster wordt, daar dan de plaatstroom toeneemt, punt B positiever en punt A negatiever. Men verbindt nu die twee punten door de koppelcondensatoren  $C_1$  en  $C_2$  met de twee buizen van de balanstrap . . . en de zaak is weer voor elkaar!

We moeten hier nog wel bij opmerken, dat een dergelijke cathodyne-schakeling geen versterking oplevert.

### Koppeling door een diode

Tot nu toe hebben wij bij de bestudering van de verschillende koppelsystemen tussen de buizen steeds verondersteld, dat de eerste buis een triode is. Al hetgeen over dit onderwerp reeds is gezegd, zou overigens even goed van toepassing zijn op buizen

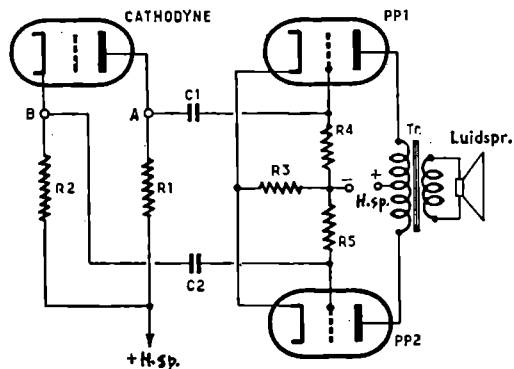


Fig. XI. In de cathodyne worden spanningen met tegengestelde fase afgenomen over de laadweerstand, die in de anodekring ( $R_1$ ) en in de kathodekring ( $R_2$ ) zijn geplaatst, ten einde ze door te geven aan de beide buizen van de balanstrap.

met meer dan drie elektroden, zoals wij die later zullen onderzoeken. Het geval van de diode dient echter apart bekeken te worden.

In hetgeen wij tot dusverre hebben besproken over de diode als detector, is steeds verondersteld, dat de gelijkgerichte stroom naar een telefoon werd geleid. De meeste ontvangtoestellen bevatten echter na de detector een of meer buizen voor de laagfrequentieversterking.

De verbinding tussen de diode en de volgende buizen geschiedt door een weerstand, die in de kring wordt geschakeld op de plaats van de telefoon (vergelijk de figuren 39 en 59). Terwijl deze weerstand de rol vervult van anode-impedantie, vertoont de verdere schakeling geen enkele bijzonderheid. Het streven naar beperking van omvang en prijs der toestellen heeft de fabrikanten er toe gebracht, gecombineerde buizen te vervaardigen, die in dezelfde bol en met een gemeenschappelijke kathode een diode en een triode bevatten, welke dienen als eerste laagfrequentieversterker. (Er bestaan zelfs buizen, die twee dioden en één pentode bevatten, zoals wij later zullen zien.)

De schakeling van een gecombineerde detector-versterkbuï is dezelfde als in het geval, dat men twee afzonderlijke buizen gebruikt (vergelijk fig. 59 en 61).

Daar de versterker behoefte heeft aan negatieve voorspanning, wordt de lekweerstand  $R_2$  verbonden aan het negatieve einde van de kathodeweerstand  $R_3$ . Maar de anode van de diode moet niet op een negatieve potentiaal gebracht worden; de anodeweerstand  $R_1$  is dan ook rechtstreeks aan de kathode gekoppeld.

### „Roosterdetectie”

In plaats van de laagfrequente spanning naar het rooster te voeren door de koppelcondensator  $C_2$  heen, kan men het rooster en de plaat van de diode samenvoegen in één enkele elektrode. Men krijgt dan een triode voor roosterdetectie, geschakeld zoals figuur 62 of de gelijkwaardige varianten in figuren 63 en 63a ons dat laten zien. Die combinatie van detectie en versterking, vroeger erg in trek, wordt ook tegenwoordig nog vaak toegepast. Zij biedt voordelen, zowel door haar eenvoud als door haar gevoeligheid. Zij is echter niet helemaal vrij van vervorming, alleen al door het feit, dat het rooster geen onveranderlijke negatieve voorspanning kan krijgen, hetgeen wenselijk zou zijn voor de werking als versterker.

Merk nog op, dat bij deze schakeling de gebruikelijke waarden voor de detectoronderdelen zijn:  $R_1$  van de grootte van 1 megohm,  $C_1$  van 50 tot 150 pF.

### Het aantal laagfrequentietrappen

Te zamen met de voorafgaande koppelkring vormt een buï een trap van een ontvangtoestel. In de balansversterking vormen de beide buizen met de uitgangstransformator toch slechts één trap.

In de tegenwoordige toestellen wordt de L.F.-versterking zelden door meer dan twee trappen verzorgd. Gewoonlijk wordt de detector gevolgd door een eerste trap, L.F.-voorversterking of eerste laagfrequentiebuï genaamd en door een eindtrap, die de eindbuï wordt genoemd; de rol van deze buï (of van beide buizen, in geval van balansschakeling), is het afgeven van voldoende energie om de luidspreker in werking te brengen. Soms wordt maar één laagfrequentietrap gebruikt, gevormd door een buï, die dan gelijktijdig zorgt voor voldoende versterking en energie.

### Terugkoppeling

In het negende gesprek hebben wij al gelegenheid gehad de uitwerking te onderzoeken van een koppeling tussen de plaat- en de roosterkring van dezelfde buis. Dank zij een dergelijke verbinding, *terugkoppeling* genaamd, beïnvloedt de plaatkring de roosterkring door daarin bij iedere verandering van de anodestroom een inductiespanning op te wekken. Die spanning kan samenvallen met de eigen trillingen van de roosterkring; om zo'n fasegelijkheid te krijgen is het voldoende, dat door de windingen van een dergelijke terugkoppelspoel de anodestroom in de juiste richting loopt.

Als de koppeling tussen de beide kringen vast genoeg is, is de in de roosterkring door de plaatkring teruggebrachte energie voldoende om de verliezen te vergoeden, die daar geleden worden en om de trillingen te onderhouden, die van deze schakeling een ware zender maken.

Maar wanneer de koppeling tamelijk los is, zal de *terugkoppeling* ontoereikend zijn om bij te dragen aan het ongedempt houden van de trillingen. Toch zal, doordat zij een groter of kleiner deel van de verliezen in de roosterkring vergoedt, de terugkoppeling het mogelijk maken de demping in die kring te verminderen. De veranderlijke spanningen, die daarin opgewekt worden door een voorafgaande buis of door de antennestroom, zullen nu dus een hogere waarde bereiken dan bij afwezigheid van de terugkoppeling.

Doordat de roosterspanning de plaatstroom beïnvloedt en deze weer terugwerkt op de roosterkring, krijgen wij een extra-versterking, die ons een kostbaar middel oplevert om een aanzienlijke gevoeligheid te verzekeren zonder dat wij onze toevlucht behoeven te nemen tot talrijke H.F.-versterktrappen.

### Detectoren met terugkoppeling = teruggekoppelde detectoren

De klassieke toepassing van de terugkoppeling wordt voorgesteld door de teruggekoppelde detector, eventueel gevolgd door een of meer trappen laagfrequentieversterking. Dit is sedert jaren een zeer algemeen schema. Het verzekert een goede gevoeligheid en een aanvaardbare selectiviteit zonder dat de getrouwheid van weergave ontoelaatbaar wordt. De versterking bereikt haar maximum, als de koppeling tot aan de uiterste grens van *genereren* wordt gevoerd, d.w.z. tot aan het punt, waarop de buis zelf trillingen zou gaan opwekken. De hele kunst van het regelen van een detector met terugkoppeling bestaat juist in het zoeken van die koppeling, die, eenmaal overschreden, aanleiding geeft tot genereren, waardoor iedere ontvangst onmogelijk wordt. Wij moeten bekennen, dat door dat verhogen van de gevoeligheid, de geluidswaergeving opgeofferd wordt, want op de genereergrens wordt de kring te selectief, hetgeen leidt tot verzwakking van de hoogste tonen (later zullen wij de oorzaak daarvan wel zien). Maar ja, wat doet een beginnend amateur al niet om Honoloeloe eens te horen . . . ?

Daar de geïnduceerde spanning afhankelijk is van de frequentie, moet voor iedere ontvangen uitzending de juiste graad van koppeling opgezocht worden. Verscheidene middelen komen daarvoor in aanmerking. Vóór alles kan men een der beide spelen

bewegbaar maken ten opzichte van de andere. Door haar dichterbij of verderaf te brengen, of ook door haar te draaien, kan men de koppeling naar verkiezing wijzigen. Men kan echter ook, door de spoelen vast te laten, de sterkte regelen van de hoogfrequente stroom, die de terugkoppelspoel doorloopt. Te dien einde deelt men de weg van de anodestroom in tweeën door in een der leidingen de terugkoppelspoel te plaatsen in serie met een variabele condensator. Deze laatste zal niet alleen de gelijkstroomcomponent van die anodestroom tegenhouden, maar ook, als hij van geringe capaciteit is, de laagfrequente component. De tweede aftakking zal deze componenten wel doorgang verlenen. Die tweede weg zal het verbindingselement met de volgende buis bevatten (een L.F.-transformator, een weerstand of een inductieve reactantie) of een telefoon; in serie zal echter een *smoorspoel* worden geschakeld, die zich dank zij de betrekkelijk hoge zelfinductie zal verzetten tegen het passeren van de H.F.-component, terwijl de L.F.-component vrij doorgang zal vinden. En dat is dan nog een scheiding van componenten, overeenkomstig aan die

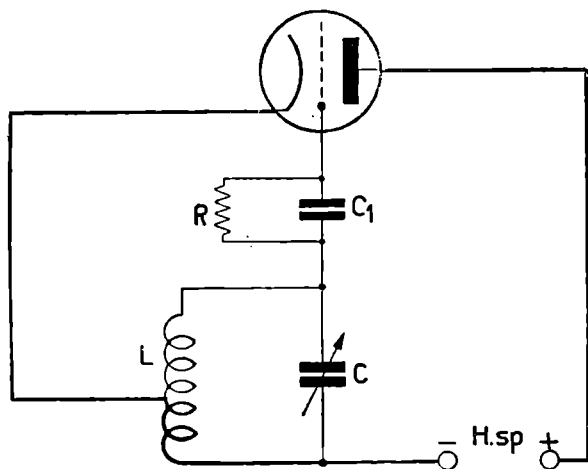


Fig. XII. Schema van de E.C.O. Het traject van de plaatstroom is met dikkere lijnen aangegeven.

fout te vervallen, deze methode „terugkoppeling door een regelbare capaciteit” of „capacitieve koppeling” te noemen. Het betreft hier altijd een terugkoppeling ten gevolge van de inductie tussen twee spoelen: de rol van de condensator beperkt zich tot die van een kraan, die de grootte van de hoogfrequente stroom regelt.

Men kan ook de werkelijke capacitieve terugkoppeling onder het oog zien, als men een variabele condensator tussen de plaat en het rooster van de buis plaatst.

De verkregen resultaten zijn echter in het algemeen misleidend. Een gecombineerde methode van inductieve en capacitieve terugkoppeling is uitgewerkt in het zg. „Hartley-schema” (fig. 68), waarbij het rooster en de plaat, zowel door de capaciteit van de afstemcondensator zijn gekoppeld, als door de inductie van de helft van de afstemspoel op de hele spoel. De regeling van de terugkoppeling wordt daarbij verzorgd door een variabele condensator  $C'$ .

van fig. VII, waartoe we in deze schakeling onze toevlucht moeten nemen.

De variabele condensator in serie met de terugkoppelspoel maakt het mogelijk de sterkte van de hoogfrequente stroom, die er loopt, naar keuze te regelen, evenals het effect van de terugkoppeling zelf. Dat is een zeer praktische methode, die een heel nauwkeurige regeling mogelijk maakt. Er bestaan verschillende varianten van, die echter alle op hetzelfde beginsel zijn gebaseerd en onderling alleen in enkele details van het schema verschillen.

Men dient er voor op te passen niet in de algemene

Met het Hartley-schema kan men dat van de oscillator met elektronenkoppeling vergelijken (fig. XII). Gewoonlijk wordt deze schakeling naar het Engels de *Electron Coupled Oscillator* of kortweg E.C.O.\* genoemd. Deze oscillator, die vaak in de heterodynes wordt gebruikt, laat niet toe, dat de graad van terugkoppeling naar behoefte wordt veranderd, want het met dikke lijnen getekende spoelgedeelte wordt door de gehele H.F.-component doorlopen. Zeker, het effect van de terugkoppeling zou regelbaar worden, als men de aftakking aan de spoel veranderlijk maakte, zodat men het aantal windingen, waardoor de stroom van de terugkoppeling loopt, kon veranderen.

### Ongewenste of parasitaire koppelingen

Terwijl de regelbare terugkoppeling vaak een zeer gewaardeerd middel biedt om het maximum-resultaat te halen uit een ontvangtoestel met een klein aantal buizen, vormt de ongevraagde of spontane terugkoppeling door storende verbindingen een der vervelendste verschijnselen uit de radiopraktijk. Die ongewenste koppelingen kunnen in drie groepen worden ondergebracht: inductieve, capacitieve en die door een gemeenschappelijke weerstand. De laatste categorie zal het onderwerp voor het volgende gesprek van onze vrienden zijn. De koppelingen door inductie of een capaciteit hebben overal plaats, waar de onderdelen van de plaatkring van een buis zeer dicht bij de onderdelen van de roosterkringen uit diezelfde buis, alsmede die van de voorafgaande buizen liggen.

Twee verbindingen, die op een gedeelte van hun baan te dicht bij elkaar liggen, vormen een condensator. Twee spoelen worden, behoudens een speciale opstelling, door inductie gekoppeld. Zelfs de elektroden van een buis vormen, ondanks hun geringe afmetingen, onderling capaciteiten en ook met de aangrenzende onderdelen van de schakeling.

Als de aldus ontstane koppelingen van de „goede” richting zijn, d.w.z. van uit de plaatkringen in de roosterkringen spanningen ten gevolge hebben, die in fase zijn met de daar reeds aanwezige, zullen er bij een zekere mate van koppeling ongewenste, spontane trillingen opgewekt worden en dan is onze ontvanger weer zender geworden! Gewoonlijk wordt dit „parasitair of wild genereren” hoorbaar door gefluit en geknars, of op zijn minst door hevige vervormingen van het ten gehore gebrachte, allemaal verschijnselen, die het toestel onbruikbaar maken.

### Afscherming

Om al die bezwaren te verhelpen, bestaan er voor de technici verschillende middelen. Het voornaamste is een oordeelkundige plaatsing van de diverse onderdelen, waarbij te lange verbindingen en slechte contacten vermeden moeten worden. Op de tweede plaats is *afscherming* van de spoelen, van de buizen en soms zelfs van hele gedeelten van het toestel belangrijk („cellenbouw”). Metalen dozen van bladkoper of aluminium dienen voor het opsluiten van spoelen en buizen. Dank zij die „kooien van Faraday” worden de elektromagnetische velden onderschept en de storende koppelingen voorkomen. De metalen buizen zijn al afgeschermd, doordat de ballons van metaal zijn.

\* Men komt hier meer op het terrein van de zendtechniek, waar Amerika de toon aangeeft, zodat men vaak Engelse benamingen zal aantreffen. (Vert.)

Zelfs moeten sommige leidingen wel eens afgeschermd worden met behulp van soepele metalen mantels. Wat de L.F.-transformatoren betreft, zij worden door dikke ijzeren „huizen” afgeschermd.

Alle afschermingen moeten verbonden worden met een punt, dat zich op een constante potentiaal bevindt, bv. de negatieve pool van de hoogspanningsbron of het metalen raam (het *chassis*) van het toestel.

### De tetrode

Men gaat zelfs zover, dat men de afscherming binnen in de buis aanbrengt tussen rooster en anode. Opdat de elektronen echter vrij kunnen passeren, heeft die afscherming het uiterlijk van een traliewerk, dat men *schermrooster* noemt. Zo zien dan de buizen met vier elektroden of de *tetroden* er uit. Om de elektronen niet tegen te houden wordt het schermrooster op een verhoogde positieve potentiaal gebracht (voor de H.F. op de helft van de plaatspanning, voor de L.F. op dezelfde potentiaal als de plaat). Op die manier bevordert het schermrooster de elektronenstroom.

Door de aanwezigheid van dit tweede rooster wordt de schadelijke capaciteit tussen de anode en het rooster praktisch tot niets teruggebracht en zo vervalt een der hinderlijkste oorzaken van het genereren. Aan dit voordeel der schermroosterbuizen kunnen wij nog toevoegen de vergrote versterkingsfactor, die tot 1000 kan stijgen.

In de tetroden is de anodestroom vrijwel geheel afhankelijk van de spanning van het voornaamste rooster (*stuurrooster* genaamd) en van de spanning van het schermrooster. Wat de plaatspanning zelf betreft, deze oefent slechts een geringe invloed uit op de plaatstroom. Onder deze voorwaarden moet de versterkingsfactor, overeenkomstig zijn definitie, wel zeer hoog zijn.

Anderzijds moet, daar de steilheid der tetroden van dezelfde grootte is als die der trioden, om aan een hoge waarde van  $K$  in de oorspronkelijke betrekking  $K = \rho \times S$  te voldoen, ook  $\rho$  hoog zijn. Inderdaad is dan ook de inwendige weerstand van de tetroden zeer hoog, zelfs wel 1 megohm.

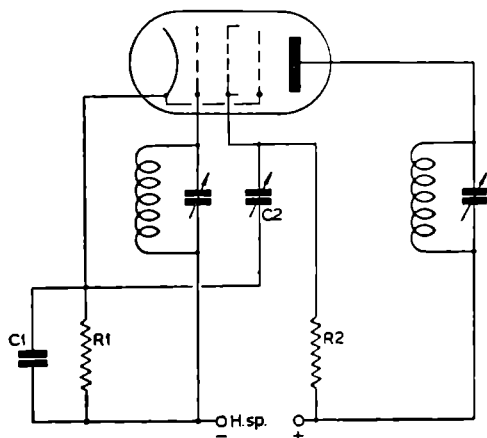


Fig. XIII. De potentiaal van het schermrooster wordt hier bepaald door de spanningsval over  $R_2$ . De variabele component wordt door  $C_2$  heen naar de kathode gevoerd.

Om de schermroosterspanning in te stellen, gebruikt men een „spanningsdeler” (ook wel potentiometer-schakeling genoemd). Men plaatst dan twee weerstanden in serie tussen de klemmen van de hoogspanningsbron. Naar gelang van de gezamenlijke waarde van die twee weerstanden zal er een sterkere of zwakkere stroom doorlopen, die in elk ervan een spanningsval veroorzaakt in verhouding tot de waarde van de weerstand. (De som der beide spanningsvallen is natuurlijk gelijk aan de spanning van de bron.) Het gemenschappelijke punt van de beide weerstanden zal zich dus op een gemiddelde spanning bevinden, die men op de gewenste waarde kan vaststellen door een juiste keuze der

weerstanden. Aan dat gemeenschappelijke punt verbinden wij nu het schermrooster (fig. 71).

Als dit er in slaagt een aantal elektronen tijdens hun beweging te grijpen, ontstaat er een zwakke schermroosterstroom. Opdat die veranderingen de stabiliteit van de schermroosterspanning niet in gevaar brengen, zal een condensator, tussen dit rooster en de kathode geplaatst, de veranderlijke component van de stroom direct naar de kathode afleiden.

In de buizen met een constante schermroosterstroom kan men de potentiaal van die elektrode ook bepalen met behulp van een lekweerstand door deze te verbinden met de positieve pool van de hoogspanning. Ook dan moet een condensator echter dienen om de veranderlijke component af te leiden naar de kathode. (Fig. XIII.)

### De secundaire emissie

Als de elektronen aan het eind van hun snelle verplaatsing de anode bereiken, zullen door deze botsing uit de atomen van de plaat elektronen weggerukt worden, die dan de ruimte worden ingesmeten. De stroom van die door de anode ten gevolge van het elektronenbombardement uitgezonden elektronen draagt de naam van *secundaire emissie*. De snelheid van deze secundaire elektronen is betrekkelijk gering en na een korte reis komen zij bij de anode terug, die, positief zijnde, aantrekkingskracht op hen uitoefent. Zo heeft tenminste een en ander in een triode plaats.

In een tetrode kan de secundaire emissie de werking van de buis echter ernstig verstoren. Dan komt de anode op een lagere potentiaal dan het schermrooster, zodat de secundaire elektronen in plaats van op de anode terug te keren, door dat schermrooster worden aangetrokken. Er ontstaat op deze wijze werkelijk een stroom van de plaat naar het schermrooster; die stroom heeft de *tegengestelde richting* van de normale anodestroom en moet er bijgevolg afgetrokken worden. Een in de plaatkring geplaatste milli-ampèremeter zal een stroomsterkte aanwijzen, die gelijk is aan het verschil tussen de normale plaatstroom en de secundaire stroom.

Onder welke omstandigheden kan dit verschijnsel zich voordoen? Of anders gezegd, hoe kan de plaatspanning lager worden dan de schermroosterspanning? Deze laatste is, bedenk dat goed, vast, maar de werkelijke spanning van de plaat varieert doorlopend, omdat van de spanning van de plaatstroombron de spanningsval afgetrokken moet worden, die ontstaat in de impedantie, welke in de plaatkring is geschakeld. Dus, als de wisselspanning aan het rooster een zekere waarde overschrijdt, kan de amplitude van de veranderingen in de plaatstroom zodanig worden, dat de spanningsval in de plaatimpedantie op de anode een lagere spanning overlaat dan die van het schermrooster. We krijgen dan het optreden van de secundaire emissie van de plaat naar het schermrooster, dat wij zojuist ontleed hebben.

### Pentode

Het middel is eenvoudig: tussen het schermrooster en de anode plaatst men een rooster, dat op de potentiaal van de kathode wordt gebracht. Dit *keer- of remrooster* zal geen remmende invloed hebben op de primaire elektronen tijdens hun snelle rit van de kathode naar de plaat. Maar, omdat zij veel langzamer zijn, zullen de secundaire elektronen door dit remrooster worden tegengehouden en zij zullen dan wel zo wijs zijn weer naar de plaat terug te keren. De zo samengestelde *vijf-elektrodenbuis* of *pentode* is dus beveiligd tegen het optreden van de secundaire emissie. Afgezien van deze kwestie bezit de pentode dezelfde eigenschappen en



voordelen als de tetrode. De pentode is tegenwoordig de meest gebruikte buis, zowel bij de H.F.- als de L.F.-versterking. In beide gevallen zorgt zij voor een zeer grote versterking. In de H.F.-versterking biedt zij bovendien nog het voordeel van een zeer geringe capaciteit tussen rooster en plaat, waardoor het parasitair of wild genereren wordt voorkomen.

## TOELICHTING BIJ HET VEERTIENDE GESPREK

### Koppeling door gemeenschappelijke impedanties

Daar de afscherming het mogelijk maakt de parasitaire koppelingen ten gevolge van de magnetische inductie of van een capaciteit te onderdrukken of te verzwakken, blijven er geen andere koppelingen over dan die, welke veroorzaakt kunnen worden door weerstanden (of algemener: door impedanties), die sommige kringen gemeen hebben.

Als door dezelfde impedantie (al was het alleen maar de hoogspanningsbron) de veranderlijke stromen van verschillende buizen lopen, veroorzaakt elk daarover veranderlijke spanningsvallen, die terugwerken op de spanningen van alle elektroden in de buizen. Al naar gelang hun fase kunnen dergelijke koppelingen, evenals de hiervoor bestudeerde, leiden tot het ontstaan van ongewenste („spontane”) trillingen, of, juist tegenovergesteld, de versterking belangrijk verminderen.

Het zijn juist de wisselstroomcomponenten, die de toepassing van de gemeenschappelijke weerstanden het meest in gevaar brengen, want wat de gelijkstroomcomponenten betreft, deze kunnen door hun stabiliteit geen enkele gevaarlijke inmenging teweegbrengen. Men richt zich dan ook om dit soort koppelingen te bestrijden, tot de wisselstroomcomponenten van de plaatstromen, aan wie een passende *ontkoppeling* het gebruik van gemeenschappelijke leidingen onmogelijk maakt, door hun een voor ieder geschikt traject aan te bieden.

### Ontkoppeling

Daar de enige taak van de veranderlijke component van de plaatstroom bestaat uit het opwekken van een veranderlijke spanning in de koppelkring, is zijn taak aan de uitgang daarvan geheel vervuld.

Het eenvoudigste is, hem dan weer zijn punt van uitgang (de kathode) te laten bereiken, hetgeen men kan bewerkstelligen met behulp van een condensator van voldoende capaciteit. Om hem te beletten van dezelfde weg gebruik te maken als de gelijkstroomcomponent, stelt men op dit traject een impedantie op, die zich tegen zijn doortocht verzet.

Wij staan hier dus opnieuw tegenover de gebruikelijke werkwijze van *scheiding der twee componenten van de plaatstroom* (fig. VII): aan de ene kant laat een condensator de wisselstroomcomponent passeren en houdt de gelijkstroom tegen, aan de andere kant verzet een weerstand of een passende zelfinductiespoel, die de gelijkstroom goed doorlaat, zich tegen de doortocht van de wisselstroom.

Voor de ontkoppeling maakt men in de aftakking voor de gelijkstroom gebruik van gewone gelijkstroomweerstand en men gebruikt deze weerstanden tevens, om de plaatspanning van elke buis op de vereiste waarde in te stellen, door middel van de spanningsval, die ontstaat in de ontkoppelweerstand.

Wat de ontkoppelcondensatoren aangaat, hun waarde moet des te hoger zijn, naarmate de frequentie der te ontkoppelen stromen lager is en naarmate de ont-koppelweerstand kleiner zijn. Voor H.F.-kringen gebruikt men condensatoren ter grootte van  $0,1 \mu\text{F}$ , hetgeen ruim voldoende is, omdat voor een frequentie van 1000 kHz (overeenkomend met een golflengte van 300 m) de capacatieve weerstand slechts 1,5 ohm is. In L.F.-kringen maakt men gebruik van ont-koppelcondensatoren van  $20 \mu\text{F}$ . Die grote capaciteit is geen overbodige luxe, want hun capacatieve weerstand bij 50 per/sec bedraagt 150 ohm.

### **De praktische uitvoering van de ont-koppelingen**

Bij de constructie van het toestel moeten de ont-koppelonderdelen zo dicht mogelijk bij de buis en bij de plaatkringimpedantie worden opgesteld, opdat de wisselstroom-componenten langs de kortste weg naar de kathode kunnen terugkeren. In de praktijk liggen de ont-koppelcondensatoren niet altijd vlak bij de kathode, maar bij voorkeur bij de negatieve klem van de hoogspanning, hetgeen de wisselstroom-component noodzaakt om o.a. de parallel aan de kathodeweerstand geschakelde condensator te passeren. Die praktijk is echter te veroordelen, want de gezamenlijke capaciteit der twee condensatoren in serie, die de stroom moet doorlopen om bij de kathode te komen, is kleiner dan de kleinste van beide condensatoren. Maar men handelt zo, omdat het gemakkelijk is alle verbindingen, die naar de negatieve klem van de hoogspanning lopen, op één leiding bijeen te brengen, die dan gevormd wordt door een dikke draad of door het metalen raamwerk; de eerste oplossing is overigens te prefereren. Merk nog op, dat ook de afschermingen van de spoelen, buizen en leidingen verbonden moeten worden met de „aarde” of de „massa”, een term, die dient om de gemeenschappelijke verbinding met de negatieve hoogspanning aan te duiden.

Nu wij het nut hebben aangetoond van de ont-koppeling, moet men onthouden, dat vele ontvangtoestellen beter werken . . . zonder ont-koppeling! Oorzaak hiervan is het feit, dat de parasitaire koppelingen een terugkoppeling kunnen veroorzaken, die wat betreft het signaal in de juiste fase is, dus versterking levert zonder dat de genereergrens wordt overschreden. Zo ziet men, dat goedkope toestellen, waarin om economische redenen de ont-koppeling is verwaarloosd een zeer grote gevoeligheid kunnen vertonen. Die tegenstrijdige ontdekking behoeft ons echter niet aan het nut van de ont-koppeling te doen twijfelen, want het is beter zich meester te maken van de terugkoppeling en ze alleen daar opzettelijk toe te passen, waar haar invloed nodig is dan haar activiteit aan het toeval over te laten.

## **TOELICHTING BIJ HET VIJFTIENDE GESPREK**

### **Voedingsproblemen**

De voeding van een ontvangtoestel maakt twee stroombronnen noodzakelijk: de hoogspanningsbron levert de anodestroom en de laagspanningsbron de gloeistroom. De eerste moet een gelijkspanning hebben van 100 tot 250 V. Wat de verhitting betreft, deze kan, uitgezonderd voor de buizen, die speciaal voor het gebruik van batterijen worden gemaakt, worden verzorgd door gelijk- of door wisselstroom.

Wij hebben al geleerd, hoe de negatieve voorspanning wordt verkregen uit de hoogspanning door de spanningsval over een in de kathodekring geschakelde weerstand. Wij zullen niet spreken over de toestellen, waarin elementen of accu's alle noodzakelijke spanningen leveren en waarin men direct verhitte buizen toepast, die een zeer zwakke stroom (met een spanning van 1,5 à 2 V) gebruiken.

### Het lichtnet heeft wisselstroom . . . .

Het meest voorkomende geval is dat van de ontvanger, die door het wisselstroomnet wordt gevoed. Een snoer met contactpennen („stekers”) dient om de stroom van een wandcontact („stopcontact”) naar de primaire van een voedingstransformator te voeren, na de netschakelaar van het toestel gepasseerd te zijn. Een goede voorzorg is het plaatsen van een zekering in deze kring, die in geval van kortsluiting, na doorsmelting de stroomtoevoer onderbreekt.

De primaire van een voedingstransformator kan enkele aftakkingen bevatten, ingericht voor verschillende netspanningen. De meest gebruikelijke spanningen in ons land zijn 110 V, 125 V en 220 V, ofschoon ook andere spanningen in gebruik zijn. Wanneer de netspanning van 110 volt niet erg constant is, doet men er goed aan om, ten einde de noodlottige gevolgen van overspanning te voorkomen, de transformator aan te sluiten op de klemmen voor 125 volt.

Gewoonlijk bevat de voedingstransformator drie secundairen: verhitte van de buizen, verhitte van de gelijkrichter en de hoogspanning. Alle drie hebben zij een aftakking in het midden, tenminste in veel gebruikte schema's. De gebruikte buizen zijn altijd buizen met twee platen „dubbelgelijkrichtbuizen” of „dubbelfasige gelijkrichters”; wil men slechts één halve periode gelijkrichten, dan kan men altijd gebruik maken van de mogelijkheid de beide anoden tot één plaat te verenigen. De buizen werden voorheen met maximaal 4 volt verhit (de Europese buizen), terwijl de Amerikaanse beneden 2,5 volt bleven. Tegenwoordig bedraagt de gloeistroom van de meeste buizen 6,3 volt. Men bedient zich hoe langer hoe meer van buizen met indirecte verhitte, waardoor het mogelijk is de leiding van de + H-sp. direct aan de kathode aan te sluiten (i.p.v. aan het midden van de secundaire).

Wat de secundaire voor de hoogspanning, die de anodestroom opwekt, betreft, de einden daarvan worden aan de platen van de gelijkrichter verbonden en het middelpunt daarvan vormt de negatieve klem van de hoogspanning. Men moet niet uit het oog verliezen, dat bij iedere halve periode de aan de gelijkrichter aangelegde spanning gelijk is aan die van de helft der hoogspanningswikkeling. Is dus de totale spanning van de hoogspanningssecundaire 600 V, dan wordt slechts een spanning van 300 V op ieder gegeven ogenblik onderworpen aan de gelijkrichtende werking; men moet dus niet rekenen op een gelijkgerichte spanning van 600 V.

De fabrikanten van voedingstransformatoren hebben de goede gewoonte, niet alleen de door de secundaire geleverde spanningen op te geven, maar ook de stroomsterkten. Men moet zich niet vergissen in de juiste betekenis van die aanwijzingen: het gaat niet om stroomsterkten, die de wikkelingen in ieder geval zullen leveren, maar heel eenvoudig zijn het stroomsterkten, die niet overschreden mogen worden op straffe van het ontstaan van een abnormale verhitte geleiders. Hoe dikker de draad is, en bijgevolg minder weerstand heeft, des te meer milli-ampères kan de door die draad gevormde wikkeling leveren, zonder merkbaar warm te worden. Om te weten te komen hoe groot het afgegeven vermogen van iedere secundaire zal bedragen, kan

men volstaan met de berekening van de totale weerstand van de kring die zij voedt en dan de Wet van Ohm toepassen.

### Afvlakking

De na gelijkrichting verkregen stroom loopt nu in één richting zonder beslist gelijkstroom te zijn. Om bruikbaar te zijn moet hij *afgevlakt* of *gezeefd* worden. Men kan een dergelijke stroom eigenlijk beschouwen als de resultante van twee samenlopende stromen: een gelijkstroom en een veranderlijke stroom. Het afvlakingsprobleem is dan terug te brengen tot het volgende: de gelijkstroomcomponent doorlaten en de wisselstroomcomponent wegwerken.

Wij hebben al gelegenheid gehad een soortgelijk probleem op te lossen, toen wij de ont koppeling bestudeerden. De oplossing bestaat uit het aanbieden van de gemakkelijke weg door middel van een condensator aan de veranderlijke component, terwijl men de andere stroomweg onmogelijk maakt voor de wisselcomponent door het inschakelen van een impedantie, die de gelijkstroom wel doorlaat. In dit geval neemt men als impedantie een smoorspoel met betrekkelijk kleine weerstand, die men in de stroombaan plaatst. (In de eenvoudigste toestellen gebruikt men hier een gewone weerstand.) De condensator, die dient om de variabele component af te leiden, wordt parallel aan de gelijkrichter geschakeld. Ten slotte voltooit een tweede condensator, aan de uitgang van de *zeefkring* geplaatst, de samenstelling daarvan en maakt het mogelijk het laatste restje van de wisselstroom, dat door de smoorspoel had kunnen heendringen, te verwijderen.

Als men behoefte heeft aan een bijzonder verzorgde afvlakking, kunnen twee zeefkringen (twee *cellen*) in serie worden geschakeld; in dat geval kunnen de twee middelste condensatoren vervangen worden door één, die de beide kringen dan gemeen hebben, en waarvan de capaciteit het dubbele moet zijn van die der buitenste condensatoren.

Daar de frequentie van de wisselstroom zeer laag is — in geval van een net van 50 per./sec krijgen we na gelijkrichting een frequentie van 100 per./sec, omdat elke periode na gelijkrichting van de beide halve aanleiding geeft tot twee volledige perioden — moeten de zelfinducties en de capaciteiten der zeefkringen betrekkelijk hoge waarden hebben. De zelfinducties kunnen enkele tientallen henry's bedragen en zij zullen bestaan uit spoelen met ijzeren kern. Wat de condensatoren betreft, daar hun capaciteit enige microfarads bedraagt, zou het gebruik van een overigens goed diëlectricum, zoals paraffinepapier, tot onoverkomelijke hindernissen leiden. Men bedient zich hier van een speciaal type: de *elektrolytische condensator*.

### Elektrolytische condensatoren

Deze soort condensatoren bevat een vloeistof of een vulmassa, die men *elektrolyt* noemt. In dat elektrolyt is een aluminium staaf of elektrode gedompeld met tamelijk groot oppervlak. Men kan dat oppervlak nog vergroten door het met een geschikte bijtende chemische stof ruw te maken. Men noemt dat *beitsen*.

Als er een spanning wordt aangelegd tussen het elektrolyt en het aluminium (dit is op een positieve potentiaal gebracht), veroorzaakt de alzo ontstane stroom de ontbinding van het elektrolyt; als gevolg van deze ontbinding omringt een laag aluminiumoxyde het aluminium en, doordat dit op die manier geïsoleerd wordt, houdt de stroom

op. Daar de dikte van die laag zeer gering is (ter grootte van 0,001 mm!) begrijpt men, hoe groot de capaciteit van deze condensator is, waarvan het aluminium en het elektrolyt de beide bekledingen voorstellen.

Merk op, dat de elektrolytische condensator in tegenstelling met die, welke wij tot nu toe hebben behandeld, gelijkspanning krijgt: het is noodzakelijk de positieve spanning aan de aluminium elektrode aan te leggen. Bij omwisseling van de polariteit loopt men gevaar hem te bederven. Aan een dergelijke condensator moet dus geen wisselspanning aangelegd worden (tenzij deze wordt gemengd met een hogere gelijkspanning, die in de goede richting is aangelegd).

Iedere soort condensator is bestemd voor een bepaalde werkspanning, die door de fabrikant wordt opgegeven en waar men niet bovenuit moet gaan. De eigenlijke capaciteit van zo'n condensator is afhankelijk van de tussen de bekledingen aangelegde spanning, zij wordt minder naar gelang de spanning toeneemt.

Als de elektrolytische condensator „doorslaat" ten gevolge van een te grote ogenbliksspanning (dat wil zeggen, als er tussen de platen een vonk overspringt), is de condensator nog niet waardeloos, want de oxydelaag herstelt zich onmiddellijk. Van de papiercondensator kan men niet hetzelfde zeggen: het papier verkoolt door de vonk, verliest aldus zijn goede eigenschappen als isolator en er ontstaat tussen de platen min of meer kortsluiting.

De elektrolytische condensatoren worden gewoonlijk uitgevoerd in metalen hulzen, die een geleidend geheel vormen met het elektrolyt en zo dienen voor aansluiting aan de negatieve klem. De gebruikelijke waarden van de capaciteit liggen tussen 8 en  $32 \mu\text{F}$ .

Men past ze niet alleen in de afvlakkringen toe maar vooral daar, waar in het laagfrequente gedeelte een ont koppeling is aangebracht en in de allereerste plaats voor de ont koppeling van de voorspanningsweerstand.

### Verhitting van de gloeidraden

Terwijl vroeger de algemeen gebruikte spanning in Europa 4 V en in Amerika 2,5 V bedroeg, zijn de beide continenten tegenwoordig overeengekomen 6,3 V aan te nemen als standaardwaarde voor verhitting door wisselstroom. Dit sluit echter niet het bestaan uit van talloze buizen, die verhit worden door wisselspanningen, die zelfs oplopen tot 110 V, waardoor het gebruik van een transformator voor verlaging van de spanning overbodig wordt. In de door wisselstroom gevoede toestellen worden de gloeidraden parallel (*shunt*) geschakeld aan de gloeidraadwikkelingen van de voedingstransformator.

De zaak ligt anders, wanneer het gaat om toestellen, die gevoed worden uit een gelijkstroomnet. Omdat men hier geen gebruik meer kan maken van een transformator die met zeer weinig verliezen de spanning van het net verlaagt tot de vereiste waarde, schakelt men de gloeidraden der buizen in serie. (Het is natuurlijk noodzakelijk, dat alle buizen met dezelfde gloeistroomsterkte tevreden zijn.) Men bedient zich dan niet alleen van buizen, die met 6,3 V verhit worden, maar ook — vooral als eindbuis — van buizen met veel hogere gloeispanningen. Als door de in serie geschakelde gloeidraden een lagere totale spanning wordt geeist dan die van het net, moet het overschot weggewerkt worden door middel van een spanningsval in een weerstand. Dus in een ontvangtoestel, dat vijf buizen bevat, waarvan er vier verhit worden met 6,3 V en een met 25 V, heeft men voor deze vijf in serie geschakelde buizen als gloeispanning nodig:  $4 \times 6,3 + 25 = 50,2 \text{ V}$ .

Heeft het net 110 V, dan moet dus  $\pm 60$  V verloren gaan. Als wij aannemen dat de gloeistroom 0,3 A is, hebben wij een „valweerstand”, d.w.z. een voorschakelweerstand nodig van  $60 : 0,3 = 200 \Omega$  (volgens de Wet van Ohm).

Klaarblijkelijk zal meer dan de helft van de energie in warmte worden omgezet in de weerstand, hetgeen deze schakeling weinig economisch maakt. Dit is een der oorzaken, waardoor de gelijkstroom minder bruikbaar is. De voorschakelweerstand wordt soms in de stroominvoer van het net geplaatst.

### Als het lichtnet gelijkstroom geeft . . . . .

Voor de plaatvoeding van ontvangtoestellen, die op gelijkstroom werken, is er geen sprake van gelijkrichting — en terecht — maar afvlakking van de stroom is niettemin noodzakelijk, want wat de elektriciteitsbedrijven gelijkstroom noemen, wordt in werkelijkheid vergezeld door een lichte golving, die een goede zeef echter zonder veel moeite kan wegwerken.

Daar wij de gelijkspanning niet kunnen verhogen, moet de spanningsval in de zelf-inductie van de zeef tot een minimum worden teruggebracht, opdat de afgevlakte spanning, die aan de platen der buizen aangelegd wordt, niet te laag is. Men maakt voor de afvlakking van de gelijkstroom dan ook afvlakmoorspoelen van tamelijk dik draad (om de gewone weerstand te verminderen), men gebruikt minder windingen en men vergoedt de te geringe zelfinductie, die hiervan het gevolg is, door het gebruik van afvlakcondensatoren met hogere capaciteit. Men is er gelukkig in geslaagd om voor spanningen van 110 V, die zij moeten onderhouden, elektrolytische condensatoren te maken met een capaciteit van meer dan  $100 \mu F$ .

### „Universele ontvangers”

Hoewel wij het nodig hebben geoordeeld zo in onderdelen de samenstelling te behandelen van toestellen, die door gelijkstroom worden gevoed, is dat niet, omdat deze toestellen zo algemeen verbreid zijn. Integendeel, het gelijkstroomtoestel wordt zeer zelden vervaardigd. Meer algemeen bekend zijn daarentegen de zgn. „universele ontvangers” (of toestellen met universele voeding), die aangesloten kunnen worden op gelijk- of wisselstroomnetten met vrijwel hetzelfde gemak als een gewoon elektrisch strijkijzer.

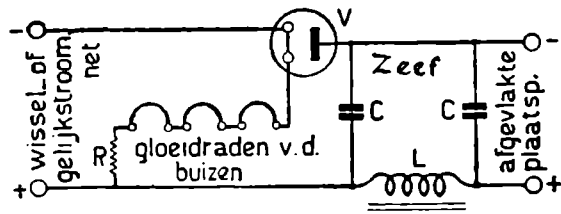


Fig. XIV. Het voedingsgedeelte van een zgn. „Universele ontvanger”.

De samenstelling van deze toestellen verschilt heel weinig van die, welke wij zojuist onderzocht hebben in verband met de voeding door gelijkstroom. In de universele ontvangers worden de gloeidraden op geheel overeenkomstige wijze verhit, ofwel in serie geschakeld met tussenplaatsing van een weerstand voor de spanningsval. Wat de hoogspanning betreft (fig. XIV), alvorens in de zeef te komen, doorloopt de stroom van het net een gelijkrichtbuis met één plaat, hetgeen men verkrijgt door de beide anoden van een dubbeldiode te verenigen. Als het net wisselstroom levert,

ondergaat deze de gelijkrichting van één halve periode en alles verloopt als in een normale hoogspanningsvoeding door wisselstroom. Heeft het net gelijkstroom, dan kunnen zich twee gevallen voordoen: óf wij hebben het ontvangtoestel zo met de hoogspanning verbonden, dat de gloeidraad van de gelijkrichtbuis aan de positieve zijde geschakeld is en dan zal er geen enkele stroom kunnen doorvloeien, waardoor de ontvanger blijft zwijgen, óf wij hebben het toestel op de juiste manier ingeschakeld en nu laten wij de gelijkstroom gemakkelijk passeren door de gelijkrichter, waar hij niet hetzelfde lot als de wisselstroom ondergaat, omdat de gelijkstroom niet gelijkgericht behoeft te worden.

Wij dienen nog te onthouden, dat de **ontvangtoestellen** voor gelijkstroom en die voor beide stroomsoorten direct met het net verbonden zijn, want er wordt geen enkele transformator tussen geschakeld. Het net kan echter een vrij hoge potentiaal hebben ten opzichte van de aarde. Men moet de aardleiding dan ook nooit aan zulke ontvangkoppelen zonder tussenschakeling van een condensator, die een gevaarlijke kortsluiting van de netspanning naar de aarde voorkomt, terwijl de H.F. van de antenne vrije doorgang heeft.

Het spreekt vanzelf, dat men de verbindingen van een dergelijk toestel nooit moet aanraken, als het onder spanning staat. Men krijgt dan een flinke schok . . . of men wordt geëlectrocuteerd. Opgepast dus!!!

## TOELICHTING BIJ HET ZESTIENDE GESPREK

### Directe versterking = directe ontvangst

De tot nu toe bestudeerde ontvangers behoren alle tot de groep ontvangtoestellen met *directe H.F.-versterking*: de *directe ontvangers*. Vóór de gelijkrichting wordt de hoogfrequente antennestroom in één of meer trappen versterkt.

Toch kan een dergelijke versterking niet te ver doorgevoerd worden, want welke voorzorgen ook genomen worden voor de afscherming en de ontkoppeling, het wild genereren is moeilijk te vermijden, als het aantal H.F.-trappen meer dan twee bedraagt. De moeilijkheden stijgen met de frequentie, en dat niet alleen uit een oogpunt van wild genereren, maar ook ten opzichte van de grootte der versterking zelf. Voor de korte golven (met een zeer hoge frequentie) bereikt men in het algemeen een minder grote versterking dan voor de langere golven. Bovendien heeft de toename van het aantal H.F.-trappen tot gevolg de vergroting van de hoeveelheid trillingskringen, die gelijktijdig afgestemd moeten worden, hetgeen niet zonder moeilijkheden van allerlei aard geschiedt.

De gevolgtrekking ligt voor de hand. Het toestel met rechtstreekse versterking moet slechts gebruikt worden, als men maar een beperkte gevoeligheid eist. Het systeem is dan ook juist geschikt in ontvangtoestellen voor regionale ontvangst. Het ontvangen van verder verwijderde zenders behoort in principe niet tot hun taak, dit moet gereserveerd blijven voor de *superheterodynes*.

## Het principe van de superheterodyne

In de laatstgenoemde schakeling begint men met de verlaging van de frequentie der H.F.-trillingen, alvorens ze aan een flinke versterking te onderwerpen; anders gezegd, welke ook de frequentie van de antennestroom is, men brengt ze terug tot een lagere frequentie, die in een bepaald toestel steeds dezelfde is en die wij de *middenfrequentie* (M.F.) zullen noemen. De versterker voor de middenfrequentie is bijgevolg voor slechts één frequentie ingericht; men behoeft dus de afstemming van de kringen niet te wijzigen bij de overgang van de ene zender op de andere en daar hij op een betrekkelijk lage frequentie werkt (maar die toch nog tot het gebied der hoge frequenties behoort) is de versterking daarin zeer groot en is het gemakkelijk de gevaren van het wild genereren af te wenden.

Nu het principe en de belangrijkste voordelen van de superheterodyne omschreven zijn, kunnen wij de middelen gaan onderzoeken, die bij de praktische uitvoering worden toegepast.

### Frequentietransformatie met twee buizen

De verlaging of, om nauwkeuriger te zijn, de omzetting van de frequentie is gebaseerd op het „zwevingsverschijnsel”, waarvan de natuurkunde talloze voorbeelden geeft bij de studie over de lichtrillingen (*interferentie*), de akoestische en de mechanische trillingen.

Als twee periodieke bewegingen met verschillende frequentie samengevoegd worden, heeft de resulterende beweging een frequentie, die gelijk is aan het verschil der oorspronkelijke frequenties. Als wij dus twee trillingen met frequenties  $f_1$  en  $f_2$  samenvoegen (*mengen*), krijgen wij een samengestelde trilling, waarvan de trillingsamplitude varieert in de frequentie  $f_1 - f_2$  (fig. 91); deze laatste frequentie, de *zwevingsfrequentie* genaamd, blijft na gelijkrichting van de samengevoegde trillingen alleen over. Aldus behandeld, raakt de frequentietransformatie in niets de modulatie, die in een der samengevoegde trillingen verwerkt kan zijn. Als wij met de gemoduleerde hoogfrequente antennetrilling de trilling met afwijkende frequentie van een hulposcillator mengen, zal de samengestelde trilling na detectie een frequentie hebben, die gelijk is aan het verschil tussen de frequentie van de antennetrilling en die van de hulposcillator, en bovendien drager van dezelfde modulatie, als de ontvangen antennetrilling.

De hulposcillator is niets anders dan een generator, die in de schakeling van het ontvangtoestel is geplaatst. De trilling daarvan kan gemengd worden met die van de antenne, als men een losse koppeling maakt tussen de afstemkring van de antenne en die van de heterodyne. Zo gebeurde het tenminste in de eerste frequentietransformatie-schakelingen (fig. 93). Deze wijze van werken heeft echter een ernstig bezwaar: de generator loopt gevaar *synchroon* te worden met de antennekring, d.w.z. hij begint op de frequentie van laatstgenoemde te trillen, in plaats van op zijn eigen. Daar de beide samenstellende frequenties dan gelijk zijn, zal de resulterende frequentie (die gelijk is aan hun verschil) dus nul zijn, hetgeen niet het gevraagde resultaat is; men spreekt dan van „meetreeffect der trillingskringen”.

Om dat te voorkomen moet iedere koppeling tussen de H.F.-afstemkring en de oscillatorkring onmogelijk gemaakt worden. Men maakt te dien einde gebruik van afscherming en ont koppeling, terwijl de trillingen gemengd worden in een buis met



twee stuurroosters, die elk bestemd zijn voor een der beide trillingen. De plaatstroom van een dergelijke buis (*mengbuis* genaamd) wordt dus gelijktijdig bestuurd door de H.F.-trilling van de antenne en door de trilling van de hulposcillator. Er is dus wel menging en daar de buis de resulterende trilling gelijkricht, vinden wij in haar plaatstroom de gezochte M.F.-component (fig. 94).

### Oscillator-mengbuizen

Dezelfde buis kan gelijktijdig de functies vervullen van mengbuis en oscillator. Het is voldoende, achter het voor de hulpstralingen bestemde rooster een kleine hulp-anode te plaatsen, waarvan de stroom door middel van een terugkoppelspoel zal dienen voor het instandhouden van de hulpstralingen. Een zo samengestelde buis zou dus een dubbeltriode worden, de eerste triode zou als oscillator, de tweede als mengbuis geschakeld worden. De capaciteiten tussen de elektroden van een dergelijke buis zouden echter voldoende zijn om koppeling tussen de kringen en diensgevolge meetrekeffect te veroorzaken. Men plaatst dan ook om het tweede rooster (het *signaalrooster*) twee schermroosters, die op een hoge positieve potentiaal zijn gebracht en zo verkrijgt men een buis met zeven elektroden: de *heptode*. Om de secundaire

emissie van de voornaamste anode te vermijden, kan men tussen die anode en het tweede schermrooster een *keer- of remrooster* plaatsen, waardoor het aantal elektroden tot acht stijgt en de *octode* gevormd wordt.

Nog andere methoden en andere schakelingen kunnen in overweging worden genomen om de dubbele functie te vervullen van oscilleren en mengen, die de frequentietransformatie eist. Zo kan een buis twee afzonderlijke groepen elektroden bevatten, die een gemeenschappelijke kathode hebben, waarvan de eerste dient voor opwekking van de hulpstralingen, terwijl de tweede groep bestemd is voor het mengen. Dit is het geval bij de triode-hexode (fig. XV), waarin de triode als oscillator is geschakeld en de *hexode* (een buis met zes elektroden) als mengbuis.

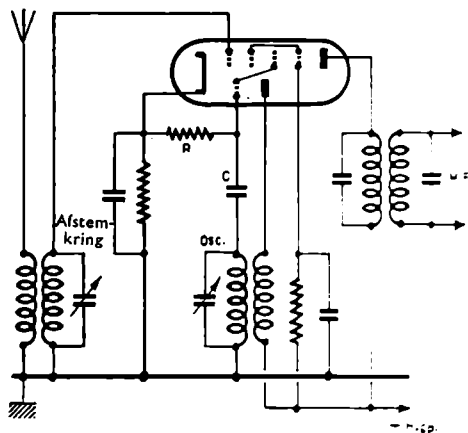


Fig. XV. Frequentietransformatie door een triode-hexode.

Onthoud nog, dat de hulpstralingen aan het derde rooster van de hexode medege-deeld worden door een zeer korte verbinding, die in de buis zelf is aangebracht. Deze buis is tegenwoordig de meest gebruikte mengbuis.

### Versterking van de middenfrequentie

De hulposcillator wordt altijd zo afgestemd, dat het verschil tussen zijn frequentie en die van de in de afstemkring ontvangen trillingen gelijk is aan de vaste waarde van de middenfrequentie. Die waarde van de M.F. is in sommige landen genormaliseerd; in Frankrijk bv. heeft men om bepaalde redenen 455 kilohertz aangenomen. Hoewel iets boven de frequenties van de zenders uit het langegolfgebied, ligt deze

frequentie beneden die der middengolven en zeer zeker beneden de korte golf en juist deze laatste twee golfgebieden hebben er de grootste behoefte aan, laten wij dat goed onthouden, dat hun frequenties verlaagd worden.

De M.F.-versterker bevat gewoonlijk één trap, soms twee, en is uitgerust met pentoden. De koppelingen worden tot stand gebracht door transformatoren met op de M.F.-trilling afgestemde primaire en secundaire. In het geval van een enkelvoudige M.F.-trap hebben wij dan vier afgestemde kringen: twee, die de koppeltransformator met de mengbuis verbinden en twee, die de versterker met de detector verbinden (want na de M.F.-versterking, wordt de trilling in de detector gelijkgericht en daarna laagfrequent versterkt).

Men kan gemakkelijk begrijpen, hoe aan de ene kant de aanwezigheid van deze vier afgestemde kringen bijdraagt tot het toenemen van de selectiviteit en hoe moeilijk overigens de regeling er van zou worden, als zij in het hoogfrequente deel waren geplaatst. Want nu worden zij hier eens en voor altijd afgestemd op de waarde van de M.F. en als de onderdelen, waaruit zij bestaan, duurzaam genoeg zijn, is er nooit een nadere regeling noodzakelijk.

Tegenwoordig bestaan de M.F.-transformatoren uit twee wikkelingen, als „honingraatspoelen” uitgevoerd, met meestal een kern van ijzerpoeder; de afstemming vindt plaats met behulp van kleine *instelcondensatoren*. Een zeer praktische uitvoering van deze laatste wordt gevormd door aan weerszijden verzilverde plaatjes mica aan te brengen, waarbij het mica de rol vervult van diëlectricum en het zilver de rol van de bekledingen (de platen). Door het afschrappen van de zilverlaag kan men de capaciteit tot de benodigde waarde terugbrengen. Andere instelcondensatoren bestaan uit dunne elastische metalen plaatjes, die door een stelschroef meer of minder samengedrukt worden. Er bestaan eveneens modellen, die in het klein uitvoeringen zijn van de variabele condensatoren.

Meestal wordt de afstemming van de M.F.-transformatoren echter niet door verandering van de capaciteit verkregen, maar door die van de zelfinductie der spoelen; de afstemcondensatoren zijn dan vaste. Te dien einde zijn de magnetische kernen regelbaar gemaakt. Zij kunnen zich binnen in de spoelen verplaatsen en beïnvloeden dan de zelfinductie.

Hoe ook de constructie der M.F.-transformatoren is, zij worden mét hun condensatoren afgeschermd, om parasitaire koppelingen door inductie te voorkomen. Terwijl de aanwezigheid van vier afgestemde M.F.-kringen — en dan tellen wij de H.F.-kringen, d.w.z. vóór de mengschakeling, nog niet mee — al bijdraagt tot de vergroting van de selectiviteit, groeit deze bovendien nog meer aan door het feit van de frequentieverlaging zelf. De uiteenzetting van dit verschijnsel, ofschoon zeer eenvoudig, valt buiten het bestek van deze toelichtingen. Het zij daarom voldoende, dat wij slechts melding maken van het feit, waaraan de superheterodynes hun hoog opgevoerde selectiviteit te danken hebben.

### **De eenknopsafstemming**

Een van de neteligste problemen, die de superheterodynes ons verschaffen, is de verwezenlijking van de *zgn. eenknopsafstemming* der hoogfrequentiekringen.

Als het gaat om een ontvangtoestel met directe versterking, komt deze wijze van regelen betrekkelijk eenvoudig tot stand: het is dan voldoende, dat alle kringen bestaan uit gelijke zelfinductiespoelen en dat zij worden afgestemd met evenveel gelijke variabele condensatoren, die op een gemeenschappelijke as zijn gemonteerd, welke

dan door één knop wordt bediend. Geringe afwijkingen (bv. ten gevolge van parasitaire capaciteiten tussen de verbindingen) worden gecorrigeerd door instelcondensatoren met kleine capaciteit, die parallel aan de trillingskringen worden geschakeld. Bij de superheterodynes wordt de eenknopsafstemming echter veel gecompliceerder. Het gaat er immers nu om de hoogfrequentiekring en de kring van de hulp-oscillator op twee afzonderlijke frequenties af te stemmen, terwijl tussen die twee een constant verschil moet blijven bestaan, dat gelijk is aan de waarde van de M.F., over het hele golflengtegebied. Dus, in een ontvanger, waarvan de M.F. is afgestemd op 455 kHz, moet de oscillatorfrequentie 455 kHz hoger (of lager) zijn dan de frequentie van de H.F.-afstemkring en wel voor alle standen van de variabele condensator en voor alle golflengtegebieden. Daar de variabele condensatoren, die de beide kringen afstemmen, dezelfde capaciteit hebben is men, om zulk een verschil tot stand te brengen, verplicht voor de H.F.- en de oscillatorkringen ongelijke zelfinducties te gebruiken. Op die manier verkrijgt men een verschil tussen de afstemfrequenties. Dit verschil blijft helaas niet constant voor alle standen van de variabele condensator. Om het echter constant te houden neemt men zijn toevlucht tot een kunstgreep, die het mogelijk maakt de variatie in de afstemming van de oscillatorkring te veranderen bij verschillende standen van de variabele condensator. Men schakelt parallel aan de variabele condensator C van de oscillator een condensatortje t, een trimmer, en met C in serie een andere instel- of bijstelcondensator p, met hogere capaciteit. Dit heet de *paddingcondensator* of liever met een Nederlands woord: *gelijkloop- of kringserie-condensator*. De schakeling van deze condensatoren kan geschieden op een der drie manieren, die in fig. XVI zijn aangegeven.

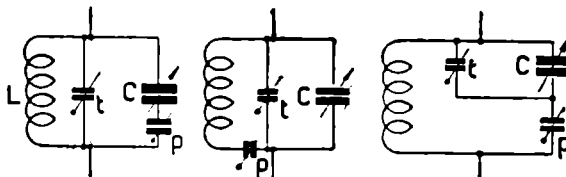


Fig. XVI. Drie schakelmethode van de trimmers t en de gelijkloop- of kringserie-condensatoren (padding) p in de afstemkring van de oscillator ten behoeve van de eenknopsafstemming.

Als wij ons de regel over de schakeling van condensatoren in serie of parallel herinneren, zien wij, dat de trimmer de capaciteit van de variabele condensator vergroot; de gelijkloopcondensator, die in serie is geschakeld, verlaagt daarentegen de capaciteit. Elk dezer bijstelcondensatoren functioneert in meerdere of mindere mate al naar gelang C in zijn begin- of eindstand is. Inderdaad, als de variabele condensator op het minimum van zijn capaciteit is gedraaid, wordt de trimmer, ondanks zijn geringe capaciteit, in verhouding zeer belangrijk, maar voor dezelfde stand van C is de rol van de gelijkloopcondensator vrijwel uitgespeeld, want in serie met de reeds geringe capaciteit van C, kan hij niets anders doen, dan die nog kleiner te maken. In de beginstand van de variabele condensator C (d.w.z. voor de hoogste frequenties of de kortste golven van een golfgebied) speelt de trimmer dus de voornaamste rol bij de

correctie van de afstemcapaciteit. Geheel anders wordt de situatie, als aan het eind van de draaiingshoek de variabele condensator zijn maximale capaciteit bereikt. Dan kan de capaciteit van de trimmer vergelijkenderwijs worden verwaarloosd. De gelijkloopcondensator oefent nu op de gezamenlijke capaciteit van het geheel echter een aanmerkelijke invloed uit, doordat hij de capaciteit van C vermindert. Met behulp van de capaciteit der twee bijstelcondensatoren (trimmer aan het begin en gelijkloopcondensator aan het eind van de draaiingshoek) slaagt men er in, eens en voor altijd aan de verandering in de capaciteit van het geheel, verkregen door ronddraaiing van de variabele condensator, het verloop te geven, dat men nodig heeft. Dientengevolge kan de variabele condensator van de oscillator nu worden geregeld door dezelfde knop als de H.F.-afstemkring.

Het spreekt vanzelf, dat de spoel van ieder golfgebied voorzien moet zijn van een trimmer en een gelijkloopcondensator. Het geheel van al die condensatoren wordt eens en voor altijd bijgesteld tijdens de bewerking, die wij het *trimmen* noemen. Door het trimmen wordt het bijgevolg mogelijk de ontvangen golven te laten samenvallen met de aanduidingen op de schaalverdeling van de afstemcondensator.

In de moderne toestellen zijn de gelijkloopcondensatoren heel vaak vaste. Dan geschiedt het trimmen door bijstellen van de kernen der spoelen.

## TOELICHTING BIJ HET ZEVENTIENDE GESPREK

### Spiegelfrequenties

Als in een superheterodyne de middenfrequentie is afgestemd op een frequentie  $F$  en de *oscillator* op een frequentie  $f$ , dan kunnen twee frequenties van golven, die de antenne bereiken, ontvangen worden: ten eerste die met een frequentie  $f + F$  en ten tweede  $f - F$ .

Inderdaad geeft het verschil tussen elk dezer frequenties en de oscillatorfrequentie de frequentie  $F$ , waarop de M.F.-versterker is afgestemd:

$$\begin{aligned}(f + F) - f &= F \\ f - (f - F) &= F.\end{aligned}$$

In een superheterodyne met op 50 kHz afgestemde M.F. kunnen wij, als de oscillator op 750 kHz is afgesteld, zowel uitzendingen ontvangen, die op 800 kHz plaats vinden (want  $800 - 750 = 50$ ) als die, welke op 700 kHz geschieden (want  $750 - 700 = 50$ ).

Wanneer nu de selectiviteit van de ingangskring niet voldoende is om één der twee bovengenoemde frequenties uit te bannen, horen wij de beide zenders tegelijkertijd. Om die hinderlijke „spiegelfrequentie” of kortweg „spiegel” te onderdrukken, moet dus de antennetrilling „gezeefd” of „gefilterd” worden door uiterst selectieve kringen. Men kan voor dat doel gebruik maken van een hoogfrequentie-voorversterking op een zodanige manier, dat de antennetrilling, voordat zij de mengbuis bereikt, niet alleen door de antenne-afstemkring versterkt en uitgezeefd wordt, maar ook door een selectieve afgestemde kring, die geplaatst wordt tussen de H.F.-versterking en de mengschakeling.

Men kan ook de antenne-afstemkring zó maken, dat door deze een ver doorgevoerde selectiviteit wordt verzekerd. Hoe dat geschiedt zullen wij later zien bij bestudering van de bandfilters of bandzeven.

### M.F. met een hoge waarde

Het probleem van de uitbanning van de spiegelfrequenties wordt echter op drastische wijze opgelost door het gebruik van M.F.-versterkers, die op betrekkelijk hoge frequenties zijn afgestemd, zoals de tegenwoordige standaardfrequentie van 455 kHz. We kunnen vaststellen, dat het verschil tussen de beide spiegelfrequenties gelijk is aan het dubbele van de middenfrequentie  $F$ :

$$(f + F) - (f - F) = 2F.$$

In het reeds eerder gegeven getallenvoorbeeld waren de spiegelfrequenties in een ontvanger met een M.F. van 50 kHz respectievelijk 800 en 700 kHz. Het onderlinge verschil was dus 100 kHz, dat is het dubbele van de M.F.

Door voor de M.F. een hoge waarde aan te nemen, verwijderen wij de spiegelfrequenties zodanig, dat als de ingangskring van de ontvanger maar enigszins selectief is, de onderdrukking van de spiegelfrequentie absoluut is. Als de M.F. 455 kHz bedraagt, is de afstand tussen de spiegelfrequenties dus 910 kHz.

Het ongewenste station is nu zo ver van het te ontvangen station verwijderd, dat men er zeker van kan zijn, dat het niet doorgelaten wordt. Bovendien is de afstand van 910 kHz in de lange en korte golfband voldoende om die spiegelfrequentie buiten de golfband te brengen, waardoor zij in een gebied komt, waarin de kans om zelfs van een krachtige zender last te krijgen op genoemde wijze, zeer gering is.

### De elektrodynamische luidspreker

Nu wij overgaan tot de bestudering van de elektrodynamische luidsprekers moeten wij beginnen met te onthouden, dat de elektro-magnetische luidsprekers tegenwoordig slechts zelden worden toegepast, nl. alleen nog in draagbare batterijontvangers of in zeer goedkope toestellen. De meest gebruikte luidspreker is de *elektrodynamische*, zelden met stroombekracting, maar meestal met een permanente magneet van staal met een hoog kobalt- en aluminiumgehalte.

De gevoeligheid van de elektrodynamische luidspreker is hoofdzakelijk afhankelijk van de sterkte van het magnetische veld, waarin het *beweegbare spreekspoeltje* of *trilspoeltje* is geplaatst. Men versterkt het veld door de luchtspleet (dat is de ruimte tussen de magneetspoelen) tot een minimum te verkleinen. Die beweegbare spoel, die zich juist in een zeer kleine ruimte moet verroeren, moet dan ook goed in de juiste stand worden gehouden om niet met de magneet in contact te komen, hetgeen aanleiding zou geven tot wrijving, waardoor het geluid vervormd zou worden. Het in de juiste positie houden van de spoel wordt verzekerd door een geperforeerd plaatje van een elastisch materiaal, dat aan de ene zijde bevestigd is aan de verbinding tussen membraan en spreekspoel, aan de andere zijde aan de magneet, hetzij aan de binnen- of aan de buitenkant van het membraan. Dank zij de elasticiteit van die verbindingsplaat, *centreerplaatje* genaamd, wordt de normale beweging van het membraan op geen enkele manier belemmerd, maar elke zijdelingse verplaatsing is uitgesloten.

Het spreekspoeltje bevat slechts enkele tientallen windingen van dun draad, die in een of twee lagen zijn gewikkeld. Het membraan wordt gewoonlijk van bordkarton gemaakt, dat geolied wordt om tegen vocht bestand te zijn. De dikte neemt af van de

top naar de basis van de kegel, die het membraan vormt. De kanten zijn gegolfd om zo een grote bewegingsvrijheid te verzekeren. De einden worden aan een metalen raampje bevestigd, dat op de magneet steunt. Vaak wordt de transformator, die dient voor de totstandkoming van de verbinding tussen de eindbuis in het ontvangtoestel en het spreekspoeltje, aan de buitenzijde van dit raampje verbonden. De primaire van deze transformator bevat soms een middenaftakking, die dient voor het aansluiten van de positieve hoogspanning in de balansversterking.

### **De voorwaarden voor een goede weergave**

De luidspreker moet gemonteerd worden op een massieve plank van betrekkelijk grote afmetingen, waarin een gat is gezaagd met dezelfde diameter als het membraan. Die plank vormt het *klankbord* en heeft ten doel te verhinderen, dat de geluidsgolven, opgewekt door de holle voorzijde van het membraan, onmiddellijk in contact komen met die, welke door de bolle achterzijde zijn veroorzaakt. Het gevolg van een dergelijke „akoestische kortsluiting” zou zijn de verdwijning van de lage tonen en de verzwakking van de middelste tonen. Door de weg van de achterste golven te verlengen waarborgt men de getrouwheid van de weergave.

Bij gebrek aan een echt klankbord kan de kast van het ontvangtoestel die functie waarnemen, op voorwaarde, dat zij groot en massief is. Helaas wordt aan deze voorwaarden zelden voldaan, want men vergeet te vaak de voorname rol, die de kast in de geluidswaergave van de ontvanger vervult. Vandaar de slechte geluidskwaliteit van een groot aantal toestellen, waarvan het elektrische gedeelte echter niets te wensen overlaat.

Een elektrodynamische luidspreker kan niet volmaakt getrouw de hele band der geluidsfrequenties weergeven. Die, waarvan het membraan een kleine diameter heeft en dus licht is, geven beter de hoge frequenties (de hoge tonen) weer. De luidsprekers met een groot membraan verrichten daarentegen hun werk beter in de lage klanken. In sommige ontvangtoestellen gebruikt men dan ook tegelijkertijd twee luidsprekers, één voor de lage en gemiddelde klanken en één voor de hoogste tonen. Met behulp van enige capaciteiten en zelfinducties scheidt men in de stroom de componenten van de overeenkomstige geluidsfrequenties, zodat naar elke luidspreker langs een afzonderlijk kanaal die component wordt doorgelaten, welke hij het best weergeeft.

### **Bekracting van de luidspreker**

Het gebruiken van meer dan één luidspreker komt vooral tot zijn recht, als men ze plaatst in een kast, die losstaat van het eigenlijke ontvangtoestel, een *akoestische box* of *luidsprekerbox* genaamd. Zo noemt men een meubel, dat speciaal is ontworpen om de goede spreiding te verzekeren van de door de luidsprekers opgewekte geluidsgolven zonder verstoring van het evenwicht tussen de diverse geluidshoogten.

De bekractingstroom wordt betrokken van het voedingsgedeelte voor de hoogspanning van het ontvangtoestel. Wanneer het een toestel betreft, dat op wisselstroom werkt en dat voorzien is van een voedingstransformator, wordt de bekractingsspoel doorlopen door de totale voedingstroom, want zij wordt in serie geschakeld, hetzij in de positieve, of in de negatieve leiding; zij kan overigens als afvlaksmoerspoel dienen, een rol, die aan deze spoel meestal wordt toevertrouwd. De stroom veroorzaakt in deze spoel natuurlijk een aanmerkelijke spanningsval, waarmee rekening moet worden gehouden bij het bepalen van de grootte der benodigde hoogspanning.

Een universele ontvanger, waarbij men over een hoogspanning beschikt, die beperkt blijft tot die van het net, kan een dergelijke spanningsval niet verdragen. Het is gewenst in die toestellen luidsprekers met een permanente magneet te gebruiken. Houdt men echter vast aan een elektro-magneet, dan zal de bekrachtingsspoel een hoge weerstand moeten hebben en zij zal parallel aan de hoogspanning geschakeld dienen te worden.

Tegenwoordig maakt men hoe langer hoe minder gebruik van luidsprekers met bekrachting. De uitstekende kwaliteit van de permanente magneet wordt verkregen door hem te harden in een zeer sterk magnetisch veld.

## TOELICHTING BIJ HET ACHTTIENDE GESPREK

### Automatische sterkteregeling

Het probleem van de regeling der geluidssterkte (of zoals men soms ten onrechte zegt: van het volume) in een ontvangtoestel blijkt bij een diepgaand onderzoek gecompliceerder te zijn dan men op het eerste gezicht zou denken. Het gaat er in werkelijkheid om de gemiddelde sterkte van de ontvangst te kunnen regelen naar de wens van de luisteraar en haar vervolgens constant op die sterkte te houden. Een variatie in de sterkte van de door de radiogolven in de antenne geïnduceerde spanning veroorzaakt namelijk al of niet gewenste veranderingen van de geluidssterkte. De *fading* (of in goed Nederlands: de *sluïering*) der golven ten gevolge van enkelvoudige of herhaalde terugkaatsingen tegen de bovenste luchtlagen van onze dampkring

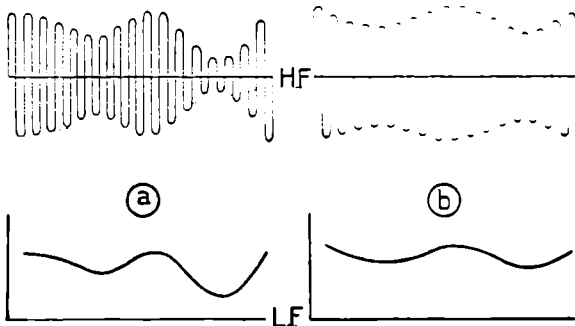


Fig. XVII. De uitzending a is dieper gemoduleerd dan b. In het onderste gedeelte van de tekening zijn de gelijkgerichte stromen weergegeven.

is een steeds weerkerende oorzaak van schommelingen in de sterkte van het inkomende signaal. De sterkte der ontvangen signalen kan echter even goed veranderen in een draagbaar, verplaatsbaar toestel (bv. in een autoradio) ten gevolge van de verplaatsing van de ontvanger ten opzichte van ijzerconstructies; bv. het passeren van een ijzeren brug of het rijden tussen twee gebouwen van gewapend beton wordt merkbaar door een hoorbare verzwakking van het geluid.

De inrichting, die vermindering van de gevolgen der schommelingen in het inkomende signaal mogelijk maakt en die men wel eens met een lelijk woord de *fadingcompensatie* noemt, moet echter omschreven worden met de meer algemene aanduiding *ontsluïering* of nog liever: *automatische sterkteregeling*. In vele handboeken duidt men dit kortweg met de afkorting A.S.R. aan.

Een ideale regeling moest het mogelijk maken dezelfde geluidssterkte voor alle ontvangende signalen automatisch te verkrijgen. In de praktijk zou de automatische sterkeregeling een dergelijke stabiliteit van de geluidssterkte alleen kunnen verzekeren op voorwaarde, dat alle zenders dezelfde *modulatiediepte* hadden.

Wat bedoelt men hiermee? Zoals men in fig. XVII ziet, kan een hoogfrequente stroom meer of minder diep gemoduleerd worden door een stroom met geluidsfrequentie. De beide hoogfrequente stromen in deze tekening hebben dezelfde maximumamplitude. Die bij a is echter dieper gemoduleerd dan die bij b. Na de gelijkrichting geven de twee gemoduleerde stromen aanleiding tot de laagfrequente stromen, die in het onderste gedeelte van de tekening zijn weergegeven, waarbij men kan zien, dat de stroom bij a, die dieper gemoduleerd is, een sterkere laagfrequente stroom opwekt dan die bij b.

### **De noodzakelijkheid om met de hand af te stemmen**

De functie van alle automatische sterkteregelingen beperkt zich tot het constant houden van de aan de detector aangelegde hoogfrequente spanning, zodat de aanwezigheid van zo'n regeling niet dezelfde geluidssterkte garandeert voor alle stations. Het kan dus gebeuren, en dat komt vaak voor, dat een ver, maar diep gemoduleerd station krachtiger wordt gehoord dan een nabije, zwak gemoduleerde zender.

Het voornaamste doel van de sterkteregeling is het op peil houden van de geluidssterkte van een bepaalde ontvangst tijdens de gehele luistertijd. De aanwezigheid van zo'n automatische sterkteregeling sluit dus geenszins de noodzakelijkheid uit van het met de hand regelen van de geluidssterkte, waardoor het mogelijk wordt de geluidssterkte tot de gewenste omvang op te voeren, welke ook de modulatiediepte is. Daar deze sterkteregeling met de hand in niets de spanningen aan de ingang van de detector mag beïnvloeden, die uitsluitend door de automatische sterkteregeling bepaald worden, moet deze „regeling met de hand” in het laagfrequente deel van de ontvanger worden geplaatst. Gewoonlijk gebruikt men hiervoor een *potentiometer*, die ons in staat stelt in een ingangskring aan het rooster van de volgende buis een groter of kleiner deel van de beschikbare spanning aan te leggen. Meestal neemt men reeds van de weerstand van de detectorkring zelf een deel van de gelijkgerichte spanning af.

### **Een hydraulische vergelijking**

Nu wij de werkingssfeer van de automatische sterkteregeling hebben bepaald, kunnen wij het grondbeginsel ervan bestuderen.

Volgens dit principe vindt de regeling plaats, door een door het gelijkgerichte middenfrequente signaal veroorzaakte spanning mede te delen aan de roosters der buizen, die aan de detector voorafgaan, zodanig, dat de versterking afneemt, als de sterkte van het inkomende signaal toeneemt. Een zeer eenvoudige vergelijking met de hydraulica zal ons helpen de betekenis van deze definitie te begrijpen.

De sterkte der signalen aan de ingang van de ontvanger wordt voorgesteld door het niveau van de vloeistof in een bak A (fig. XVIII). De vloeistofspiegel in vat D stelt de aan de detector aangelegde spanning voor. Men ziet, dat een buis voor de verbinding zorgt tussen de beide vaten en dat een kraan V aan de vloeistof gelegenheid geeft uit vat D weg te stromen.

Als onze installatie beperkt bleef tot de beschreven onderdelen, zouden niveauperanderingen in A eveneens niveauperanderingen in D tot gevolg hebben (het sluierings-effect). Maar er is een reguleur gemaakt om het niveau in D constant te houden. Deze bestaat uit een drijver E, verbonden aan een hefboom, die in het scharnier C



wordt vastgehouden en die een stop P ondersteunt. Als nu ten gevolge van stijging van het niveau in A eveneens het niveau in D rijst, drukt de drijver E, die eveneens omhoog gaat, de stop P naar boven, zodat de vloeistoftoevoer afneemt en het niveau in D direct daalt. Men begrijpt, dat het niveau in D praktisch constant blijft. In een ontvangtoestel met A.S.R. veroorzaakt een vergroting van het inkomende signaal eveneens een vergroting van de gelijkgerichte middenfrequente stroom. Die stroom veroorzaakt dan weer in een weerstand een spanningsval, die als voorspanning aan de roosters van één of meer voorgaande buizen wordt medegedeeld, ten einde daarin de versterking te verminderen.

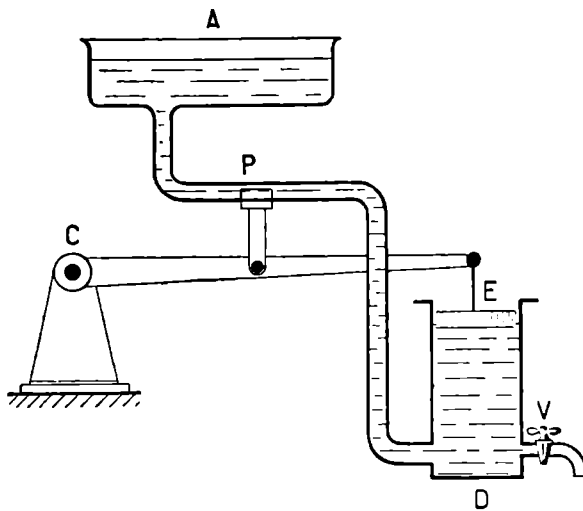


Fig. XVIII. Een hydraulisch toestel, dat veel overeenkomst vertoont met de automatische sterkteregeling.

Ons interesseert echter per slot van rekening alleen de doorgestroomde hoeveelheid vloeistof of, wat de radio betreft, de uiteindelijke geluidsterkte. In de hydraulica hangt het vermogen van ons toestel niet alleen af van de niveaus, maar ook van de aard van de vloeistof en vooral van het soortelijk gewicht. Hebben we maar met één vloeistof te doen, dan blijft de hoeveelheid, die de kraan V per seconde laat passeren, gelijk, hoe ook de spiegel in A is. Maar laten we er nu eens kwik dan weer olie doorvloeien, dan zal de afgegeven hoeveelheid per seconde niet meer dezelfde zijn voor beide vloeistoffen. Dan verleent de kraan V zijn bemiddeling, die in laatste instantie voor iedere vloeistof de afgegeven hoeveelheid kan bepalen.

Om nu tot ons radio-onderwerp terug te keren: de aard van de vloeistof — en de aandachtige lezer heeft dat al geraden — komt overeen met de modulatie diepte en de kraan V vervult de rol van de regelknop voor de geluidsterkte, die wij in het L.F.-deel van ons toestel hebben geplaatst.

Merk nog op, dat de hydraulische reguleerder tenslotte alleen de vermindering van de wegstromende hoeveelheid vloeistof kan regelen en aldus een niveaustijging in D kan verhinderen. Als om de een of andere reden het niveau in A te laag werd, zou het niveau in D gelijkelijk dalen, zonder dat de reguleerder iets tegen die daling kon uitrichten. Hetzelfde is ook bij de radio het geval. *De automatische sterkteregeling kan alleen de gevoeligheid van de ontvanger in meerdere of mindere mate reduceren.* De automatische sterkteregeling veroorzaakt derhalve een ware „nivellering naar beneden”. Zij moet alleen toegepast worden in ontvangtoestellen, die beschikken over een behoorlijke reserve in de gevoeligheid.

Het is dus, en daar kunnen wij niet genoeg op wijzen, de spanning zelf, die door de

versterkte signalen op de detector wordt opgewekt, welke zorgt voor de automatische sterkteregeling. Die spanning moet constant blijven. Zodra zij dreigt te veranderen, hetzij toenemend of afnemend, gaat zij op de eerste buizen inwerken door hun versterking te veranderen en door er aldus de gevolgen van de schommelingen in het ontvangen signaal te neutraliseren.

### Buizen met veranderlijke steilheid

Door verandering van de steilheid kan men de versterking wijzigen van de buizen, die vóór de detector zijn geplaatst. De steilheid is, zoals wij hebben geleerd tijdens het onderzoek van de buiskarakteristieken, alleen constant in het rechte deel van de kromme. Zodra de voorspanning de onderste bocht van de karakteristiek (de „staart”) bereikt, neemt de steilheid af om tenslotte nul te worden op het ogenblik, waarop de plaatstroom zelf tenietgedaan wordt door een grote negatieve voorspanning. Alle buizen, die onderworpen zijn aan de werking van een automatische sterkteregeling, hebben een bijzondere karakteristiek: met *variabele of veranderlijke steilheid*. De verandering van de steilheid ten gevolge van de verandering in de voorspanning neemt er snel toe. De kromme vertoont geen scherpe bocht meer, zodat over de gehele karakteristiek een klein deel van de kromme gemakkelijk met een rechte lijn kan worden vergeleken. Op die manier zal, waar ook het werkpunt ligt en zolang het slechts om geringe amplituden van de roosterspanning gaat, de vervorming ten gevolge van de bocht geen betekenis hebben. Hoe hoger de volstreekte waarde van de negatieve voorspanning is, des te geringer zal de steilheid en dus de versterking zijn. Als wij derhalve de voorspanning van een buis binnen zekere grenzen wijzigen, kunnen wij de versterking van die buis laten variëren tussen de hoogste waarde en een zodanig gereduceerde waarde, dat het in werkelijkheid meer een verzwakking dan een versterking betreft.

### De werking van de A.S.R.

Die regeling van de versterking vóór de detectie (die tenslotte niets anders is dan een regeling van de gevoeligheid van het toestel) zou met de hand verricht kunnen worden, bv. door middel van een potentiometer (of, met een nog niet algemeen gangbare Nederlandse naam, *spanningsdeler*), die de potentiaal van het rooster bepaalt, of, wat op hetzelfde neerkomt, die van de kathode. Bij de A.S.R. wordt die regeling echter verkregen door de noodzakelijke voorspanning vooraf van de detector te betrekken. Men vindt inderdaad in punt X van een diodedetector (fig. 106) een L.F.-spanning, die op elk moment evenredig is aan de gemiddelde sterkte der inkomende signalen.

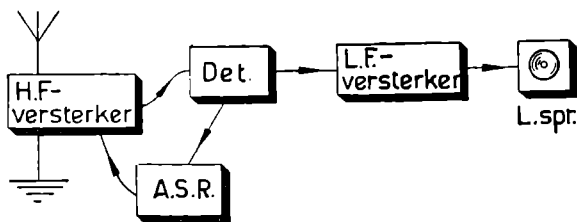


Fig. XIX. Blokschema van een met A.S.R. uitgerust ontvangtoestel.

Die negatieve spanning zal dienen om aan de roosters der eerste buizen negatieve voorspanning te geven, zodat deze ingeschakeld zijn in de automatische sterkteregeling. Merk nog op, dat de normale negatieve voorspanning van deze buizen wordt verzekerd door het gebruikelijke procédé van een spanningsval in weerstanden, die tussen

de kathoden en de negatieve hoogspanningsbron zijn geplaatst. De spanning van de A.S.R. wordt hier nu bijgevoegd en regelt de voorspanning der roosters zo, dat de versterking van elke buis in meerdere of mindere mate wordt teruggebracht.

Als door de sluiering de sterkte van de door de antenne opgevangen signalen afneemt, neemt ook de in punt X gelijkgerichte spanning af; de hoge negatieve voorspanning van de buizen wordt nu minder, waardoor zij meer versterken en op die manier de gevolgen van de sluiering opheffen.

### De tijdconstante

De taak van de A.S.R. bestaat uit het constant houden van de geluidssterkte. Het gaat er natuurlijk niet om de sterkte van alle geluiden tot op één waarde te vervlakken, waardoor de muziek van al haar nuances beroofd zou worden. Integendeel, het contrast tussen de *pianissimi* en *fortissimi* moet binnen de grenzen van het bereikbare gehandhaafd worden. Maar de *gemiddelde sterkte* van het beluisterde moet gestabiliseerd worden.

Om dat te bereiken dient echter vermeden te worden, dat de ogenblikveranderingen in de sterkte der signalen (bv. wegens een luide passage in de muziek) de versterking van de buizen voor de automatische sterkteregeling kunnen beïnvloeden. Men voorkomt de sterkteregeling op die snelle veranderingen door in de keten voor de onmiddellijke overbrenging van de regelingsspanning een kring op te nemen, die een *tijdconstante* bezit. Deze kring wordt gevormd door een grote weerstand, die men in serie met deze keten plaatst en door een condensator, die vervolgens de wisselstroomcomponenten van de spanning naar een punt met vaste potentiaal (bv. de — H-sp.) afleidt. Men zal de overeenkomst opmerken tussen een dergelijke schakeling en de zeefkring voor de hoogspanning.

Aldus geschakeld besteden een weerstand van  $R$  ohm en een condensator van  $C$  farad  $R \times C$  seconden om een spanningsverandering door te laten. Bv.: een weerstand van  $500\,000\ \Omega$  en een condensator van  $0,1\ \mu\text{F}$  (dat is  $0,000\,000\ \text{rF}$ ) hebben een tijdconstante van  $500\,000 \times 0,000\,000\ \text{s} = 0,05$  of  $\frac{1}{20}$  seconde.

Alle variaties dus, die sneller zijn dan  $\frac{1}{20}$  seconde, zullen door die combinatie van weerstand en condensator worden tegengehouden. De in de radiotoestellen voorkomende geluidsfrequenties liggen echter alle boven de  $20\ \text{per.}/\text{sec}$ ; de sterktevariatiën ten gevolge van de sluiering zijn daarentegen, behoudens een enkele uitzondering, veel minder snel. De ogenbliksspanningen, die ontstaan door de allerlaagste tonen van de muziek, zullen dan ook niet de geringste invloed hebben op de versterking voor de gelijkrichting; de door de sluiering veroorzaakte spanningsschommelingen zullen echter door de schakeling met tijdconstante heen gaan en op de juiste wijze de versterking van de buizen beïnvloeden.

### Vertraagde automatische sterkteregeling

Tegenwoordig bevatten de detectorbuizen gewoonlijk twee dioden, die een gemeenschappelijke kathode hebben. Daardoor is het mogelijk de twee functies van detectie en automatische sterkteregeling te scheiden. Zoals fig. 108 aangeeft, is de bovenste diode voor de detectie bestemd; wat de onderste betreft, deze ontvangt de hoogfrequente spanning door een condensator  $C'$  van geringe capaciteit en de spanningsval van de in weerstand  $R'$  gelijkgerichte stroom levert de spanning voor de A.S.R. Zo beschouwd geeft het gebruik van een dubbeldiode echter geen enkel bijzonder voordeel. De toepassing ervan wordt daarentegen zeer interessant bij de totstandkoming

van de *vertraagde automatische sterkteregeling* (gewoonlijk afgekort tot V.A.S.R.). Zo noemt men een wijze van regeling, die eerst in werking treedt, als de sterkte der inkomende signalen een zekere minimale waarde heeft overschreden. Wat is het nut van een dergelijke inrichting?

De gewone automatische sterkteregeling, zoals wij die nu juist hebben beschreven, treedt in werking, zodra de antenne maar het geringste signaal heeft opgevangen; in dit geval betekent „in werking treden”: de gevoeligheid van de ontvanger verminderen. Welnu, in het geval van zwakke geluiden komt dit ons niet erg te pas.

Ten einde de ontvangst van verre of zwakke uitzendingen op die wijze niet te verzwakken, is het noodzakelijk, dat de automatische sterkteregeling alleen voor signalen, die een bepaald niveau te boven gaan, begint te werken. Wij *vertragen* de werking van de regeling of schorten haar op, zodat zij pas begint te werken voor signalen die in staat zijn op de detector een zekere spanning op te wekken, welke wij de „vertragingsspanning” noemen. Dat is het doel van de *vertraagde automatische sterkteregeling*. De verwezenlijking is heel eenvoudig (fig. XX). Ten einde de spanning van de sterkteregeling alleen te laten ontstaan voor signalen, die een zekere sterkte

overschrijden, wordt de plaat van de onderste diode negatief gemaakt ten opzichte van de kathode. Die voorspanning wordt verkregen door een spanningsval, die de anodestroom van het triodegedeelte uit een gecombineerde buis veroorzaakt in een weerstand  $R_1$ , die tussen de kathode en de negatieve hoogspanningsbron (— H-sp.) is geplaatst. De spanning  $e$ , die optreedt tussen de kathode en een daartoe dienstig gekozen punt van die weerstand, maakt de onderste anode negatief ten opzichte van de kathode en wel zodanig, dat de signalen, die aan de diode lagere spanningen dan  $e$  ontwikkelen, geen enkele stroom zullen opwekken en bijgevolg in het geheel geen spanningsval in  $R_1$  veroorzaken. De gelijkrichting en de opwekking van een spanning voor de A.S.R. kunnen niet plaats hebben, voordat de spanning, die in de diode wordt opgewekt door de signalen, hoger zal zijn dan de vertragingsspanning  $e$ .

De automatische sterkteregeling treedt op die manier pas voor de sterkere signalen in werking, terwijl het ontvangtoestel ten opzichte van de zwakkere een maximum van gevoeligheid biedt.

Men zal in fig. XX opmerken, dat de bovenste diode (die bestemd is voor de gelijkrichting in verband met het verkrijgen van de L.F.) niet door een vertragingsspanning wordt beïnvloed — die daar ook geen bestaansreden zou hebben — want de detectieweerstand  $R$  is rechtstreeks aan de kathode gekoppeld. In het schema is deze weerstand  $R$  overigens als spanningsdeler geschakeld en dient voor het met de hand regelen van de geluidsstrekte.

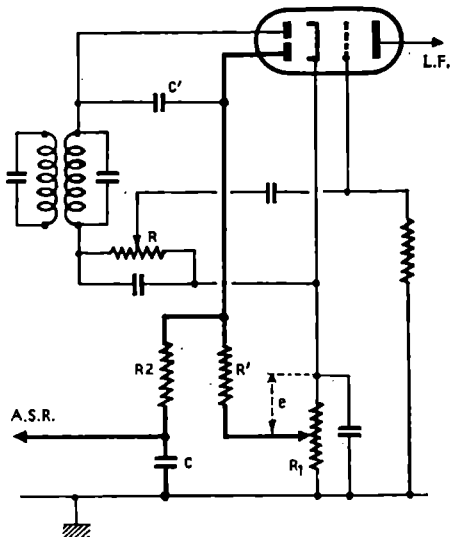


Fig. XX. De *vertraagde automatische sterkteregeling*. Het voornaamste gedeelte van de schakeling is met dikke lijnen aangegeven. De spanning  $e$  veroorzaakt de vertraging.

## Geluidloze of stille afstemming

Wanneer een van een automatische sterkteregeling voorzien ontvangtoestel niet op een of andere zender is afgestemd, is de gevoeligheid het grootst; het ontvangt dan met een maximale gevoeligheid alle elektrische storingen, welke de ether aanvoert en die het gevolg zijn zowel van de elektriciteit in de dampkring (atmosferische storingen), als van ontelbare elektrische toestellen en machines voor de industrie, de huishouding en de geneeskunde. De industriestoringen ontstaan vooral door vonken in elektromotoren, generatoren, elektrische bellen e.d. Die storingen veroorzaken in de ontvanger een zeer onaangenaam geknetter, als men de condensatorknop draait op zoek naar een zender en de tussenruimte tussen twee zenders passeert.

Om de luisteraars het bezwaar van die hinderlijke geluiden te besparen, heeft men in sommige toestellen een inrichting voor stille afstemming (voor „afstemrust”) aangebracht, die alle ontvangst uitsluit, zolang het toestel niet op een zender is afgestemd. Wij zullen de verschillende systemen, die hiervoor worden toegepast, niet uitvoerig bespreken. De voornaamste zijn gebaseerd op de invloed van de spanning der automatische sterkteregeling op een der L.F.-buizen. Deze wordt tijdens de afwezigheid van signalen „dichtgedrukt”, door een bijzonder hoge voorspanning, zodat het toestel zwijgt. Wanneer de ontvanger echter op een zender is afgestemd, dient de dan opgewekte spanning van de A.S.R. voor de opheffing van de „dichtgedrukte toestand” der L.F.-buis, daar zij de voorspanning tot op de normale waarde terugbrengt. Om de waarheid te zeggen, wordt die stille afstemming niet erg vaak toegepast, want de werking voldoet zelden ten volle en geeft zelfs vaak aanleiding tot ernstige vervormingen.

### De zichtbare of visuele afstemindicator (= het afstemmoog)

Wel zeer verbreid zijn daarentegen de zgn. *zichtbare afstemindicatoren* of — eenvoudiger gezegd — de *afstemogen*, die het mogelijk maken een ontvanger op een bepaalde zender af te stemmen na eerst de knop voor de geluidsregeling op minimumgeluidsterkte geplaatst te hebben; is de afstemming op die wijze uitsluitend op het oog — dus niet op het gehoor — verricht, dan regelt men zonder bijgeluid de geluidsterkte tot de gewenste hoogte.

Er bestaan twee soorten van zichtbare afstemindicatoren.

Ten eerste de eenvoudige milli-ampèremeters, die men schakelt in de anodekringen van de buizen voor de automatische sterkteregeling. Als bij de juiste afstemming de spanning der A.S.R. haar maximum bereikt, ontvangt de buis haar hoogste voorspanning en loopt de plaatstroom tot het minimum terug. Het is die minimumsterkte, die, aangegeven door de milli-ampèremeter,

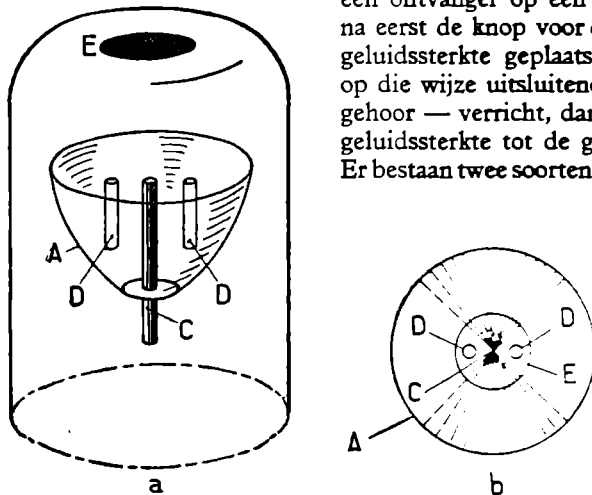


Fig. XXI. Het afstemmoog van terzijde (a) en van boven (b) gezien. C = kathode, A = fluorescerende anode, D = afbuigstaven, E = ondoorzichtig scherm.

de juiste afstemming nauwkeurig aantoont. De meest verbreide categorie der zichtbare afstemindicatoren (de zgn. *afstemogen*) is gebaseerd op het beginsel der kathodestraalbuizen, zoals die in de televisie worden gebruikt. In die kathodestraalindicatoren (fig. XXI) hebben wij een kathode C, die elektronen uitzendt en een anode A, die op een positieve potentiaal is gebracht en die de vorm van een halve eierschaal heeft. De binnenwand van de anode is bedekt met een fluorescerende laag, d.w.z. een stof, die lichtgevend wordt onder de inwerking van een elektronenbombardement. Een waarnemer, die voor de top van de buis staat, ziet de oppervlakte van de anode gelijkmatig verlicht; een zwart scherm E verbergt voor hem bovendien het licht, dat afkomstig is van de gloeiende kathode.

Zo zou tenminste de voorstelling zijn als er niet een of meer afwijkelektroden D (de zgn. *afbuigplaatjes*) in de baan der elektronen waren geplaatst, bestaande uit kleine staafjes. Deze afbuigstaven D worden ten opzichte van de anode op een hogere of lagere negatieve potentiaal gebracht, en daardoor dwingen zij de elektronen, doordat zij ze afstoten, min of meer van hun normale baan af te wijken. Ieder afbuigplaatje veroorzaakt dus op de anode een „schaduw”, die breder of smaller is, al naar gelang die elektrode meer of minder negatief wordt ten opzichte van de anode.

Zo zien wij dan, als er twee staafjes zijn, twee brede schaduwen (fig. XXIIa), indien zij sterk negatief ten opzichte van de anode zijn of twee uiterst smalle schaduwen, (fig. XXIIb), als de afbuigplaatjes bijna op gelijke potentiaal met de plaat zijn.

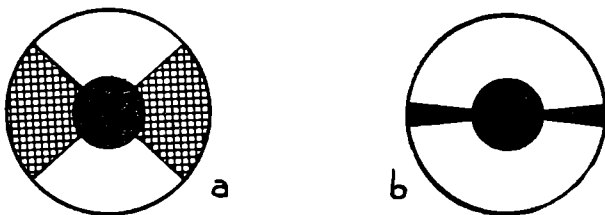


Fig. XXII. a. = *Schaduwsectoren van een niet afgestemde ontvanger*; b = *op het ogenblik der juiste afstemming*.

Dit is nu het principe van de werking van het *afstemmoog* of *toveroog*, ook wel eens kathodestraalklaverblad genaamd, al naar gelang het aantal veroorzaakte schaduwvlakken.

Men heeft al wel geraden, dat de potentiaal van de afbuigelektroden bepaald wordt door de spanning der A.S.R. Deze wordt eerst door een triode versterkt (fig. XXIII). De in de plaatweerstand R opgewekte spanning wordt dan aan de afbuigelektrode D van het afstemmoog aangelegd. Op het ogenblik der juiste afstemming is de spanning der A.S.R. het meest negatief. Dan is de stroom van de triode zeer zwak, de spanningsval in R heeft geen betekenis meer en de elektrode D bevindt zich bijna op dezelfde potentiaal als de fluorescerende anode. De schaduwvlakken worden smal . . . en dan weten wij, dat wij de juiste afstemming hebben bereikt.

De schakeling van de versterker en die van het eigenlijke afstemmoog worden in de praktijk in dezelfde ballon ondergebracht, zoals het schema van fig. XXIV aangeeft, dat gelijkwaardig is aan dat van fig. XXIII. De waarde van de weerstand R ligt tussen 1 en 2 megohm.

Dank zij het afstemoog kan men voor een uiterst nauwkeurige afstemming zorg dragen, hetgeen een onmisbare voorwaarde is voor een vervormingsvrije weergave van het geluid.

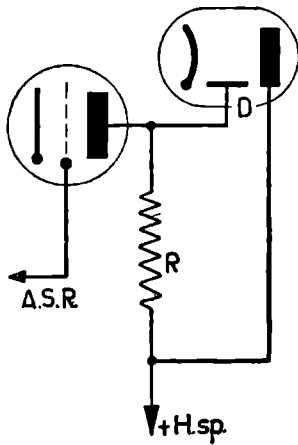


Fig. XXIII (links). De door een triode versterkte spanning van de A.S.R. veroorzaakt tussen de elektroden D en de anode van het afstemoog de afbuigspanning, die voor de werking van het oog nodig is.

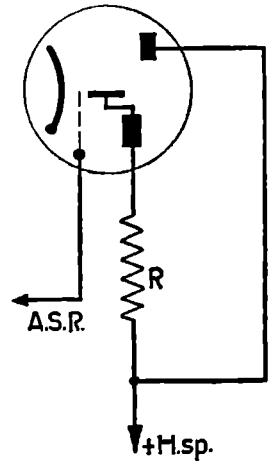


Fig. XXIV (rechts). De praktische schakeling van een zichtbare afstemindicator, waarbij de beide elektrodenstelsels in dezelfde ballon zijn ondergebracht (vergelijk fig. XXIII).

Tegenwoordig maakt men de afstemmen met dubbele gevoeligheid. Het ene schaduwvlak verdwijnt pas onder inwerking van sterke geluiden, het andere reeds bij tamelijk zwakke. Het eerste dient dus voor de afstemming op nabije zenders, terwijl het andere het opsporen van veraf gelegen stations vergemakkelijkt.

## TOELICHTING BIJ HET NEGENTIENDE GESPREK

### Verschillende soorten van vervormingen

Het doel, waarop sedert vele jaren alle inspanning der technici is gericht, is het verkrijgen van een volmaakt getrouwe geluidswaergave. Ideaal zou het natuurlijk zijn, als wij uit de luidspreker precies dezelfde klanken kregen, als die, welke in de studio van de zender de microfoon bereiken, d.w.z. zoals de advertenties beloven: *high fidelity!* Zonder dat zulk een volmaakte oplossing kan worden bereikt, naderen de onderzoekers haar meer en meer, doordat zij van dag tot dag de verschillende oorzaken van de vervorming hoe langer hoe meer wegnemen. Als wij de geluidskwaliteit van de tegenwoordige ontvangtoestellen vergelijken met wat wij een jaar of twintig geleden voor een goede waergave hielden, zullen wij moeten erkennen, dat er veel vooruitgang merkbaar is.

De vervormingen hebben een zeer verschillend aanzien. Wij kunnen *lineaire vervormingen* onderscheiden, die hoorbaar worden door ongelijkheid in de waergave van de verschillende geluidsfrequenties; in het merendeel der middelmatige toestellen worden de lage en de hoge tonen verzwakt in verhouding tot de middelste tonen. Aan de andere kant kent de lezer reeds het bestaan van de *niet-lineaire vervormingen*

ten gevolge van de bocht in de karakteristiek van de buizen. Zij beïnvloeden tegelijkertijd het verband tussen de sterkte en de vorm van de trillingen zelf; die vervorming openbaart zich door het ontstaan van bijgeluiden, die in het oorspronkelijke geluid niet aanwezig waren. Voorts kunnen nog andere geluiden van vreemde oorsprong aan het beluisterde worden toegevoegd: *brom* van het net wegens onvoldoende afvlakking van de hoogspanning of wegens storende inductie; *ruis* ten gevolge van onregelmatigheden in de elektronenemissie van de kathoden en ten gevolge van de warmte-ontwikkeling in de leidingen; tenslotte zijn er nog de atmosferische en mechanische storingen.

Een diepgaande bestudering van dit vraagstuk leidt tot de onaangename gewaarwording, dat alle onderdelen van een ontvangtoestel opgevat moeten worden als oorzaken voor het doen ontstaan van vervormingen; zowel in het H.F.-gedeelte als in de detector en in het L.F.-deel kunnen vervormingen optreden. Men staat verbluft, als men ontdekt, dat, ondanks de duizenden gevaren, die de trillingen bedreigen in elk gedeelte van hun weg, het hun toch gelukt hun oorspronkelijke zuiverheid geheel te bewaren . . . .

### Modulatiezijbanden

De vervormingen in het H.F.-deel (waaronder begrepen de M.F.-versterking in de superheterodynes) kunnen het gevolg zijn van de te grote selectiviteit der afstemkingen.

In onze gesprekken hebben wij tot nu toe aangenomen, dat de door de antenne ontvangen hoogfrequente trilling slechts één frequentie heeft, nl. die van de ongedempte trilling van hoge frequentie, die als draagster van de laagfrequente modulatie optreedt. Welnu, een dergelijke al te simpele opvatting komt niet met de werkelijkheid overeen.

Het moduleren van de H.F. door L.F.-trillingen staat gelijk met frequentie-omzetting, zoals wij dat bij de superheterodyne hebben bestudeerd. Daar hebben wij echter slechts een deel van de verschijnselen uitgelegd, waartoe de menging van twee trillingen met ongelijke frequenties aanleiding geeft. Als wij in werkelijkheid twee stromen met frequentie  $F$  en  $f$  mengen, treedt in de resulterende stroom niet alleen een component met frequentie  $F - f$  op (hetgeen wij al wisten), maar ook een component, waarvan de frequentie  $F + f$  is. Indien wij dus een hoogfrequente draagtrilling met frequentie  $F$  moduleren door een geluidstrilling met frequentie  $f$ , scheppen wij aan weerszijden van de frequentie  $F$  twee componenten  $F - f$  en  $F + f$ , die symmetrisch zijn ten opzichte van  $F$ . Die twee frequenties worden de *modulatie-zijfrequenties* genoemd.

Bij de overbrenging van het gesproken woord of van muziek hebben wij echter niet slechts met één frequentie  $f$  te maken, maar met een hele frequentieband, die zich uitstrekt tot 10 000 of 16 000 per./sec. Aldus ontstaan rondom de draagfrequentie  $F$  *modulatiezijbanden*, die de gehele frequentiebreedte bestrijken tussen  $F - f$  en  $F + f$ , derhalve een breedte van  $2f$ .

Bv.: een uitzending op 1 000 000 Hz (golflengte 300 m) die gemoduleerd wordt door muziekkfrequenties tot 10 000 Hz zal alle frequenties omvatten tussen 990 000 en 1 010 000 Hz, dus een bandbreedte van 20 000 perioden.



## Goede geluidswaergave en selectiviteit

De meest nabije draagfrequentie van een andere zender moet er ten minste 2f van verwijderd zijn, wil er geen interferentie plaats hebben tussen de frequenties van de zijbanden. In het hierboven gegeven voorbeeld moet de zender, waarvan de frequentie het meest nabij ligt, afgestemd zijn op 980 000 of 1 020 000 Hz; in het eerste geval gebruikt hij de frequenties tussen 970 000 en 990 000 Hz; in het tweede geval van 10 010 000 tot 1 030 000. Om een groot aantal zenders te kunnen plaatsen in de voor de radio-omroep gereserveerde frequentiebreedten, heeft een internationale overeenkomst de totale breedte, die de zijbanden van een zender mogen innemen, bepaald op 9000 Hz. Onder deze voorwaarden moeten de geluidsfrequenties dus de 4500 Hz niet te boven gaan. Door deze beperking wordt de radio-ontvangst uit een oogpunt van getrouwe waergave een armzalig familielid van de gramfoon en van de geluidsfilm, die, niet bedreigd door zulke beperkingen, veel hogere muziekfrequenties kunnen waergeven.

Het is buitengewoon prettig, dat men op de korte golf en vooral op de ultrakorte golf niet aan dezelfde beperkingen gebonden is. Vandaar dat de kwaliteit van het geluid, dat de televisiebeelden begeleidt en dat op de metergolven wordt uitgezonden, opvallend beter is dan datgene, wat men op de lange of middengolven ontvangt. Maar ook met de beschikbare 4500 Hz kan men een goede kwaliteit van de waergave bereiken op voorwaarde, dat er in de ontvanger zelf niet beknibbeld wordt op de hoge modulatiefrequenties. Dit is nu juist het noodlottige verschijnsel, waartoe al te selectieve kringen aanleiding geven. Doordat zij slechts een smalle frequentieband kunnen doorlaten, verzwakken of onderdrukken zij alle andere modulatiefrequenties.

Zeker, niets is eenvoudiger, dan een kring minder selectief te maken; om hem te dempen kan men volstaan met verliezen te veroorzaken in een parallel geschakelde weerstand, zodat de kring daaraan een zekere stroom afstaat. Behalve het verlies aan gevoeligheid, dat hiervan het gevolg is, hebben wij dan echter geen voldoende selectiviteit meer om de ontvangst te vermijden van uitzendingen op aangrenzende frequenties.

Het dilemma wordt opvallend duidelijk, als men de resonantiekrommen bestudeert. Deze krommen geven de veranderingen aan in de sterkte van de stroom, die in een trillingskring ontstaan onder invloed van een frequentieverandering van die stroom. Hoewel gering buiten de resonantiefrequentie, bereikt deze spanning bij de resonantie haar maximum.

Als we die krommen op een rechthoek plaatsen, die een zender met zijn zijbanden voorstelt zien wij, dat een weinig selectieve kring (fig. 111) zijn resonantiekromme de bandbreedte, die ons interesseert, aanmerkelijk laat overschrijden en derhalve de trillingen van andere zenders evenzo doorlaat. Als de kring echter te selectief is (fig. 112) „snijdt” hij de hogere frequenties der zijbanden af.

## Bandfilters of bandzeven

De oplossing wordt gevonden in het gebruik van samengestelde kringen, die de naam van *bandfilters* of *bandzeven* dragen en waarvan de resonantiekrommen de ideale vorm benaderen, nl. die van een rechthoek; over hun hele breedte van 9000 perioden ontzien zij de geluidsfrequenties en buigen daarna vrij steil naar beneden om geen aangrenzende zenders te laten passeren.

Een bandfilter (ook wel *bandkering* genoemd) bestaat uit twee gekoppelde trillingskringen. Al naar gelang de koppeling los, middelmatig, vast of zeer vast is, zal de resonantiekromme een der vormen van fig. XXV hebben. De dubbele piek, die de

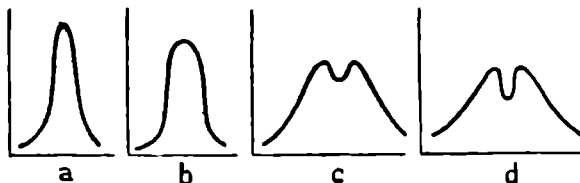


Fig. XXV. Twee afgestemde, gekoppelde kringen geven aanleiding tot een der vier resonantiekrommen, die hier zijn getekend. a = losse koppeling; b = middelmatig; c = vaste koppeling; d = zeer vast.

vaste of zeer vaste koppeling karakteriseert, treedt pas na een bepaalde graad van koppeling op: de *kritische* koppeling. Ongeveer bij deze graad van koppeling heeft de resonantiekromme van de bandfilter de vorm, waarbij men tot het beste compromis komt tussen selectiviteit en goede geluidswaergave. De koppeling van beide kringen kan op verschillende manieren worden gemaakt: door inductie tussen de spoelen (zo maakt men de M.F.-mengtrappen), door een capaciteit, door een combinatie van deze twee methoden of ook door een gemeenschappelijke impedantie (de capacitantie, de inductantie of ook die twee te zamen).

De bandfilters worden toegepast als antenne-afstemkring of als koppelkringen tussen H.F.- en M.F.-buizen.

### Veranderlijke selectiviteit of variabele bandbreedte

De breedte van de doorgelaten band is afhankelijk van de mate van koppeling. Door deze regelbaar te maken, kunnen wij naar verkiezing de bandbreedte wijzigen van de door de bandkering doorgelaten frequenties. Op die manier verkrijgt men de *veranderlijke selectiviteit* of *variabele bandbreedte*, die het mogelijk maakt de ontvanger aan te passen aan de meest uiteenlopende voorwaarden voor de ontvangst. Om een verre zender te beluisteren, die gevaar loopt door een sterke zender gestoord te worden, voert men de selectiviteit tot het maximum op, op gevaar af de goede muziekwaergave op te offeren. Men is daarentegen verzekerd van maximale muziekwaergave (door de koppeling vaster te maken), als het beluisteren van een krachtige en nabije zender slechts een middelmatige selectiviteit noodzakelijk maakt.

### Vervormingen in het L.F.-gedeelte

De vervormingen, die in het laagfrequente deel van een ontvanger ontstaan, behoren hoofdzakelijk tot de groep der niet-lineaire vervormingen ten gevolge van de bocht in de buiskarakteristieken. Die kromming bestaat zelfs in wat wij bij de eerste beschouwing het „rechtlijnige” deel van de karakteristiek hebben genoemd. Voor zover het om geringe amplituden van de roosterwisselspanningen ging, was het volkomen gerechtvaardigd het betrokken deel van de karakteristiek met een rechte lijn te vergelijken. Maar in de L.F. — en vooral ten aanzien van de eindbuis — staan wij tegenover betrekkelijk hoge wisselspanningen en daar doet de bocht in de karakteristiek zich gelden door een zekere vervorming van de plaatstroom.

Een diepgaand onderzoek van het verschijnsel toont aan, dat de vormverandering van de plaatstroom zich uit door het optreden van *zgn. harmonische* geluiden, d.w.z. van tonen met het dubbele of drievoudige van de oorspronkelijke toonfrequentie. De zo veroorzaakte harmonische tonen tasten de zuiverheid van de klanken aan en schaden de getrouwheid van de weergave.

### Tegenkoppeling

Het voorgestelde middel behoort tot die soort, welke kwaad met kwaad geneest. Om de vervormingen van de laagfrequentie-versterker te onderdrukken of op zijn minst te verzwakken, brengt men er vervormingen in van dezelfde aard als die, welke hij zelf voortbrengt, maar dan in tegengestelde richting, zodat zij elkaar opheffen.

Waar halen wij nu overeenkomstige vervormingen als die van de versterker zelf vandaan? Het eenvoudigste en veiligste is, ze af te nemen aan de uitgang van die versterker en ze van daaruit aan de ingang mede te delen, maar in fase tegengesteld aan de spanningen, die de vervormingen, als ze versterkt worden, doen ontstaan.

Zo zijn wij dan aangekomen bij het principe van de *tegenkoppeling*, want wij doen niets anders dan een tegenkoppeling maken, als wij van de uitgang van een buis (of van een hele versterktrap) een deel van de beschikbare spanning nemen en die bij de ingang er weer inbrengen, maar dan met tegengestelde fase.

Het ideaal zou zijn, van de uitgang slechts zoveel spanning te betrekken, als de vervormingen opwekken. Het spreekt echter vanzelf, dat die spanning niet te scheiden is van de totale spanning. Wij brengen dus een min of meer zwak gedeelte ( $e$ ) van de totale uitgangsspanning naar de ingang van de versterker terug en maken dat in fase tegengesteld aan de spanning  $E$ , die daar is aangelegd (fig. XXVI). Wat gebeurt er dan? Daar zij tegengesteld is, wordt de spanning  $e$  van  $E$  afgetrokken, zodat wij aan de ingang van de versterker nog maar een spanning  $E - e$  over hebben. Dat is niet erg, want die vermindering kan vergoed worden door een toereikende versterking van het geheel. Het is wel interessant, dat wij in de spanning  $E - e$  vervormingen hebben, die in spanning  $E$  niet bestonden en die nu worden aangelegd in de tegengestelde richting van die, waarin zij in de versterker ontstaan. Het gevolg is een belangrijke vermindering van de vervorming.

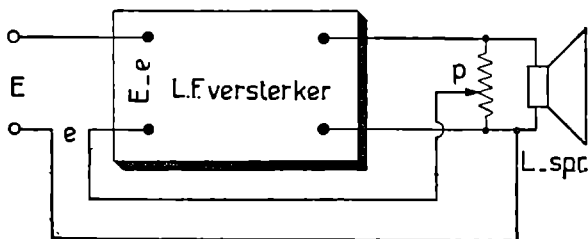


Fig. XXVI. Blokschema van de tegenkoppeling. De benodigde hoeveelheid uitgangsspanning wordt opgenomen met behulp van de spanningsdeler  $p$ .

Wij moeten wel direct opmerken, dat de tegenkoppeling het ons niet mogelijk maakt de vervormingen totaal op te heffen, daar wij aan de uitgang een beetje vervorming moeten hebben om dat aan de ingang weer toe te voeren.

Doordat de spanning  $E$  aan de ingang wordt teruggebracht tot  $E - e$  door een gedeelte  $e$  van de uitgangsspanning, vermindert de tegenkoppeling tot op zekere hoogte de versterking van de schakeling. Zij mag dus slechts toegepast worden bij gebruik van een buis met een voldoende versterkingsreserve, zodat de eindbuis ondanks die vermindering aan de luidspreker het gewenste vermogen kan doorgeven.

### Tegenkoppeling op de eindbuis

Hoe komt de tegenkoppeling praktisch tot stand?

Daar de voornaamste vervormingen in de eindbuis ontstaan, past men de tegenkoppeling soms alleen op deze laatste toe. In dat geval is het eenvoudigste middel het verbinden van de plaat van de eindbuis  $L_2$  (fig. XXVII) met de plaat van de voorversterker  $L_1$  met behulp van een weerstand  $R$  van hoge waarde (1 of 2 M  $\Omega$ ). Door deze weerstand heen keren de wisselspanningen, die in de primaire van de uitgangstransformator aanwezig zijn, gedeeltelijk naar het rooster van de eindbuis terug, waarbij zij de koppelcondensator  $C$  passeren.

Men moet onthouden, dat wij hier evenals in het blokschema van fig. XXVI te maken hebben met een spanningsdeler (potentiometer), die de uitgangsspanning zodanig verdeelt, dat slechts een deel terugkeert. In fig. XXVII bestaat de potentiometer aan de ene kant uit de weerstand  $R$ , aan de andere kant uit drie parallel geplaatste weerstanden: de inwendige weerstand  $\rho$  van buis  $L_1$  en de weerstanden  $R_1$  en  $R_2$  (die drie weerstanden zijn ter ene zijde

aan de anode van  $L_1$  gekoppeld en ter andere zijde aan de + of - H-sp., hetgeen van de wisselstroom gezien op hetzelfde neerkomt). Daar de gelijkwaardige weerstand van de parallel geschakelde  $\rho$ ,  $R_1$  en  $R_2$  gering is in verhouding tot  $R$ , wordt er slechts een klein deel van de uitgangsspanning aan het rooster van  $L_2$  aangelegd.

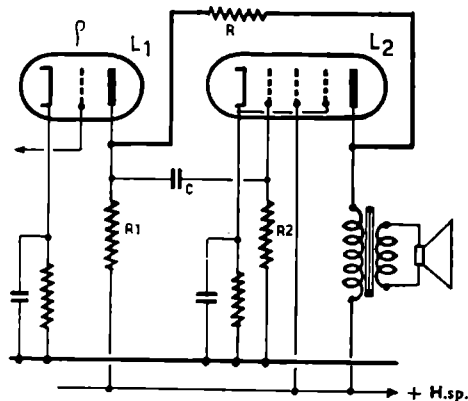


Fig. XXVII. Tegenkoppeling op de L.F.-versterker door middel van een weerstand  $R$  tussen de platen van de twee buizen.

### Tegenkoppeling met „klankkleurregeling”

Als men tegenkoppeling wil toepassen op de beide buizen, die tezamen de L.F.-versterker van een ontvangtoestel vormen, is het wenselijk de benodigde spanning te betrekken van de secundaire van de uitgangstransformator, die, zoals men zich zal herinneren, een spanningsverlager is. Men legt die spanning aan de eerste buis aan door middel van een weerstand  $R_1$  van geringe waarde (10 of 20 ohm), die geschakeld wordt tussen de kathode en de kathodeweerstand (fig. XXVIII). De kathode is dan bevorderd tot de rang van stuur-elektrode voor de spanning van de tegenkoppeling. Soms maakt men van deze schakeling gebruik om tegelijkertijd de weergave van de hoge en lage tonen te verbeteren, die gewoonlijk verzwakt worden ten opzichte van

de middelste tonen. Om de hoge en de lage tonen beter te versterken is het voldoende de spanningen van de tegenkoppeling voor de overeenkomstige frequenties te verlagen. Op die manier zal de vermindering van de versterking, die de tegenkoppeling met zich meebrengt, minder merkbaar zijn voor de hoge en lage tonen, die daardoor meer versterkt worden in verhouding tot het middengedeelte.

Een dergelijke *klankkleurregeling* wordt verwezenlijkt met behulp van twee kleine inductanties  $L_1$  en  $L_2$ . De eerste, die parallel is geschakeld aan de tegenkoppelingkring, laat de stromen des te gemakkelijker passeren, naar gelang hun frequenties lager zijn en zulks ten koste van de stroom, die door  $R_1$  loopt.

Dus hoe lager de frequentie is, hoe minder spanning er is over  $R_1$  om voor de werking van de tegenkoppeling te zorgen. De spoel  $L_1$  corrigeert op die manier de lage tonen. De spoel  $L_2$ , in serie geschakeld, verzet zich des te heviger tegen de doortocht van de stromen, naarmate hun frequentie hoger is. Het gevolg is, dat de hoogste tonen zich

minder gemakkelijk een weg zullen banen naar  $R_1$ , en dat voor hen de zwakkere tegenkoppeling een geringere vermindering van de versterking veroorzaakt.

Ofschoon deze wijze van „klankkleurregeling” van een verleidelijke eenvoud schijnt te zijn, durven wij toch het gebruik ervan niet onbeperkt op te hemelen. Als wij de uitwerking van de tegenkoppeling beperken voor sommige frequenties, vergeten wij enigszins, dat het eigenlijke doel der tegenkoppeling het verminderen van vervormingen is. De door de zwakke tegenkoppeling meest „begunstigde” frequenties zullen nu het meest te lijden hebben van de onvoldoende gecorrigeerde vervormingen. Terwijl dit feit van weinig belang is voor de hoogste tonen (waarvan de harmonischen te hoog in de frequentieband stijgen om nog hinderlijk te zijn), kan het daarentegen heel onplezierig tot uiting komen in de lage tonen.

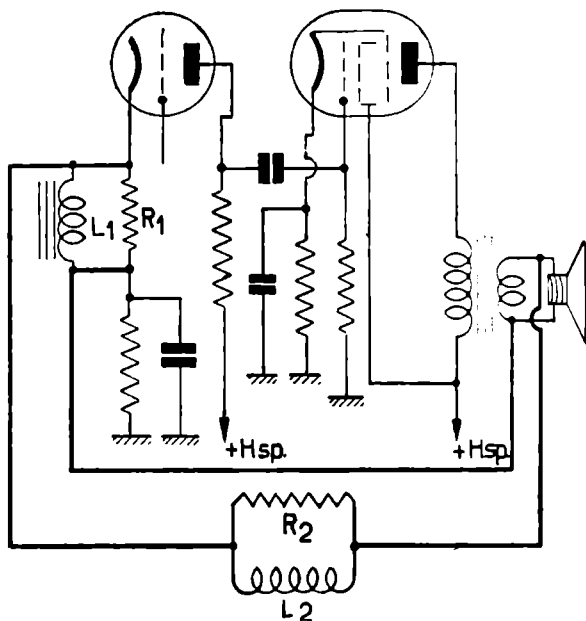


Fig. XXVIII. Tegenkoppeling op de laagfrequentieversterker met klankkleurregeling. De weerstand  $R_1$ , heeft een waarde van 10 à 20  $\Omega$ ;  $R_2$  van 500  $\Omega$ ; de waarde van  $L_1$  is 25 millihenry, van  $L_2$  15 millihenry.

Daar er nog andere methoden bestaan voor de klankkleurregeling, die niet gebaseerd zijn op de tegenkoppeling, is het verkieslijker, daartoe uw toevlucht te nemen dan gevaar te lopen hinderlijke vervormingen in te voeren bij de bestrijding van andere vervormingen, die . . . soms minder belangrijk waren!

### Storingen door de industrie

In dit laatste gesprek hebben Weetal en Vraagal in vriendschappelijke samenwerking het schema opgesteld van een uitstekend ontvangtoestel, dat zij in alle details goed hebben bestudeerd. Stilzwijgend zijn zij echter aan de *golfontvanger*, de *antenne*, voorbijgegaan.

Een dergelijk verzuim is wel te verontschuldigen. De gevoeligheid van een modern radiotoestel, zoals zij er een op stapel zetten, laat toe, dat men met een zeer bescheiden antenne tevreden is. Enkele meters draad langs het plafond van een kamer gespannen en behoorlijk met isolatiepennen vastgezet, zijn voldoende om „geheel Europa in de luidspreker te doen horen”, zoals de gebruikelijke uitdrukking in reclamedrukwerken luidt. Aan de andere kant verkrijgt men de *aardleiding* door de desbetreffende klem van het ontvangtoestel te verbinden met een pijp van de waterleiding, van de centrale verwarming of van de gasleiding.

Vaak kunnen overigens de ontvangtoestellen heel goed buiten een aardleiding, de eigen capaciteit van het metalen raamwerk is voldoende om als reservoir te dienen voor de elektronen, die van of naar de antenne vloeien.

Als echter een dergelijke antenne onderhevig is aan de invloed van de radio-elektrische golven, wordt zij even goed getroffen door storingen ten gevolge van de industrie. Die storingen worden, zoals wij vroeger al hebben gezegd, veroorzaakt door verschillende elektrische installaties, zowel huishoudelijke, geneeskundige als industriële. Dat zijn hoogfrequente trillingen, die zich in de vorm van elektro-magnetische golven voortplanten en die zeer brede frequentiebanden beslaan, zodat zij de ontvangst van een zender op vrijwel alle frequenties hinderen.

De storende golven hebben een betrekkelijk zwak vermogen en stralen zelden uit buiten de grenzen van een blok huizen, waarbinnen hun voortplanting vergemakkelijkt wordt door alle metalen leidingen en installaties. In de hoogte verzwakt het veld van die golven eveneens zeer snel boven de daken, zodat op enige meters boven de nok de invloed van de storingen vaak zonder betekenis wordt.

### Storingvrije antennes

Op dit feit is het gebruik gebaseerd van storingvrije antennes, die men zodanig aan de paal bevestigt, dat ze gemakkelijk boven de dakrand te brengen zijn. Het komt er weinig op aan, dat dergelijke antennes de vorm krijgen van een horizontale draad of van een verticale geleider, of dat zij bestaan uit een bol of een metalen korf. Het voorname is, dat zij uitsteken boven de door de storingen onveilig gemaakte zone. De stroom, die er in ontstaat, dankt dit ontstaan dan alleen aan de golven van de radiozenders en is vrij van alle besmetting door storingen van de industrie.

Het zuivere karakter van de trilling moet gewaarborgd blijven tijdens haar verdere tocht naar het ontvangtoestel. Anders gezegd, de storingen moeten niet kunnen inwerken op de antenneleiding, die de ontvanger verbindt met de eigenlijke antenne. Wat voor nut zou het anders hebben, de golven daar op te vissen, waar ze zuiver zijn om ze vervolgens te laten bezoedelen op het traject door de besmette zone?

Het is gelukkig weer de afscherming, die een oplossing van dit probleem geeft: dank

zij de toepassing van een afgeschermd antenneleiding bereikt de trilling gaaf de ontvanger.

De afgeschermd invoerleiding wordt gemaakt van koperdraad, dat in een soepele

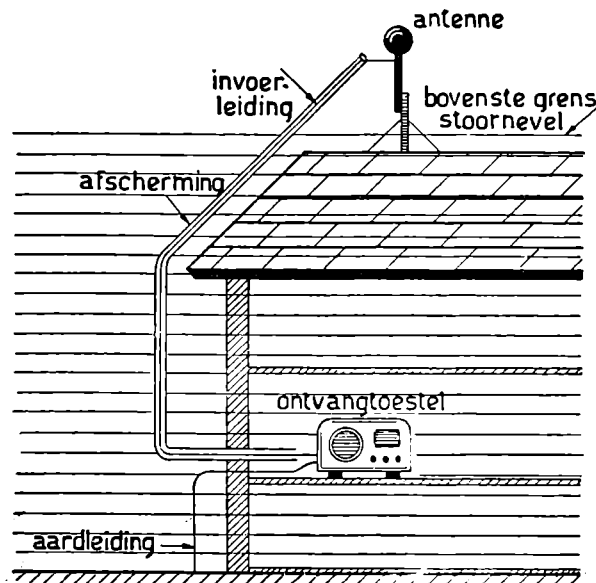


Fig. XXIX. De opstelling van een storingvrije antenne.

schermt niet tegen de atmosferische storingen, waarvan de hevigheid gelukkig minder groot is, behalve tijdens een onweersbui.

### Het richtingeffect van een raamantenne

De ontvangantennes, behalve sommige modellen, die speciaal voor de ontvangst van ultrakorte golven zijn ingericht, hebben geen richteffect, d.w.z. zij ontvangen alle golven, zonder onderscheid van welke richting zij komen. Maar er bestaan andere golfontvangers, de raamantennes, die een uitgesproken richteffect hebben. Wat is zo'n raamantenne? Het is een spoel met zeer grote middellijn. De golven, die haar windingen snijden, wekken er hoogfrequente spanningen in op. Die spanningen zijn hoger of lager al naar gelang de antenne in de richting van de zender wordt gedraaid. De spanning is maximaal als het vlak van de windingen precies in de richting van de zender is geplaatst; in deze stand hoort men het station het sterkst. Maar als men het raam een rechte hoek draait, veroorzaakt men een afsterven van het beluisterde, dat in de tussenliggende standen meer of minder sterk zal zijn.

De raamantenne wordt aan de ontvanger verbonden in de nabijheid van de spoel van de antenne-afstemkring, d.w.z. parallel met de eerste draaibare condensator (die dan voor het afstemmen dient). Het ontvangsvermogen van het raam neemt toe met het aantal windingen en met het door iedere winding ingesloten oppervlak. Men kan niet naar verkiezing een van deze factoren vergroten, want dat zou aanleiding geven

metalen koker is geplaatst, bv. van gevlochten metaal en met een belangrijk grotere diameter. De draad wordt in de as van dat omhulsel gehouden met behulp van isolatoren, die met kleine tussenruimten van elkaar worden geplaatst. De afscherming moet namelijk niet al te dicht bij de invoerdraad komen, anders zou de capaciteit, die dan tussen die twee ontstond, aanleiding geven tot een ontoelaatbaar verlies van hoogfrequente stroom. De afscherming wordt, dat spreekt vanzelf, aan de aardleiding verbonden.

Mits goed gemaakt, is een dergelijk systeem zeer doeltreffend tegen storingen in industrie, maar het be-

tot een te hoge zelfinductie om een juiste afstemming mogelijk te maken of tot een volkomen ontvangstbelemmering.

In vergelijking met een gewone antenne is het ontvangstvermogen van een raamantenne gering. Rekening houdende met de gevoeligheid van de tegenwoordige superheterodynes, verhindert dit feit echter zelden het gebruik van de raamantennes.

Tegenwoordig gebruikt men hoe langer hoe meer raamantennes, die een kern van *ferriet* hebben, d.w.z. een mengsel van ijzerpoeder en ijzeroxyden.

Het ontvangstvermogen van dergelijke raamantennes is veel groter dan van die zonder ijzeren kern, daar juist deze kern, dank zij zijn grote magnetische doorlaatvermogen, aan de radiogolven een zeer gemakkelijke weg biedt, hetgeen de dichtheid van de magnetische velden in de wikkelingen van die raamantennes bevordert.

Het richteffect van de raamantenne biedt in vele gevallen een aanmerkelijk voordeel. In het bijzonder stelt het ons in de gelegenheid een flinke hoeveelheid storingen te onderdrukken, nl.

die, welke uit richtingen komen, waaruit de ontvangst zwak of nihil is. Om diezelfde reden blijkt bovendien de selectiviteit van een ontvanger, die met een raamantenne is uitgerust, nog te zijn toegenomen. Als twee zenders, die op aangrenzende frequenties uitzenden, zich niet in één lijn met de ontvanger bevinden, richt men het raam naar die zender, welke men wenst te beluisteren en zo verzwakt men dan voldoende de invloed van de ongewenste zender.

Tenslotte maakt het gebruik van raamantennes het mogelijk de plaats van zenders te bepalen, een werkwijze, die bekend is onder de naam *radiogoniometrie* of *radiopeiling*. Om de positie van de zender te bepalen, gaat men bij de ontvangst per raamantenne te werk vanuit twee punten, die voldoende van elkaar zijn verwijderd. Men bepaalt zorgvuldig de richtingen, die het maximum aan ontvangststerkte geven; dat zijn, zoals wij gezien hebben, de richtingen, waarin voor ieder punt van ontvangst,

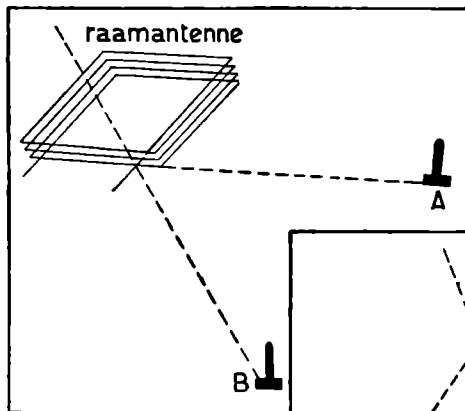


Fig. XXX.

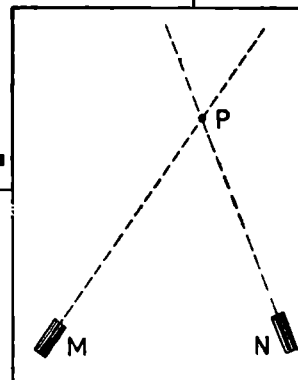


Fig. XXXI.

Fig. XXX. Het naar de zender A gerichte antenneraam maakt een ontvangst daarvan met maximale sterkte mogelijk, terwijl de zender B, die er loodrecht op staat, niet ontvangen zal worden.

Fig. XXXI. De gelijktijdige ontvangst door de raamantennes M en N, die voldoende van elkaar zijn verwijderd, stelt ons in staat, de positie van de zender P te bepalen.



de zender zich bevindt. Als men die richtingen uitzet op een kaart, vindt men op het snijpunt van de lijnen de plaats van de zender (fig. XXXI).

Op deze wijze kan een schip in volle zee of een vliegtuig in de lucht door het uitzenden van radioseinen zijn juiste positie laten bepalen door een radiografische opmeting door twee grondstations. Men begrijpt de machtige hulp, die de radio kan verlenen, dank zij het gebruik van raamantennes, bij de navigatie ter zee of in de lucht, in het bijzonder bij het besturen en landen zonder behoorlijk zicht.

Zoals men weet, zijn er in de laatste jaren nog andere middelen gevonden (waaronder vooral de *radar*) om de veiligheid in de besturing van schepen en vliegtuigen te vergroten.

### **Wat zal de naaste toekomst ons brengen?**

Deze weinige regels openden een kort inzicht in de vele mogelijkheden van toepassing van de radio, die, verre van zich te beperken tot de uitzending van amusementsmuziek, opvoedende praatjes, aangename of onaangename mededelingen, speciale diensten bewijst, zoals het aangeven van de juiste tijd, het uitzenden van noodseinen, en ook van weerberichten.

Iedere dag ziet men overigens, dat het terrein van de toepassing van de radio wordt uitgebreid. Gisteren nog beperkt tot de overbrenging van morsetekens, daarna van muziek en het gesproken woord, brengen de radiogolven nu reeds de levende beelden door middel van de televisie over.

Nu hebben Weetal en Vraagal ook over de televisie samen al veel gesprekken gevoerd. Die gesprekken hebben met elkaar een nieuw boek opgeleverd, dat a.h.w. een vervolg op dit werkje is geworden. De naam ervan? . . . maar natuurlijk: „*Zo werkt de televisie!*”

Daar zij tijd en ruimte opheffen, zullen de golven morgen misschien tussen de volkeren van de aarde onverbreekbare banden van solidariteit en onderling begrijpen scheppen? En zullen zij ons misschien overmorgen in verbinding brengen met de bewoners van andere planeten? En zal dan de radiotechniek op die manier de stichter zijn van een werkelijk universele toenadering?

Laten wij het hopen . . . .

### **Elektronentechniek**

Overigens zijn de radio en de televisie slechts onderdelen van een veel omvattender techniek, de *elektronentechniek* genaamd, die alle toepassingen omvat van de elektronenbuizen op alle gebieden van de menselijke bedrijvigheid. Dank zij het vermogen om naar behoefte de vorm van de elektrische signalen te veranderen, maakt de buis het werkelijk mogelijk de meest uiteenlopende problemen op te lossen.

In de astronomie, de biologie, de natuurkunde doen alle sectoren van onderzoek, evenals alle takken van de industrie, een beroep op elektronische toestellen.

Deze maken onze waarnemingsvermogens, onze zintuigen veel sterker (zoals bv. de elektronenmicroscop, die virussen en moleculen zichtbaar maakt, of geluidsversterkers, die de allerzwakste geluiden hoorbaar maken) en laten ons doordringen in gebieden, die tot dusverre voor ons ontoegankelijk waren (gelijkrichting van onzichtbare stralingen, uitbeelding van elektrische signalen door middel van een kathodestraal-oscilloscoop).

Andere elektronische toestellen ontlasten ons van moeizame of langdurige en eentnige taken, doordat zij voor de automatische besturing van bepaalde machines zorgen of doordat zij zeer omvangrijke berekeningen in een razend snel tempo uitvoeren. Op al die terreinen van de elektronentechniek (soms met de onjuiste naam *elektronica* betiteld) is sinds enige jaren een nieuw versterkonderdeel opgetreden in samenwerking met de vacuümbuis, die er soms zelfs al door wordt verdrongen. Het is de *transistor*. Het gaat hierbij om een buitengewoon interessante toepassing van halfgeleiders. Er is nu een geheel nieuwe techniek in opkomst rondom deze transistor. En . . . wie weet, misschien gaan Weetal en Vraagal op een goede dag ook deze adembenemende vraagstukken uit de elektronentechniek te lijf en gaan zij in een nieuwe reeks gesprekken de transistoren behandelen . . . . .



Voor hen die met een eenvoudig goedkoop toestel willen beginnen

Het is gemakkelijk tegenwoordig een stel onderdelen uit de handel te betrekken en daarvan een „super” te maken. Wie echter veel plezier van zijn liefhebberij wil hebben, kan beter beginnen met een eenvoudig toestel, een kristalontvangertje, waarmee hij dan de eerste tochten in de ether kan gaan maken.

Na zo'n ontvangertje gemaakt te hebben — dat behoeft maar zeer weinig te kosten, want men heeft er niet veel voor nodig en datgene, wat men gebruiken moet, kost niet veel — en na een beetje met de radio vertrouwd te zijn geraakt, kan men tot enige uitbreiding overgaan door er wat onderdelen bij te kopen; de onderdelen, die men dan al heeft, kan men blijven gebruiken. In fig. 132 ziet men het schema van een kristalontvanger, die men, na dit boek bestudeerd te hebben, ongetwijfeld gemakkelijk en met succes zal kunnen maken. En hapert er eers iets, wel, dan zal uw leverancier u zeer zeker kunnen helpen, of anders een vriend of kennis, die al langer „aan radio doet”. Ook zijn er verenigingen, met afdelingen in verschillende plaatsen en vragenbureaus, die gaarne tot inlichtingen bereid zullen zijn. Maar, zoals boven gezegd, u zult het best alleen af kunnen!

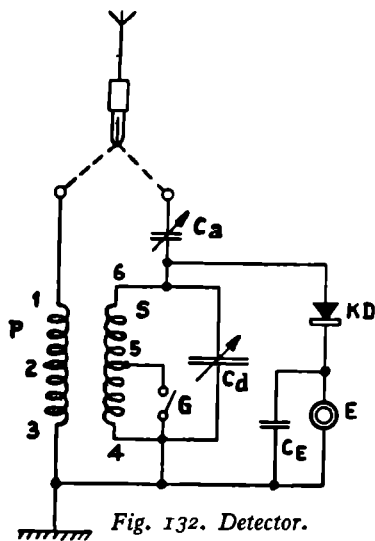


Fig. 132. Detector.

In het schema zijn P en S de spoelen van een spoelstel, dat men kant en klaar in de handel kan kopen. Met een schakelaar G wordt overgeschakeld van lange golf op midden-golf. KD is een kristaldetector, E de telefoon en  $C_E$  de daarbij behorende zgn. telefooncondensator. De afstemcondensator is met  $C_d$  aangegeven, terwijl een andere variabele condensator  $C_a$  aanwezig is, waarmee de afstemming beïnvloed kan worden en tevens de selectiviteit en de geluidssterkte. Niet dat de sterkte van deze ontvanger zo erg groot is, verre van dat, maar u kunt een en ander nu eens goed onderzoeken en daarvan leren. De antenne kunt u óf direct op de eerste spoel P aansluiten, óf via de condensator  $C_a$  op de tweede spoel S, die met de eerste inductief gekoppeld is. Als u spoelen en een afstemcondensator koopt, moet u erop letten, dat u er later nog zo'n stel bij kunt kopen voor het toestel, dat in fig. 133 is getekend en waarbij hierop is gerekend. Het is echter ook uitvoerbaar met verschillende spoelen en condensatoren, omdat de condensatoren gescheiden zijn (niet op één as zitten). De condensator  $C_d$  kan circa 500 picofarad zijn,  $C_a$  mag kleiner zijn.  $C_E$  is 1000 — 2000 picofarad.

## Een hoogfrequentietrap wordt ervoor geschakeld

Dit is gemakkelijk gezegd, ennn . . . óók gemakkelijk gedaan! U vindt in fig. 133 enige bekenden uit fig. 132 terug, nl. het spoelenstel PS, de condensator  $C_d$ , schakelaar voor de golfschaal G, telefoon E (nu iets anders getekend) met condensator  $C_E$ , alsmede de kristaldetector KD. Ook de draaibare antennecapacitor  $C_a$  heeft weer nut. Praktisch kunt u alles uit fig. 132 gebruiken, behalve misschien het frontplaatje en het grondplankje, waarop u alles moet monteren.

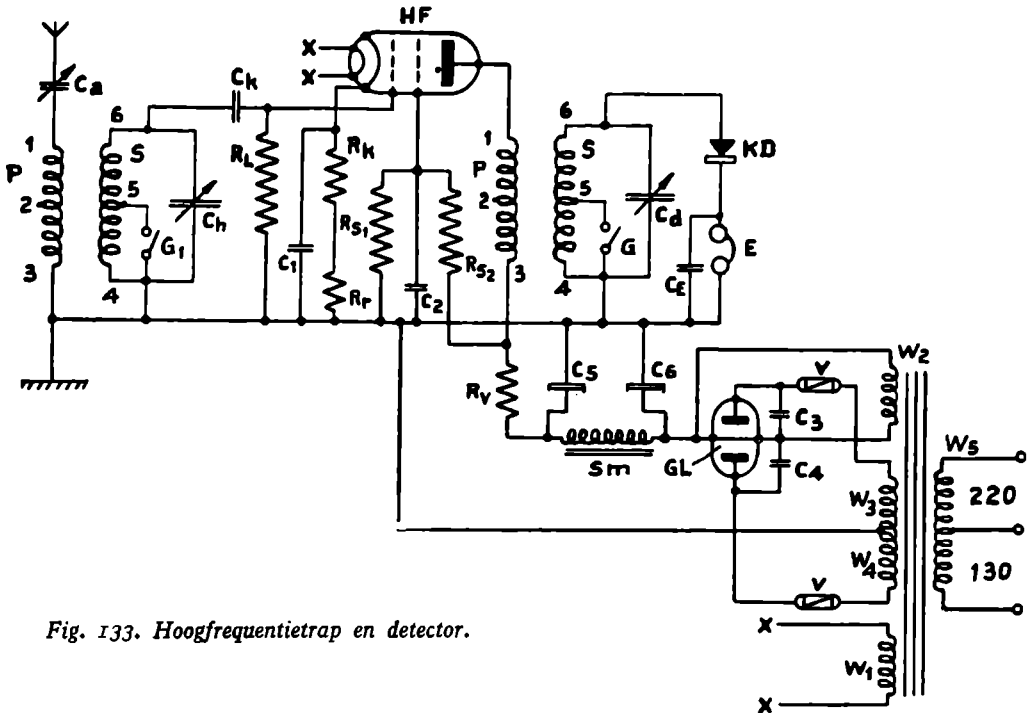


Fig. 133. Hoogfrequentietrap en detector.

### Hoogfrequentietrap en detector

U ziet in fig. 133 nog een tweede spoelenstel PS met nóg een bijbehorende schakelaar  $G_1$  en condensator  $C_h$ , gelijk aan  $C_d$ . Verder zijn de volgende onderdelen nodig: hoogfrequentbuis HF met voet, een goede roostercondensator  $C_k$  van 50 — 100 pF, liefst een zgn. „trimmer”, een roosterlekweerstand  $R_L$  van ca. 1 M $\Omega$ , een kathodeweerstand  $R_k$  van ca. 350  $\Omega$  en een regelweerstand  $R_r$  van bv. 0 — 5000  $\Omega$ , afhankelijk van de gekochte buis. Uw leverancier zal u daarbij gaarne helpen. De condensatoren  $C_1$  en  $C_2$  zijn elk 0,1  $\mu$ F.  $R_{S1}$  en  $R_{S2}$  zijn vaste weerstanden van 40 000  $\Omega$  elk.  $R_v$  is een voorschakelweerstand van 5000 — 10 000  $\Omega$ , afhankelijk van de spanning, die beschikbaar is van de voedingsbron, die wij aanstonds bespreken en van de gebruikte H.F.-buis. De voedingsbron kunt u afzonderlijk maken en met vier verbindingen op het eigenlijke toestel aansluiten. Het bevat een plaatstroombuis GL voor tweezijdige

gelijkrichting met bijpassende voet, twee veiligheden V (zg. buiszekeringen) voor 60 mA, een smoorspoel Sm en twee condensatoren  $C_5$  en  $C_6$ , voor afvlakking van de gelijkgerichte stroom. Deze condensatoren kunnen elektrolytisch zijn in één huls van 8 mF elk. Zij moeten berekend zijn voor 450 — 525 V (proefspanning). De condensatoren  $C_3$  en  $C_4$  zijn niet altijd nodig, zij dienen voor ontstoring en zijn elk 0,1 mF met hoge proefspanning, want er staat een tamelijk hoge wisselspanning op, nl. die van de transformator. Deze heeft twee wikkelingen  $W_3$  en  $W_4$ , die elk bv. 250 of 300 V wisselspanning kunnen leveren, verder een wikkeling  $W_2$  voor de gloeispanning van de plaatstroombuis GL en  $W_1$  voor de H.F.-buis. Met  $W_5$  is de primaire wikkeling aangegeven, die voor een of meer netspanningen geschikt kan zijn. Oppassen, dat u de goede aansluitingen met het stopcontact verbindt!!

De opstelling volgt uit het schema zelf, met dien verstande, dat de H.F.-buis tussen de beide spoelenstellen komt te staan en de draaibare afstemcondensatoren elk nabij het bijbehorende spoelenstel. De rooster- en anodeverbindingen met de H.F.-buis moeten zo kort mogelijk worden uitgevoerd en uit de buurt van elkander worden gehouden.

Met de condensator  $C_h$  stemt u het eerste spoelenstel af, terwijl u met de condensator  $C_d$  tegelijkertijd het andere spoelenstel afstemt. U vindt na enige oefening vanzelf hoe u dit moet doen. Met  $C_a$  kunt u de primaire wikkeling van het eerste spoelenstel afstemmen.

Veel succes! En als u ook met dit toestel de nodige ervaring hebt opgedaan, begin dan eens met een laagfrequentietrap er achter; de voedingsbron is op grote uitbreiding berekend! Ook kunt u gaan beproeven in de plaats van de kristaldetector eens een roosterdetector — een buis — te schakelen; lees daartoe het boek nog eens door. Het veld van prettig en allerleerzaamst experimenteren ligt voor u open; maak er gebruik van en wees er gelukkig mede.

Tot slot een waarschuwing. Laat uw toestel bij de verdere proeven nooit genereren (meestal gillen, doch niet altijd), want niet alleen verkrijgt u daardoor geen goede kwaliteit van de muziek of het gesproken woord, doch bovendien stoort u er vele burens mede, terwijl het daarenboven wettelijk verboden is. De voedingsbron moet u tegen onwillekeurige aanraking beveiligen, dat bent u niet alleen tegenover u zelf, doch ook tegenover uw medemenschen verplicht. Het kost weinig moeite en geld en u knutselt het gaarne zelf in elkaar! Een omgekeerd bakje van geperforeerd plaatijzer of blik kan voldoende zijn, maar pas op voor kortsluiting.

Als u aan het experimenteren bent geslagen en het bevalt u — en daar twijfelen wij niet aan — raad uw vrienden en kennissen dan aan het boek eveneens te kopen of geef hun er bij gelegenheid een exemplaar van ten geschenke, u bewijst uw vrienden een dienst ermee, aangezien het voor hen het vullen van anders misschien vermorste of verloren tijd kan betekenen.

Stuit u bij het experimenteren op vragen, wel, lees het boek nog eens goed door en tien tegen één, dat u er zelf achter komt, waar de kneep zit, dank zij de leerzame gesprekken van

WEETAL en VRAAGAL.

