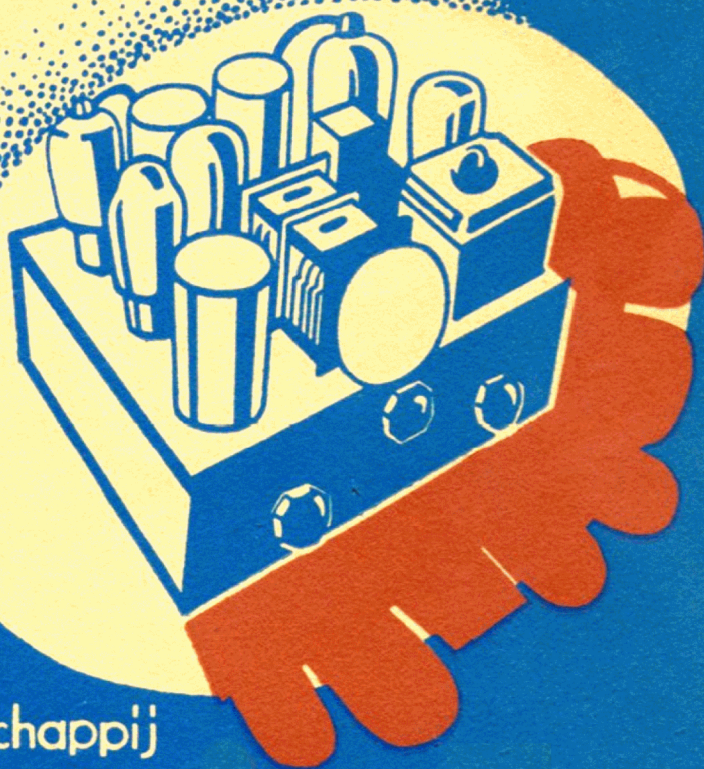


E. AISBERG

Zoo.... werkt de Radio!

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

● De grondbegrippen van de electriciteit - De werking der moderne lampen - Diode - Triode - Tetrode - Pentode - Heptode - Oktode - H.F. en L.F. versterking - Detectie - Voeding - Terugkoppeling - Superheterodyne - Fading - Selectiviteit. ●



N.V. Uitgevers Maatschappij
Æ. E. Kluwer Deventer.

ZOO.... WERKT DE RADIO!

E. AISBERG

ZOO . . .
WERKT DE RADIO!

HET HOE EN WAAROM VAN DE
RADIO IN WOORD EN BEELD

BEWERKT NAAR HET FRANSCH, MET KANTLIJNTEKENINGEN
VAN H. GUILAC

ZESDE DRUK
vermeerderd met
TOELICHTINGEN
op de gesprekken

Scannen en grafische bewerkingen: PE1ABR

N.V. UITGEVERS-MIJ. Æ. E. KLUWER, DEVENTER

Oorspronkelijke titel:

*La Radio? Mais c'est
très simple !*

VOOR WIE IS DIT BOEK BESTEMD?

Noch door de wijze van voorstelling, noch door den inhoud gelijkt dit boek op eenig ander.

De kantlijnteekeningen, waarmee de talentvolle teekenaar Guilac het op zijn bekende geestige manier heeft versierd, zouden een oogenblik kunnen doen veronderstellen, dat het hier om een boek voor kinderen gaat.

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

Aan den beginneling geeft het boek een gemakkelijk in zich op te nemen overzicht van de fundamenteele wetten der radiotechniek en een eenvoudige uiteenzetting van de moderne radiotoestellen. Het lezen van het boek vereischt geen voorafgaande kennis van electriciteit en van natuurkunde. De noodzakelijke beginselen van die twee terreinen der wetenschap worden in den tekst daar ingelascht, waar zij noodig geoordeeld zijn voor het begrijpen van de radio.

Aandachtige lezing zal het den beginneling mogelijk maken om zonder moeite binnen te dringen in de zg. mysteriën van de radiotechniek, van die opwindendste aller technieken, waarvan het terrein der toepassingen 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 den beginneling, ook den 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 opeenhooping 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 meerendeel der radioverschijnselen een al te wiskundig en al te abstract begrip.

Voor al met het oog op die „rangschikking van begrippen” en hun rationeële 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 is men niet verplicht oppervlakkig te worden. Om eenvoudig te zijn, heeft men niet altijd overdreven eenvoudige uitleggingen noodig. En om degelijk te zijn, behoeft men nog niet vervelend te worden.

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

Teneinde alle academische dorheid te vermijden, heeft de schrijver den vorm van „gesprekken” gekozen, die zijn boek levendig en gemakkelijk verteerbaar maken en die hem in staat stellen den lezer te behoeden voor alle hinderlagen, die hem door een langjarige practijk bij het onderwijs zijn aangewezen.

Zonder aanspraak te willen maken op den titel „bouwhandboek”, is dit boek toch niet minder onmisbaar voor allen, die met kennis van zaken radiotoestellen willen gaan bouwen. Door onvoorwaardelijk al datgene terzijde te stellen, wat verouderd is, is de schrijver er in geslaagd den lezer een begrip te geven van de nieuwste principes, die aan den bouw van moderne radiotoestellen ten grondslag liggen. Om dat doel te kunnen bereiken zonder aan het boek een overdreven grooten omvang te geven en zonder het brein van de lezers noodeloos af te matten, is de schrijver verplicht geweest een voor-

stellingswijze te kiezen met vrij alledaagsche voorbeelden; alle overbodige „litteratuur” heeft hij vermeden.

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

Als dit boek er in slaagt meer bekendheid aan de radio te geven en de liefde er voor 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 DEN VERTALER BIJ DEN ZESDEN DRUK.

Het is het bijzondere karakter van het werk, dat aanleiding is geweest het boek van E. Aisberg voor Nederland te vertalen. Ik heb er daarbij naar gestreefd den oorspronkelijken opzet zooveel mogelijk te volgen. Daarom zijn de oorspronkelijke illustraties ook in de Nederlandsche bewerking opgenomen; zij geven het boek een fleur, die het tot een genoegen maakt het te lezen. Zooals de schrijver terecht zegt, dient men het boek aandachtig te lezen en niet verder te gaan met een volgende bladzijde, alvorens men de vorige goed begrepen heeft. Dit begrijpen zal intusschen weinig moeite kosten, daar de schrijver juist het doel voor oogen heeft gehouden de radio voor een ieder begrijpelijk te maken en tevens den vakman eens een anderen gezichtshoek te bieden.

Teneinde den prijs van de Nederlandsche uitgave onder ieders bereik te houden zijn de schema's met slechts geringe wijzigingen overgenomen. Hierdoor is er eenig verschil tusschen de in dit boek gebruikte aanduidingen en die volgens de normalisatie. Dit stoort echter geenszins, daar de gebruikte aanduidingen in den tekst zijn verklaard, zoodat niemand er moeite mede zal hebben. Het doel, het boek goedkoop te houden, kon daardoor bereikt worden.

De eerste vijf drukken van dit boek zijn in tamelijke snelle opeenvolging, vrijwel ongewijzigd verschenen. Aan den tienden druk van het Fransche origineel heeft de oorspronkelijke auteur echter een belangrijk aanhangsel toegevoegd, waardoor het geheele werk den huidigen stand van de radiotechniek weergeeft. Met deze „Toelichtingen en Aanvullingen” is een tweeledig doel nagestreefd: het dieper ingaan op sommige uiteenzettingen en het nader aanvullen van andere verklaringen.

Om zoo veel mogelijk profijt uit deze 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 den lezer steeds in staat stellen sommige vraagstukken onder een ander licht te bezien, bepaalde practische details nader te leeren kennen en op die manier verder en gemakkelijker te vorderen in zijn bestudeering van de radiotechniek.

Gaarne betuig ik van deze plaats mijn hartelijken dank aan allen, die mij voor deze vertaling — en in het bijzonder voor de Toelichtingen — hun gewaardeerde hulp verleenden.

Rotterdam, Januari 1948.

DE VERTALER.

INHOUD.

		Blz.
1e gesprek:	Electronen en protonen. Stroom, Spanning. Stroomsterkte. Weerstand. Wet van Ohm	1
2e	„ Wisselstroom. Magnetisch veld. Inductie	7
3e	„ Zelfinductie. Inductieve reactantie. Capaciteit. Condensatoren	12
4e	„ Lading en ontlading. Capacitieve reactantie. Impedanties	16
5e	„ Phaseverschuiving. Resonantie. Trillingskring. Trillingen	20
6e	„ Afstemming. Selectiviteit. Afstemkring	25
7e	„ De lampen. Kathode. Anode. Diode. Rooster. Triodekarakteristieken	28
8e	„ Krommen van een lamp. Werkpunt. Polarisatie of negatieve voorspanning	34
9e	„ Microfoon. Laagfrequente stroom. Generator. Radiozender. Modulatie	38
10e	„ Detectie. Diode-detectie. Kristaldetectie. Detectie in de onderste bocht van de karakteristiek	43
11e	„ H.F.- en L.F.-versterking. Koppeling door een transformator. Voeding van en voorspanning aan de lampen	47
12e	„ Versterkers met impedantie-koppeling (Met weerstanden, inductieve reactanties en trillingskringen). „Roosterdetectie”	53
13e	„ Terugkoppeling. Hartley-schakeling. Ongewenschte koppelingen. Afscherming. Tetrode. Pentode	58
14e	„ Andere koppelingen. Ontkoppeling. „Geraamteschema” of principe-schema en volledig schema. Golfbereiken. Omschakeling	64
15e	„ Voeding. Enkelzijdige en dubbelzijdige gelijkrichting. Gelijkrichterlampen. Afvlakking. Verhitting. Polarisatie of voorspanning. Voeding uit een gelijkstroomnet	71
16e	„ Interferentie. Het principe van de superheterodyne. Schakelingen voor frequentie-omvorming. Dubbelroosterlamp. Heptode. Octode	80
17e	„ Spiegelfrequenties. Voorselectie. Het schema van een superheterodyne, Electromagnetische en electro-dynamische luidsprekers	87
18e	„ Sluiering. Sterkteregeling. Lampen met variabele steilheid. Automatische sterkte-regeling. Afstemindicatie	91
19e	„ Modulatie-zijbanden. Selectiviteit en muziekkwaliteit. Bandfilters. Variabele selectiviteit	97
20e	„ Het volledige schema. De superheterodyne en de analyse daarvan. Laatste raadgevingen	102

TOELICHTINGEN.

	Blz.
Een waarschuwing gaat vooraf !	109
Toelichting bij het eerste gesprek	111
" " " tweede "	113
" " " derde "	115
" " " vierde "	117
" " " vijfde "	121
" " " zesde "	123
" " " zevende "	125
" " " achtste "	129
" " " negende "	133
" " " tiende "	135
" " " elfde "	137
" " " twaalfde "	142
" " " dertiende "	145
" " " veertiende "	150
" " " vijftiende "	152
" " " zestiende "	156
" " " zeventiende "	161
" " " achttiende "	164
" " " negentiende "	173
" " " twintigste "	179
Aanhangsel	184



Zoo.... werkt de radio!!



DE PERSONEN.

Ten eerste: een zeer beleefde jongeman, Weetal, wien 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 wel twintig talen is vertaald.

Weetal is nu 18 jaar. Hij heeft niets van zijn vroegere nieuwsgierigheid verloren en ook niets van zijn jeugdigen werklust en vroolijkheid. Hij is een ervaren radio-amateur en hij gaat nu op zijn beurt met groote duidelijkheid de theorie van de radio uitleggen. Overigens was hij vanaf zijn prilste jeugd een wonderlijke jongen....

Vraagal?... U kent hem niet? Dat is de mensch-geworden onwetendheid. Omdat hij absoluut overhoop ligt met de wiskunde, kent hij ternauwernood de eerste beginselen van de natuurkunde. Hij wordt voortdurend heen en weer geslingerd tusschen den wensch om te leeren en den 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 electriciteit uiteengezet. Door een beroep te doen op de electronen-theorie 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 DWAALT IN VOLKOMEN ONWETENDHEID ROND.

Weetal. — Ga zitten, Vraagal, en laat mij je het doel van dien dringenden oproep uitleggen. Ik hoop, dat je ondanks eenige 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 bouwen. Maar, zooals je weet, zit ik op het oogenblik hard te blokken voor mijn eindexamen. Kan ik op jou rekenen om mij bij den bouw van dat toestel te komen helpen? Vraagal. — Heel graag.. Alleen, wat kan ik doen? Ik weet niets van radio afl 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 geteekend (fig. 1).

Vr. — Dat is allemachtig ingewikkeld!

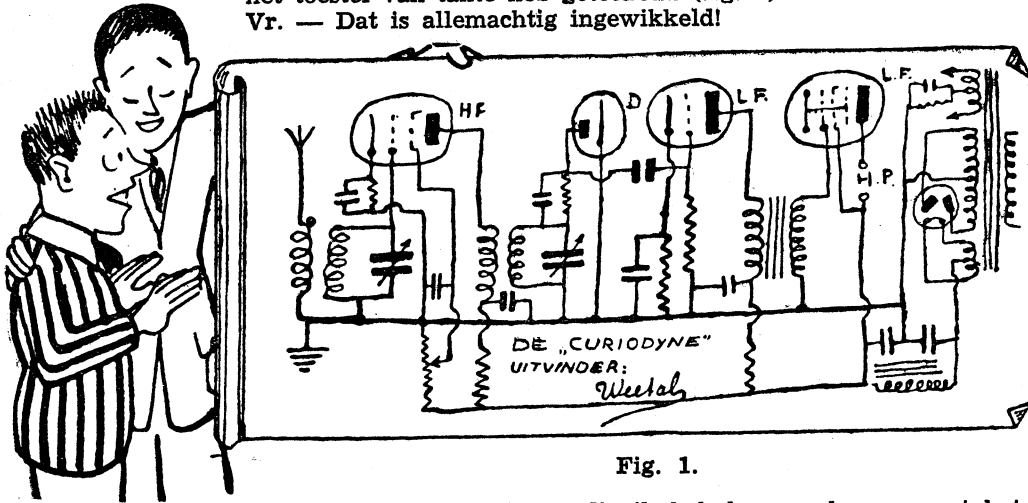


Fig. 1.

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

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

W. — Domoor! Deze lamp dient heelemaal niet voor verlichting. Het is een triode-versterkerlamp met indirecte verhitting.

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

W. — Wacht even! Ik zal het je uitleggen. In een lamp 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 den weg terugvind?

WEETAL BEGINT BIJ HET BEGIN.

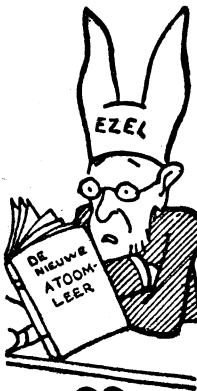
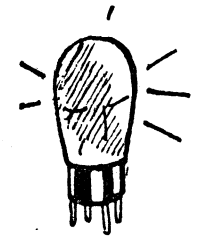
W. — Waarlijk, het blijkt noodig te zijn om te beginnen met je de allereerste begrippen van de electriciteit uit te leggen, want je gedachtengang is al bedorven door de onnauwkeurige ideeën, die je schoolboeken je hebben bijgebracht. Hebben zij je dan tenminste geleerd, wat een atoom is?

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

W. — Dacht ik het niet?.. Al meende men in den tijd, toen jouw natuurkundeleeraar zijn examens deed, zoo 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 leeren...., als wij die zullen krijgen. Intusschen beschouwt men het zoo, dat het atoom bestaat uit **electronen** en **protonen**. De electronen vormen de elementaire negatieve elektrische lading. De protonen zijn de positieve lading. Tusschen de electronen en de protonen bestaat een zekere aantrekkingskracht.

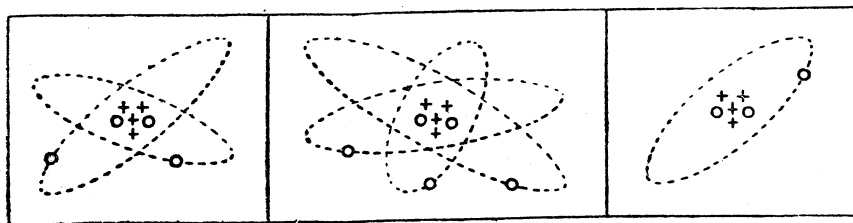


Vr. — Zij zijn dus als het ware aan elkaar verbonden?

W. — Neen, want tusschen de electronen onderling aan den eenen kant en tusschen protonen onderling aan den anderen kant bestaat een afstootende kracht. Daaruit volgt, dat in het atoom de aantrekkende en de afstootende krachten met elkaar in evenwicht zijn, terwijl de electronen zich — zooals de planeten om de zon — om de centrale kern bewegen, die is samengesteld uit protonen en eenige electronen (fig. 2).

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

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



Neutraal atoom. Negatief atoom Positief atoom
Fig. 2. De kruisjes stellen de protonen voor, de cirkeltjes de electronen.

Vr. — ...als er minder electronen 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 electronen, die zich ver van de kern bevinden, worden door deze slechts zwak aangetrokken. Als ze nu komen binnen de aantrekkingsfeer van een naburige atoom met te weinig electronen, dan verlaten zij hun eigen atoom om het naburige compleet te maken of in evenwicht te brengen.

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

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

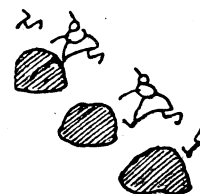
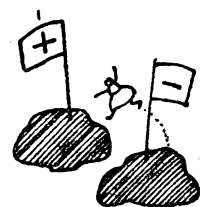
Vr. — Ja zeker! Omdat Japan overbevolkt is, emigreeren zij naar minder dichtbevolkte landen.

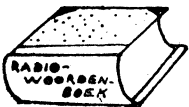
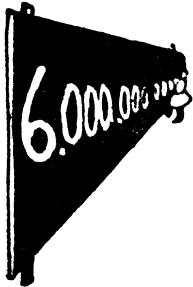
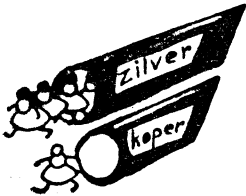
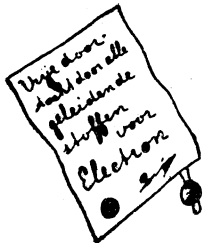
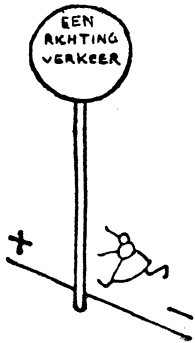
W. — Zooals je wilt.... Maar, onthoud in ieder geval, dat de electronen van de atomen, waarin zij talrijker zijn, de negatieve atomen dus, naar atomen gaan, waarin zij minder in getal zijn: de positieve. Als je dus door welk middel ook de negatieve atomen (met te veel electronen) van het eene einde van een metaaldraad verbindt met de positieve atomen (met te weinig electronen) van het andere uiteinde, dan zullen de electronen van het eene



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

atoom naar het andere overspringen en zoo dwars door alle tusschenliggende atomen tot op het oogenblik, waarop het evenwicht hersteld is. In welke richting zullen de electronen gaan?





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

W. — Welnu, die verplaatsing van de electronen, dien electronenstroom dus, noemt men **electrischen stroom**.

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

W. — Hij heeft je doodeenvoudig verteld van de overeengekomen richting van den stroom, want in 'den tijd, toen men overeengekomen is willekeurig één bepaalde richting voor den electrischen stroom aan te nemen, kende men de electronentheorie nog niet. Men heeft zich eenvoudigweg vergist, toen men overeenkwam om aan te nemen, dat de stroom van positief naar negatief gaat. Je zult die bewering nog vinden in veel boeken, die in 1934 zijn uitgegeven. Het gaat hier om een eenmaal gemaakte afspraak. Onthoud nu maar, dat de electronen van negatief naar positief gaan, of van „minus” naar „plus”, zooals men zegt.

6 000 000 000 000 000 000 ELECTRONEN.

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

W. — De stroom gaat ook door oplossingen van zuren of basen (alkaliën) en door kool. Al die stoffen zijn **geleiders**. Hun atomen bevatten veel electronen, die gemakkelijk kunnen ontsnappen aan de aantrekkingskracht van de kern. Maar er bestaan ook andere stoffen, waarin de electronen te vast aan de kern zijn verbonden om het atoom te kunnen verlaten. In die stoffen, **niet-geleiders** (isolatoren) of **diëlectrica** geheeten, kan de electrische 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. Tusschen de niet-geleidende en de geleidende stoffen staan de **half-geleiders**, bv. vochtig hout. (Het is daarin overigens het water, dat het geleidingsvermogen verzekert.)

Vr. — Wat is de beste isolatie?

W. — Droge lucht.

Vr. — En de beste geleider?

W. — Zilver. Maar rood 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 zilverdraad een stroom van grootere sterkte kan vloeien dan door een koperdraad van gelijke afmetingen.

Vr. — Wat versta je onder „stroomsterkte”?

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

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

W. — Dat zou men kunnen doen. Maar in de practijk meet men de stroomsterkte in **ampères**. Eén ampère komt overeen met de verplaatsing van 6×10^{18} electronen 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**, dat is het millioenste deel van een ampère. Zooals 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 den geleider aangesloten **spanning** en van den **weerstand** van dien geleider.

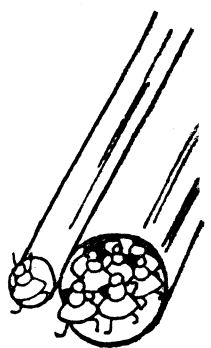
DE WOORDEN VERANDEREN VAN BETEKENIS.

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

W. — Als met den cirkel?

Vr. — Ja zeker! Voordat ik meetkunde ging leeren, 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 gelijken afstand van een bepaald, gegeven punt”, begrijp is er niets meer van....

W. — Welnu! In de electriciteit is de **weerstand** de eigenschap van een geleider om.... een grooteren of kleineren tegenstand te bieden aan den doortocht van een stroom. Hij is afhankelijk van den aard van den geleider, d.w.z. van het aantal electronen, dat gemakkelijk los te maken is van de atomen. Hij is ook afhankelijk van de lengte van den geleider. Hoe langer deze is, hoe grooter de weerstand. Tenslotte is hij ook afhankelijk van de doorsnede van den geleider. Als de doorsnede groot is, kunnen er meer electronen tegelijk doorheen en bijgevolg is de weerstand kleiner¹⁾. De weerstand wordt gemeten in ohms of in miljoenen ohms: megohms. Eén ohm is zoo ongeveer de weerstand van een koperdraad van circa 57 m lengte met een doorsnede van 1 mm².



WIJSGEERIGE BESCHOUWINGEN OVER DE RELATIVITEIT.

Vr. — En wat is **spanning**?

W. — De **spanning** is, om het zoo eens uit te drukken, de druk, die op de electronen wordt uitgeoefend door het verschil in den electrischen toestand aan de uiteinden van den geleider.

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

W. — Wel neen, het is eenvoudig. Zoals ik je al heb gezegd, bepaalt de verhouding tusschen electronen en protonen het electrisch vermogen of de **potentiaal** van een atoom. Stel nu eens, dat je twee atomen hebt. In de eerste ontbreken 3 electronen, in de tweede 5.

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

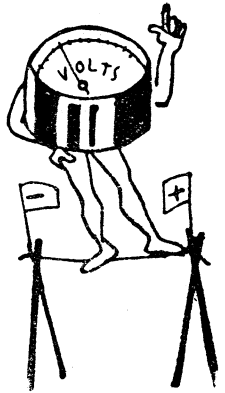
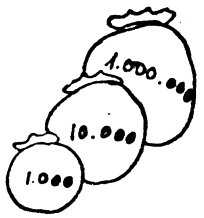
W. — Je moet durven, want zoo is het. En zelfs, hoewel beide atomen positief zijn, zou men kunnen zeggen, dat de eerste in vergelijking met de tweede negatief is.

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 millioen heeft, maar hij is rijk in vergelijking met een derde, die 10 000 gulden schuld heeft. In de atomenwereld is het atoom, dat drie electronen te weinig heeft, negatief ten opzichte van het atoom, waaraan er tien ontbreken en 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 electronen?

W. — Dat zou men kunnen doen. Maar practisch wordt het **potentiaalverschil**, of wat hetzelfde is, wordt de **spanning** uitgedrukt in **volts**. Een volt



¹⁾ 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 cm²), volgens de formule:

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

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

is de spanning, die, aangelegd aan de uiteinden van een geleider met een weerstand van 1 ohm, daarin een stroom met een sterkte van 1 ampère doet ontstaan.

Vr. — Zoodat, als ik je goed begrepen heb, de spanning een soort van electrischen druk is, die de electronen van het eene 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 grooter de stroomsterkte.

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

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

W. — Wij hebben nu zoo juist een van de voornaamste wetten van de electriciteit opnieuw ontdekt: de **Wet van Ohm**. Men zegt in het kort, dat de stroomsterkte gelijk is aan de spanning, gedeeld door den weerstand ¹).

Vr. — Ik begin zoo langzamerhand een ware hutspot in mijn hersenpan te voelen. Electronen, 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.

¹ En hier is voor wiskundigen de klassieke formule van de Wet van Ohm:





$$I = \frac{E}{R}$$






waarin: **I** de stroomsterkte in ampères;

E de spanning in volts tusschen de uiteinden van den geleider;

R de weerstand in ohms van den geleider.

EENIGE SYMBOLEN, ZOALS ZIJ IN RADIO-SCHEMA'S WORDEN GEBRUIKT.

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

	TEEKEN voor VERANDER- BAARHEID		VASTE CON- DENSATOR		VERANDERBARE OF VARIABELE CONDENSATOR		VASTE WEERSTAND		VERANDERBARE OF VARIABELE WEERSTAND
---	--------------------------------------	---	------------------------	---	---	---	--------------------	--	---

	SPOEL		GEKOPPELDE SPOELN		VERANDERBARE KOPPELING		SPOEL MET IJZEREN KERN		TRANSFORMATOR MET IJZEREN KERN
---	-------	---	----------------------	---	---------------------------	---	------------------------------	--	--------------------------------------



TWEEDE GESPREK

Vraagal wist niets van wisselstroom, van frequentie of van periode. Het electro-magnetisme was hem eveneens onbekend. Aan het einde van dit tweede gesprek weet hij precies, wat de woorden golflengte, electro-magneet, magnetisch veld beteekenen... Hij zou u even goed als Weetal kunnen uitleggen, waarin het inductie-verschijnsel bestaat. Want, goed beschouwd, is Vraagal een begaafde jongen...

OVER SOMMIGE HEEN-EN-WEERREIZEN.

Vr. — Den vorigen keer, Weetal, heb je met mij gesproken over electronen, protonen, over electrischen stroom... kortom, over alles, behalve over radio!

W. — Maar, beste jongen, in de radio houden wij ons uitsluitend met electrische stroomen bezig en in de eerste plaats moet je dus de wetten kennen, waaraan die stroomen 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 tusschen de antenne van den zender en die van den ontvanger. Maar bij den zender worden zij opgewekt door een wisselstroom van hooge frequentie, die de zendantenne doorloopt; en bij den ontvanger veroorzaken zij een soortgelijken stroom, hoewel minder sterk, in de ontvangantenne.

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

W. — Nu zie je, hoe noodzakelijk het is de electriciteitsleer te kennen, voordat je 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. — Zooals water, dat uit een geopende kraan stroomt.

W. — Ja, dat kan... Maar veronderstel nu eens, dat een electrische machine (een wisselstroomdynamo) of een ander toestel periodiek de polariteit van de uiteinden van een geleider omwisselde. Dan werd ieder uiteinde 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 **amplitudo** noemen), nam de potentiaal weer af, ging hij weer door nul en werd weer positief, nam weer toe... en alles begon weer van voren of aan (fig. 4).

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

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

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

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

Vr. — Duurt zoo'n periode lang?

W. — Men gebruikt zoowel stroomen, waarvan de periode 0,06 seconde

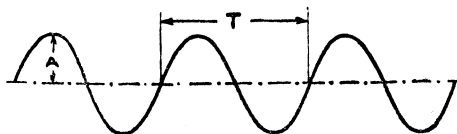
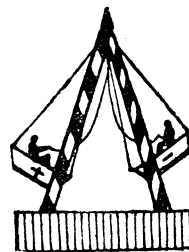
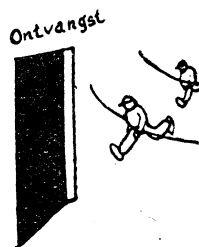
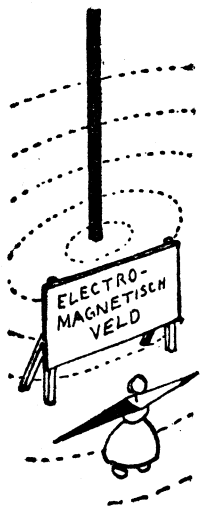


Fig. 4. De spanning van den wisselstroom. A = amplitudo; T = periode.





duurt, als stroomen met een periode van 0,000 000 000 3 seconde. Dat is afhankelijk van de frequentie van den 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.

OP HET TERREIN VAN DE GOLVEN.

Vr. — Ik begin zoo langzamerhand te begrijpen, wat je zoo straks hebt gezegd over een wisselstroom van hooge frequentie (een hoogfrequenten wisselstroom).

W. — Zoo noemt men de stroomen, waarvan de frequentie boven 10 000 perioden per seconde ligt. Zulke stroomen wekken, als ze door een verticalen geleider gaan, electro-magnetische golven op, die zich van den 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 electro-magnetische golven, maar met een kortere golflengte dan de radiogolven.

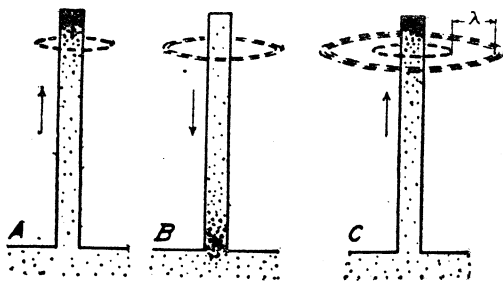


Fig. 5. Zoo kan men zich de beweging van de electronen in de antenne en de opwekking van de golven voorstellen.

Vr. — Wat noem je eigenlijk „golflengte“?

W. — Dat is de afstand tusschen twee electro-magnetische kringen, die na elkaar de antenne hebben verlaten. Dien verticalen geleider noemen wij antenne. Bij iedere periode van den hoogfrequenten stroom ontstaat een kring. Dus, op het oogenblik, dat een tweede kring de antenne verlaat, heeft de eerste al een zekeren afstand afgelegd; dat is precies de golflengte. Zij is gelijk aan...

Vr. — de snelheid vermenigvuldigd met den tijdsduur van één periode. De snelheid is hier 300 000 000 m per seconde en de tijd tusschen 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 is aan den in één seconde doorloopen afstand, gedeeld door het aantal per seconde uitgezonden golven, d.w.z. door de frequentie. ¹⁾

Vr. — Dat is net als die twee jongens, die ik zoeven op straat zag hardloopen.

W. — Hè?!

Vr. — Ja zeker! Die eene jongen, een groote, had lange beenen, de andere was erg klein. Zij liepen hand in hand, met dezelfde snelheid dus. De grootste nam groote stappen, maar minder vlug achter elkaar dan de kleinste, die naast hem draafde. Dat bewijst, zooals je ziet, dat hoe grootter 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!

¹⁾ Hier zijn de formules... voor wie er van houdt!

Als we de periode T, de frequentie F en de golflengte λ (lambda) noemen, kunnen wij de volgende betrekkingen opschrijven:

$$T = \frac{1}{F}; F = \frac{1}{T}; \lambda = 300\,000\,000 \frac{T}{F}$$

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

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

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 dien magneet wordt aangetrokken.

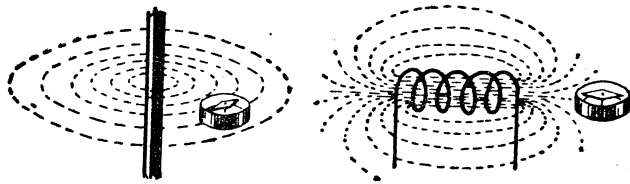
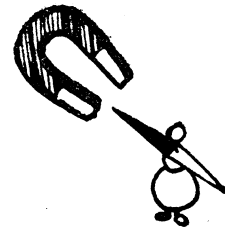


Fig.6. Het magnetische veld van een rechten geleider (links) en dat van een spoel (rechts).

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 loopen, zoodat hun magnetische velden elkaar versterken.

Vr. — Hoe kan men dat doen?

W. — Practisch is het voldoende een draad spiraalvormig op te rollen. Zoo krijgen we dan een electro-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 er van vergroot.

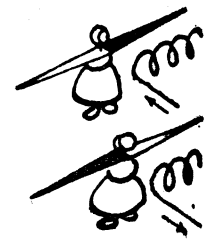
Vr. — Hangt de richting van de aantrekkingskracht van den magneet af van de stroomrichting?

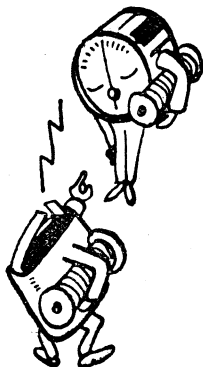
W. — Ja. Als voor een bepaalden stroom de eene pool van den electromagneet de noordpool van de kompasnaald aantrekt, zal, als men den stroom omkeert, de zuidpool aangetrokken worden. Want het magnetisch veld heeft een richting, die afhankelijk is van de richting van den stroom, die dat veld voortbracht.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

Vr. — Dus, als ik je goed heb begrepen, zijn de electro-magnetische golven eigenlijk niets anders dan velden, die den 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 zijn 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 welken geleider, die zich binnen haar gebied bevindt, ontwikkelen de electro-magnetische golven een stroom?

W. — Ja! Bijv. in dit metalen staafje, dat mijn scheerzeep en mijn kwast vasthoudt, is op het oogenblik een hoeveelheid hoogfrequente stroomen aanwezig, voortgebracht door alle nu in werking zijnde zenders.

Vr. — Ben je dan niet bang, dat je geëlectrocuteerd wordt onder het scheren?

W. — Neen, want die stroomen zijn buitengewoon zwak, gezien den grooten 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. 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 den milli-ampèremeter met de tweede (fig. 7) en ik koppel de beide spoelen.

Vr. — Wel neen! Zij zijn heelemaal niet gekoppeld, want er is een afstand tusschen.

W. — Je vergist je, waarde vriend! De koppeling in kwestie is een electro-magnetische: de tweede spoel bevindt zich in het veld van de eerste. En overigens zul je dat dadelijk zien.

Vr. — Je vergist je, waarde vriend! De koppeling in kwestie is een electro-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 gelooven, 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 zoo 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 dus 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 den milli-ampèremeter week even naar rechts uit en ging direct naar nul terug, wat dus een stroom van korten 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 loopen....

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

W. — Weet nu, dat de stroom, die het veld voortbrengt, de **induceerende stroom** heet; de door het veld voortgebrachte is de **geïnduceerde stroom**. En het verschijnsel, dat de eene stroom op een afstand een anderen stroom veroorzaakt, draagt den naam: **electro-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 denzelfden aard op in mij. En zoo maken wij inductie?

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



DERDE GESPREK

Bij de voortzetting van de bestudeering der inductie-verschijnselen brengt Weetal zijn neefje er toe om de zelfinductie opnieuw te ontdekken, waarvan de reactantie zich verzet tegen den doortocht van wisselstroomen. 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 eene spoel een geïnduceerden stroom voortbrengt in de andere. Maar hoe is de richting en de sterkte van dien geïnduceerden stroom?

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

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

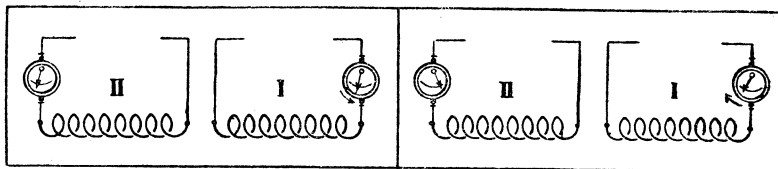
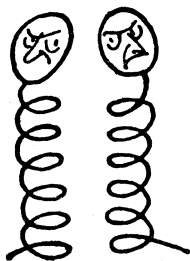


Fig. 8a. Als de stroom in spoel I toeneemt, induceert hij in spoel II een stroom van tegengestelde richting.

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

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

Vr. — Dat is net als met den hond van oome Kees....

W. — Weer een mop zeker?

Vr. — Heelemaal niet! Die hond is zoo 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 loopen, sleept het beest hem mee om krachttoeren van snelheid te leveren....

W. — Ik heb zoo'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 voegen, dat hoe harder of langzamer je oom liep, des te sterker de reactie van den hond was, want de sterkte van den geïnduceerden stroom is evenredig met de snelheid van de verandering van den induceerenden 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 eene 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 inducereen.

W. — Mijn beste Vraagal, je hebt zoo juist de **zelfinductie** opnieuw ontdekt! Mijn compliment daarvoor! Inderdaad ontstaat de geïnduceerde stroom eveneens in de door den induceerenden stroom doorloopen spoel, waar hij samenkomt met laatstgenoemden, 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 den held.

W. — Je deed beter een goede verhandeling over de electriciteit te lezen.

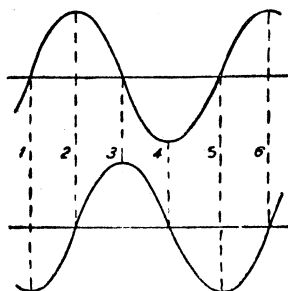


Fig. 9. Boven: De wisselstroom. Beneden: De stroom, die geïnduceerd wordt door den bovengenoemden wisselstroom.

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.

inductiestroom en des te meer verzetten zij zich tegen die veranderingen.

Vr. — Dus voor de hooge frequenties is de inductieve reactantie van een spoel grooter 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!

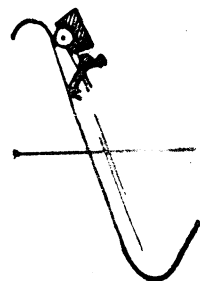
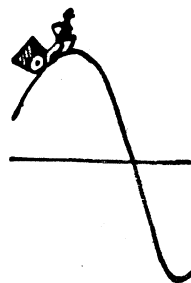
LATEN WIJ HET DAN NU EENS OVER DE CONDENSATOREN HEBBEN!

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 tusschen de vaste messen.

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

Vr. — „Capaciteit“?! Waarschijnlijk weer een nieuwe term, dien ik leeren 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, den naam **condensator** verdienen.

W. — Een condensator is te vergelijken met twee reservoirs, die van elkaar zijn gescheiden door een gummi-membraan (fig. 10). Een pomp, die gedurende een zeer kort oogenblik in werking is gebracht, veroorzaakt een drukverschil tusschen 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, zooals 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 electronen zich op dezelfde wijze zullen verdeelen.

W. — Daar vergis je je in. Daar de atomen van plaat 1 positief zijn (een tekort aan electronen!) zullen zij door het dunne schotje, dat hen isoleert, de electronen van plaat 2 aantrekken, zoodat die zich ophoopen in het deel van plaat 2, dat grenst aan 1. Die opeenhooping van electronen maakt het mogelijk op de platen van den condensator veel grotere

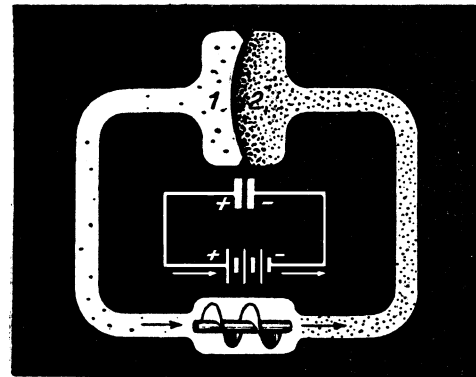


Fig. 10. Twee reservoirs, onderling gescheiden door een elastisch membraan, gelijk op een electrischen condensator. De pomp, die het drukverschil veroorzaakt, is te vergelijken met een electrische batterij, die een potentiaalverschil doet ontstaan.

electrische ladingen op te bergen, dan men zonder die aantrekking van electronen door de positieve atomen had kunnen doen.

Vr. — Als ik het dus goed heb begrepen, is de voornaamste eigenschap van een condensator het mogelijk maken van een opeenhooping van electrische ladingen op de platen?

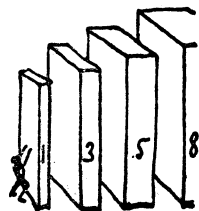
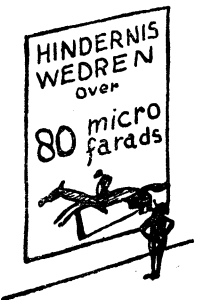
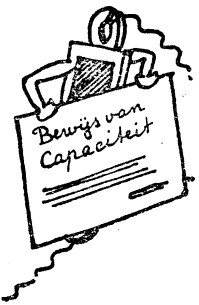
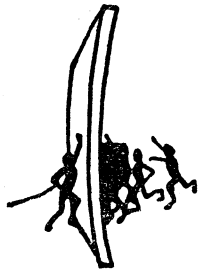
W. — Ja, en die eigenschap nu heet de **capaciteit** van den condensator. Waarvan is nu naar jouw meening de waarde afhankelijk?

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.

D. — Dat is goed. Van den condensator zeggen wij, dat de capaciteit omgekeerd evenredig is met den afstand tusschen de platen. Maar, om terug te komen op onze reservoirs, denk je niet, dat de capaciteit eveneens afhankelijk is van den aard van het elastisch membraan?

Vr. — Natuurlijk! Als het van gummi gemaakt is, is het buigzamer dan wanneer het bijv. van blik is.

W. — Bijgevolg is de capaciteit van den condensator ook afhankelijk van den aard van de stof, die zich tusschen de platen bevindt en die het **diëlectricum** genoemd wordt. De specifieke of soortelijke inductiecoëfficiënt, die de meer



grooten aangeeft, heet de **diëlectrische constante**. Voor lucht heeft men 1 aangenomen. Onder die voorwaarden is bijv. de diëlectrische constante van mica:8. Zoodat, als je in een luchtcondensator van 10 microfarads tusschen 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 groote capaciteit. Daarom maakt men gebruik van onderverdelingen: **microfarad**, dat is het miljoenste deel van een farad, of **micro-microfarad**, dat is het miljoenste deel van een microfarad. ¹⁾

Vr. — Ik vind het een verdraaid ingewikkeld systeem. Maar, om nog eens terug te komen tot de factoren, waarvan de capaciteit afhankelijk is, mij dunkt, zij is eveneens afhankelijk van de oppervlakte van het membraan, want hoe grooter dit is, des te grooter is de werkingssfeer van de positieve atomen op de electronen. ²⁾

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

Vr. — Kortom, om de capaciteit van een condensator te vergrooten, kan men óf de oppervlakte van de platen grooter maken, óf ze dichter bij elkaar plaatsen. Dus ik denk, dat men met zelfs heel kleine platen een groote 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 den druk zal scheuren. Ook kan de spanning tusschen twee te dicht bij elkaar liggende platen een vonk doen overspringen. De al te sterk aangetrokken electronen dringen dan door het diëlectricum heen!

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

¹⁾ Vroeger maakte men om de capaciteit te meten ook wel gebruik van een andere eenheid: den centimeter (cm), die echter niets gemeen heeft met de lengte-eenheid van dien naam!






$$1 \text{ microfarad} = 9 \times 10^5 \text{ cm.} \quad (1 \text{ nF} = 1000 \text{ pF} = 900 \text{ cm})$$








²⁾ De capaciteit C van een condensator is gelijk aan:

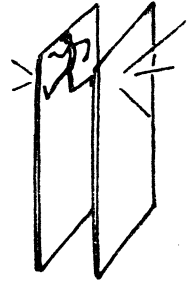
$$C = 0,0885 K \frac{O}{d} \text{ microfarads.}$$

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

EENIGE SYMBOLEN, ZOOALS ZIJ IN RADIO-SCHEMA'S WORDEN GEBRUIKT.

	BATTERIJ OF ACCUMULATOR		GELJKSTROOM- BRON		WISSELSTROOM- BRON		MEET- INSTRUMENT		POTENTIOMETER
---	-------------------------------	---	----------------------	---	-----------------------	---	---------------------	---	---------------

	DETECTOR GELJK- RICHTER		GLOEIDRAAD		KATHODE		ROOSTER		ANODE OF PLAAT		SCHERM- ROOSTER		DIODE
---	-------------------------------	---	------------	---	---------	---	---------	---	----------------------	--	--------------------	---	-------



VIERDE GESPREK

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 den stroom een zekeren wisselstroomweerstand, „capacitieve reactantie” genaamd, in den weg leggen. Vraagal begint verward te raken tusschen 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. — Den laatsten 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 den condensator met een elektrische batterij verbindt. W. — Dat heb je goed onthouden! Men zegt dan, dat de condensator geladen is.

Vr. — Dus op het oogenblik, dat wij den condensator verbinden met een stroombron, staat deze laatste een zekeren laadstroom af. Maar blijft de stroom doorgaan, als de condensator geladen is?

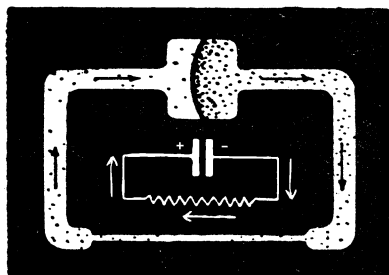
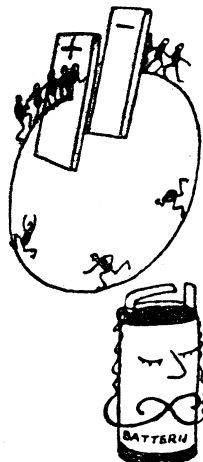


Fig. 11. Ontlading van een condensator door een Ohmschen weerstand.

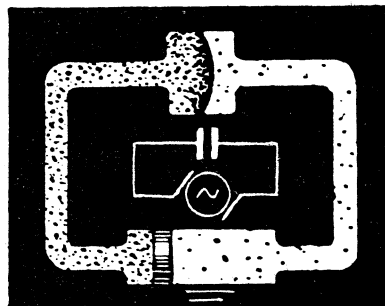


Fig. 12. De loop van den wisselstroom door den condensator.

W. — Neen, die houdt heelemaal op. Maar als je daarna de batterij wegneemt en er een weerstand voor in de plaats stelt, veroorzaakt je een **ontlading** van den condensator.

Vr. — Hoe dat zoo?

W. — Doodeenvoudig, doordat je dan aan de overtollige electronen op de negatieve platen de gelegenheid geeft de atomen van de positieve platen, die een tekort aan electronen hebben, aan te vullen. De stroom van heel korten duur, die op dat oogenblik door den weerstand gaat, wordt **ontladingstroom** 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 den vorigen keer een dergelijk voorbeeld hebben gebruikt, toen wij den condensator vergeleken met een elastisch tusschenschot, dat twee reservoirs van elkander scheidde. De ontlasting van een condensator door een weerstand heen is dan te vergelijken met den 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 ont-



laden, 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 den cylinder gaat, laadt de zuiger den 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 onzen „kring” een ononderbroken telkens omkeerende beweging van electronen plaats heeft. Er gaat daar werkelijk een wisselstroom rond.

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

DE VERSCHILLENDE „-ANTIES”....

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

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

W. — Natuurlijk! En daarom heeft men den weerstand, dien het biedt aan den doortocht van den wisselstroom, den **capacitieven weerstand** of **capacitieve reactantie** genoemd.

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

W. — Integendeel, Vraagal, het is heusch niet zoo moeilijk! Je zult heel gemakkelijk zelf kunnen raden, van welke factoren die capacitieve reactantie 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 electronen laat het diens gevolg aan den eenen kant binnenkomen en aan den anderen kant vertrekken.

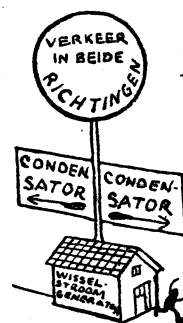
W. — Dus naarmate de capaciteit grooter is, gaat de wisselstroom gemakkelijker rond en wij zeggen dan, dat de capacitieve reactantie kleiner is.

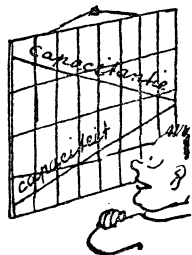
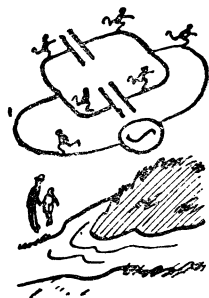
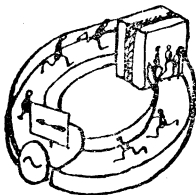
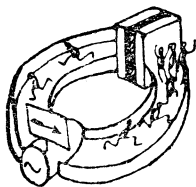
Vr. — Juist het tegengestelde dus van wat er gebeurt met de inductieve reactantie, die toeneemt met de zelfinductie van de spoelen. Maar om op de zaak terug te komen, is de capacitieve reactantie niet evenals de inductieve reactantie afhankelijk van de frequentie van den wisselstroom?

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

Vr. — Dus de stroomsterkte neemt toe met de frequentie, hetgeen bewijst, dat de capacitieve reactantie 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 electriciteit worden gebruikt. En om hun eigenschappen nog eens voor je op te sommen, zal ik dit tabelletje voor je teekenen:





Zuivere Ohmsche weerstand	Onafhankelijk van de frequentie.	
Inductieve reactantie of weerstand van een zelfinductie	Evenredig met de zelfinductie	Evenredig met de frequentie
Capacitieve reactantie of weerstand van een capaciteit	Omgekeerd evenredig met de capaciteit	Omgekeerd evenredig met de frequentie

Dit zijn de eenvoudige **impedanties**, dat is de algemeene naam voor alle wisselstroom-weerstanden.

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

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 zoo, dat bijvoorbeeld een spoel, behalve haar zelfinductie, ook steeds een zekeren Ohmschen weerstand heeft, afhankelijk van de lengte, de doorsnede en het materiaal van den 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 den weg van den wisselstroom opzettelijk verscheidene impedanties opstellen van verschillenden aard.

HET FAMILIELEVEN VAN DE IMPEDANTIES.

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

W. — Helaas! Zoo 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, zoodat zij allemaal door denzelfden stroom doorloopen worden (fig. 13a). De tweede manier is de **parallel-schakeling** (fig. 13b); de hoofdstroom wordt dan in evenveel takstroommen verdeeld als er impedanties parallel geschakeld zijn; in iederen tak zal de stroom dan sterker zijn, naarmate de tegenstand kleiner is.

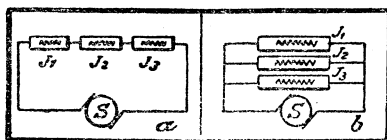


Fig. 13. a. „In serie” geschakeld.

b. „Parallel” geschakeld.

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

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

Vr. — ...een gezamenlijken 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 electronen dan gemakkelijker kunnen passeeren. 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 capacitieve 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.

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, zoolang je spreekt over Ohmsche weerstanden en over zelfinductiespoelen, waarvan de inductieve reactantie evenredig is met de zelfinductie. Maar voor de condensatoren gaat dat niet op, want de capacatieve reactantie is omgekeerd evenredig met de capaciteit. Dus terwijl de capacatieve reactanties in serie bij elkaar geteld worden, verzwakken daarentegen de capaciteiten elkander.

Vr. — Wel verdraaid!

W. — Ik zie, dat het absoluut vergeefs is een beroep te doen op je wiskundig gevoel. Kijk (fig. 14), deze twee condensatoren C_1 en C_2 staan in serie geschakeld. Zooals 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 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 vergrooting van het membraan.

W. — Zoo is het....!

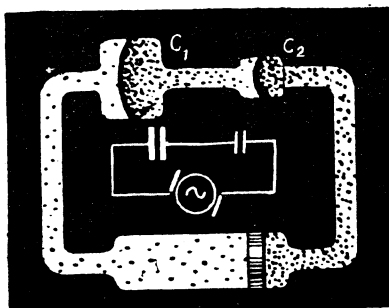
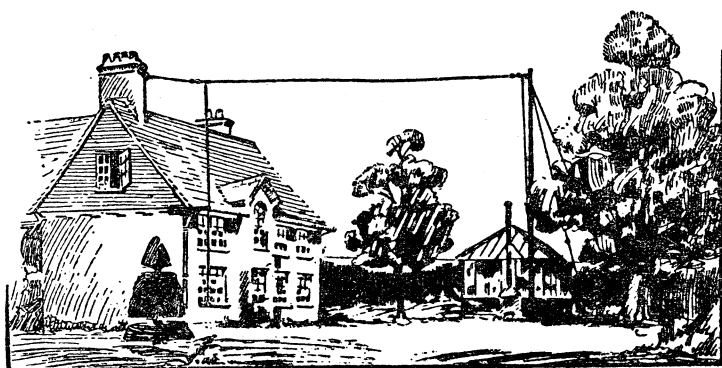
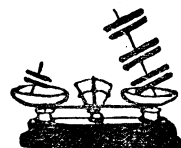


Fig. 14. Serie-schakeling van condensatoren.



VIJFDE GESPREK

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 resonantievraagstuk aan, dat een der grondbeginselen van de radio is. Weetal legt vooral de nadruk op enkele punten, die later de studie van de radio-electrische kringen zullen vergemakkelijken.

WEDSTRIJD: ZELFINDUCTIE TEGEN CAPACITEIT.

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

W. — Dat was te voorzien. Ik heb daarom voor jou een tabelletje geteekend, waarin de eigenschappen zijn samengevat van de weerstanden, condensatoren en zelfinducties, in serie of parallel geschakeld, met hun impedanties (fig. 15).


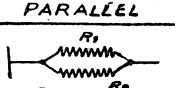
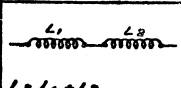
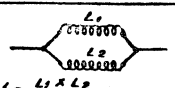
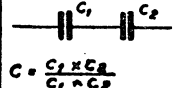
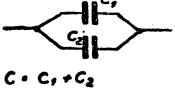
SERIE	PARALLEEL
 $R = R_1 + R_2$	 $R = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$
 $L = L_1 + L_2$	 $L = \frac{L_1 \times L_2}{L_1 + L_2}$
 $C = \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2}$	 $C = C_1 + C_2$
IMPEDANTIES	
$J = J_1 + J_2$	$J = \frac{J_1 \times J_2}{J_1 + J_2}$

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

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

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

Vr. — ...slapeloze nachten, ja! Ik heb een heelen 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..

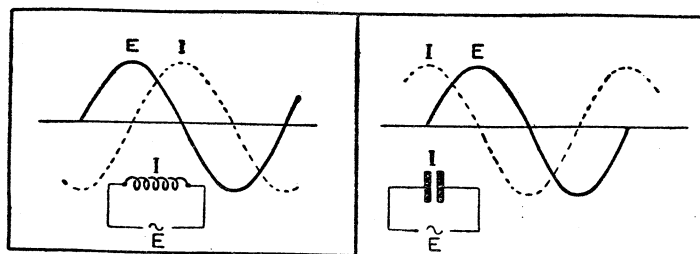
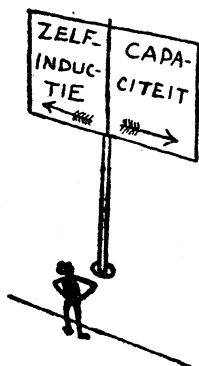


Fig. 16. (Links): Phaseverschuiving van den stroom I t.o.v. de door een zelfinductie opgewekte spanning E.
Fig. 17. (Rechts): Phaseverschuiving door een capaciteit. De stroom I loopt vóór bij de spanning E

W. — Dat is niet zoo 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 tezamen weerstand bieden aan den vrijen doortocht van den wisselstroom, deze twee weerstanden in zeker opzicht in verschillende



richtingen werken. Terwijl de zelfinductie met zijn traagheid het optreden van den stroom tegenhoudt, als de spanning aangelegd wordt (men zegt dan, dat de stroom in **phase na-ijlt** bij de spanning), bezit de capaciteit een tegenovergestelde eigenschap: de stroom is het sterkst op het oogenblik, 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.

Vr. — Allemachtig! Dat is zoo! Als het membraan doorgebogen is, houdt alles op en juist op het oogenblik, dat het weer in den platten vorm komt, gaan de meeste electronen rond.

W. — De technici gebruiken een meer deskundig taaltje dan jij. Zij zeggen, dat in een capaciteit de stroom in phase voorloopt bij de spanning.

Vr. — Goed! Maar wat gebeurt er als een wisselende spanning wordt aangelegd aan een serie-schakeling 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 tusschen den wisselstroomweerstand van de zelfinductie en dien van de capaciteit. Als de inductieve reactantie grooter is dan de capacatieve reactantie, zal deze overheerschen en omgekeerd, want de capacatieve reactantie moet afgetrokken worden van de inductieve, omdat zij op een lijnrecht tegengestelde manier werkt.

Vr. — Goed, als dat zoo 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 toename van de frequentie zal de inductieve reactantie grooter worden en de capacatieve kleiner. Er zal dus noodgedwongen een oogenblik komen, waarop bij een zekere frequentie de inductieve en de capacatieve reactantie gelijk zijn. En omdat de eene van de andere afgetrokken moet worden, zal er dan in onzen kring heelemaal geen impedantie zijn?!

W. — Die redeneering is niet slecht! Je vergeet echter, dat de gewone Ohmsche weerstand, die niet afhankelijk is van de frequentie, dan toch in den kring blijft; maar het is waar, dat bij een bepaalde frequentie de inductieve en de capacatieve reactantie elkander opheffen en dat er op dat moment geen phase-verschuiving tusschen de spanning en den stroom meer zal zijn.

OVER EEN DRUPPEL, DIE EEN SPOORRAIL DOET BREKEN.

Vr. — Dus op dat moment zal de weerstand van den 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 zoo 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 resonantie-frequentie heeft, waarbij de impedantie minimaal is en gelijk aan den Ohmschen weerstand, terwijl de stroomschommelingen zeer

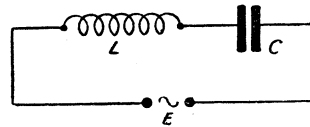
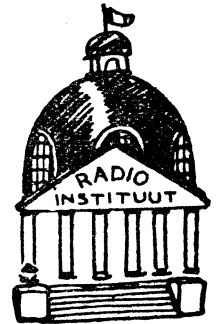


Fig. 18. De zelfinductie L en de capaciteit C zijn in serie geschakeld. Voor de resonantie-frequentie zijn de impedantie en de phase-verschuiving nul.



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 resonantie-frequentie, 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 oogenblik om die eerste te versterken, enzovoort.

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 resonantie-frequentie 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 electriciteit terugkeeren. Veronderstel nu eens, dat je een condensator hebt en dat je aan de klemmen een zelf-inductiespoel verbindt. Wat gaat er dan gebeuren?

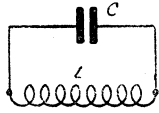


Fig. 19. Een „trillingskring”

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 redeneeringen! Mijn waarde neef, je vergeet één

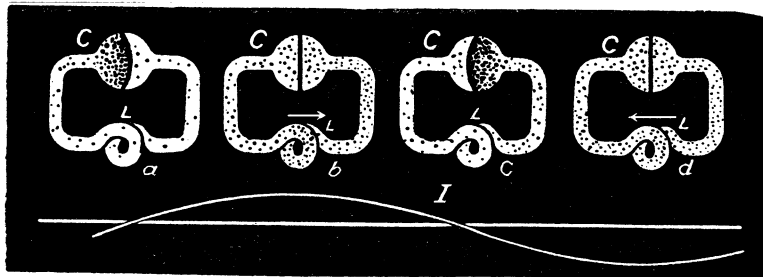
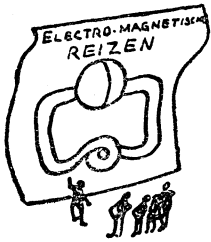


Fig. 20. De beweging van de electronen in den trillingskring gedurende één periode. In a en c is de stroom nul, maar de spanning aan den condensator C is op haar maximum. In b en d daarentegen is de stroom maximaal en de spanning aan C nul.

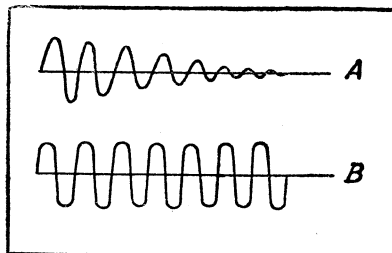
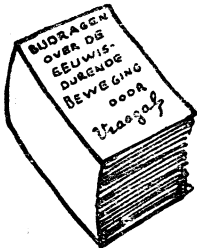


Fig. 21. A: Gedempte trilling, B: Ongedempte trilling.

ding: namelijk, dat de zelfinductiespoel zoo'n beetje een bijzondere weerstand is, die te vergelijken is met de traagheid. Evenals de electronen 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 electronenstroom 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 zoo verder.

Vr. — Dat houdt dus nooit op? Het is dus voldoende den condensator éénmaal te laden, opdat hij zichzelf daarna bij ontlading door een zelf-



inductiespoel eeuwigdurend weer laadt en ontladst?... Dat is dus de eeuwigdurende beweging, het **perpetuum mobile**!?

W. — Draaf niet zoo door! Onze kring heeft toch ook een Ohmschen weerstand. De stroom ondergaat dus een zekere verzwakking om bij iederen doortocht dien weerstand te kunnen overwinnen. De trillingen worden dus hoe langer hoe zwakker en houden tenslotte heelemaal op.

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

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

Vr. — Ik denk, dat de electronen verstandig en traag genoeg zijn om de wet van minimum inspanning te volgen. Daarvoor behoeven zij slechts te trillen in de resonantie-frequentie 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 zelf-inductie en een capaciteit, en dien wij **trillingskring** of **-keten**¹⁾ noemen, veroorzaakt de ontlading van den condensator **gedempte trillingen** (een wisselstroom met afnemende amplitudo) met de **eigen- of resonantie-frequentie** van dien kring.

DE GROOTE EN DE KLEINE KRING.

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

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

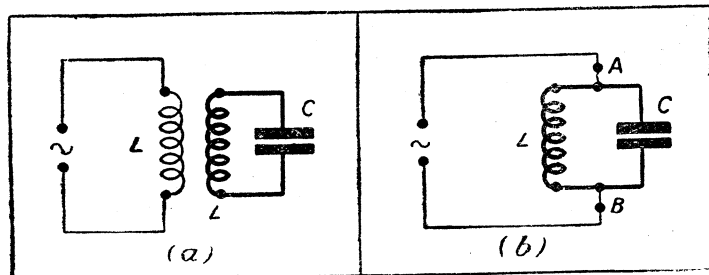


Fig. 22. De trillingskring LC ontvangt de energie hetzij door inductie (bij a), hetzij rechtstreeks (bij b).

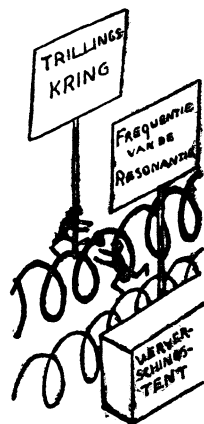
Vr. — Dat kan ik begrijpen, want dat is weer net als bij den slinger van de klok, waaraan de veer bij iedere slingering een lichten duw of impulsie geeft.

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

Vr. — Ik denk, dat in beide gevallen alleen een stroom met de resonantie-frequentie een sterken stroom in den 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 anderen kring (fig. 22b), hij daarin een zeer hoge impedantie vormt voor den resonantiestroom.

Vr. — Ja maar... neen, nu begrijp ik je niet meer! Je hebt me toch zoo



¹⁾ Of met een vreemd woord: **circuit**.

juist gezegd, dat voor den resonantiestroom de impedantie van den 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, dien ik hier in dikke lijnen teeken, is onze trillingskring (fig. 22b). De andere is de kring, waardoor de wisselstroom met de resonantie-frequentie 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.... Binnen in den trillingskring gaat een stroom rond, waarvoor de impedantie van den kring erg klein is. Maar bekijk nu den in dunne lijnen geteekenden kring eens. Die verandert de zaak. Die kring kan in iedere periode aan den trillingskring slechts die zwakke hoeveelheid energie overdragen, welke deze gedurende dat korte oogenblik heeft verloren. Er kan daar dus slechts een zeer zwakke stroom rondgaan. Wij leiden daaruit af dat onze trillingskring ten opzichte van den grooten kring de rol vervult van een zeer hooge 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 den resonantiestroom van den grooten kring, veroorzaakt die stroom volgens de wet van Ohm een hooge wisselspanning aan de klemmen A en B van den kleinen kring.





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



W. — In dat geval zullen de **gedwongen trillingen**, die in den trillingskring ontstaan, veel zwakker zijn. Daarentegen zal er een veel lagere impedantie ontstaan voor den stroom in den grooten kring van fig. 22b. Het is zoo, dat als er in den grooten kring verscheidene stroomen met ongelijke frequenties tegelijk loopen, alleen die met de resonantie-frequentie een sterken stroom in den trillingskring zal opwekken, terwijl hij aan de klemmen van dien kring een belangrijke spanning zal doen ontstaan. Je kunt dus uit verschillende stroomen er in zeker opzicht één uitzoeken: dien met de resonantie-frequentie.

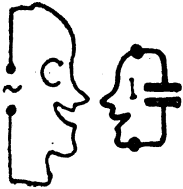
Vr. — Ik zou je nog willen vragen, waarvan de resonantie-frequentie afhankelijk is, alsmede de....

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

EENIGE SYMBOLEN, ZOOALS ZIJ IN RADIO-SCHEMA'S WORDEN GEBRUIKT.

	DUBBELE DIODE		TRIODE		DUBBEL- ROOSTER- LAMP		TETRODE MET SCHERM- ROOSTER
---	------------------	---	--------	---	-----------------------------	--	-----------------------------------

	PENTODE		HEPTODE		OKTODE
---	---------	---	---------	---	--------



ZESDE GESPREK

De eerste vijf gesprekken hebben Vraagal (en ook U, waarde lezer!) in staat gesteld de onmisbare begrippen van de algemeene electriciteit in zich op te nemen. Nu werpt Vraagal zich, meegesleept door Weetal, op de bestudeering 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 den vorigen keer verliet, heb je gevraagd van welke factoren de resonantie-frequentie van een trillingskring eigenlijk afhankelijk is.

Vr. — Inderdaad, maar intusschen 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 constateeren, behoef je geen Sherlock Holmes te zijn....

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

W. — En bijgevolg neemt de frequentie tegelijkertijd af. Ik maak je mijn compliment, Vraagal: je redeneering 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 den vierkantswortel van de capaciteit en van de zelfinductie. ¹⁾

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

DE ROOKKRINGEN.

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

Vr. — ...zich daar electro-magnetische golven vormen, die zich uitbreiden zooals rookkringen en die wijder worden met de krankzinnige snelheid van 300 000 km per seconde.

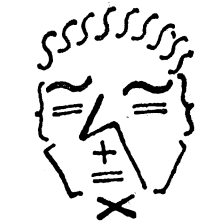
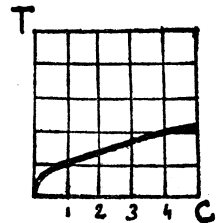
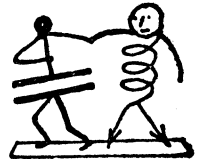
W. — Prachtig! Je geheugen takelt nog niet af.... Nu, wat zal er gebeuren, als die golven op hun weg een anderen verticalen draad ontmoeten?

Vr. — Ik denk, dat wij hier het principe van het omkeeren der verschijnselen kunnen toepassen en mogen zeggen, dat de golven in den draad, dien zij tegenkomen, hoogfrequente stroomen opwekken.

¹⁾ Als men de zelfinductie L en de capaciteit C kent, leidt men met de formules 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!



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

VRAAGAL IS BANG VOOR ELECTROCUTIE.

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

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

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

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

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

Vr. — Dat stelt me weer een beetje gerust.... maar er is nog een ander punt, dat mij beangstigend schijnt. Omdat de ontvangantenne de stroomen opvangt van alle radiostations, die in werking zijn, zullen wij een verschrikkelijk mengsel hooren van klassieke en moderne muziek, van voordrachten en persberichten, kookpraatjes enzoovoort. 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 zoo is. De radiotoestellen zijn **selectief**, d.w.z. zij zijn in staat om uit die massa stroomen, die door de antenne gaan, diengenen uit te kiezen, die overeenkomt met den gewenschten zender.

Vr. — Op welke manier!

W. — Met behulp van een of meer trillingskringen. De antenne wordt bijvoorbeeld 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 stroomen zal alleen die met de resonantie-frequentie van den trillingskring LC daarin een stroom inducereeren, die een zekere vol-

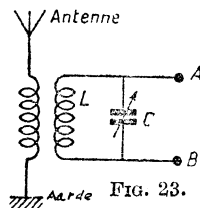
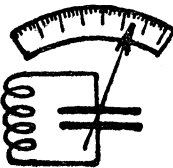
doende wisselspanning tusschen de punten A en B zal veroorzaken.

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

W. — Zoo is het! De frequentie is voor den zender, wat het nummer is voor een telefoon-abonné.

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

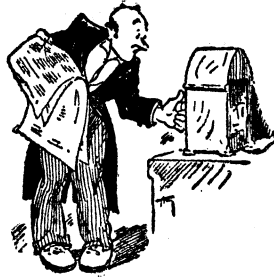
W. — Doodeenvoudig door op verschillende frequenties **af te stemmen**. Om de resonantie-frequentie te veranderen is het voldoende om óf de zelf-inductie óf de capaciteit van een kring te wijzigen. Zie je niet, dat er in de teekening door den condensator een pijl is geteekend? In de schema's (teekeningen) duidt een pijl gewoonlijk aan, dat de waarde van dat onderdeel veranderbaar of **variabel** is. Voor deze gelegenheid gebruiken wij een



condensator met veranderbare capaciteit, of zooals men kortweg zegt: een veranderbare of variabele condensator.

Vr. — Dus in het kort, er zijn in de antenne verscheidene stroomen met verschillende frequenties aanwezig. Door de capaciteit van den variabele condensator te wijzigen hengel je er telkens één van over in den trillingskring. Wij hebben dan tusschen 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 radiolampen. Maar de geheimen daarvan zullen wij een volgenden keer onderzoeken.



Zoo..... werkt de radio 3

Scannen en grafische bewerkingen: PE1ABR

Om de radio te begrijpen is het vóór alles van belang de meer-electroden-lamp 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 lampen uit te leggen: de diode en de triode. Zoo leert Vraagal achtereenvolgens de rol van de kathode, de anode en van het rooster.

VRAAGAL ORIËNTEERT ZICH.

Vr. — Daar je mij den vorigen keer hebt beloofd over de radiolampen te zullen spreken, heb ik mij een beetje omtrent dat vraagstuk georiënteerd. Door in mijn woordenboek te kijken heb ik al geleerd, dat zij ook „electronen-buizen” en „electronenlampen” 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 electronen inderdaad een belangrijke rol in de radiolampen spelen.

Vr. — Houd me nu niet altijd voor den gek, Weetal! Wat doen de electronen in zoo'n lamp?

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 zoo 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 zegt met een bescheiden zinspeling, 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 electronen in de moleculen van een verwarmde stof?

Vr. — Ik denk, dat die electronen vergeleken kunnen worden met reizigers, die in een auto zitten, welke in een snellen rit als krankzinnig heen en weer slingert. De electronen-reizigers worden hevig door elkaar geslingerd en hebben daaronder te lijden.

W. — De wetenschap bezit nog geen inlichtingen over den geestestoestand van de electronen...., 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 electronen-auto's zoo snel en onordelijk, dat er, naar ik vrees, niet zoo heel weinig electronen-reizigers uitgeslingerd zullen worden.

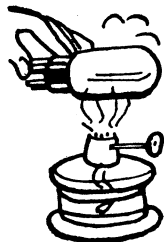
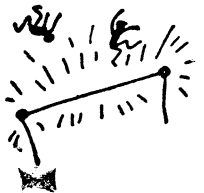
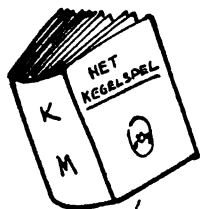
W. — Dat noemt men nu de **electronen-uitzending** of **-emissie** van een lichaam. Brengt men een metaaldraad aan het gloeien, dan zal hij een hoeveelheid electronen afscheiden. Er bestaan nu bepaalde metaal-oxiden, voor welke de electronen-uitzending reeds bij een betrekkelijk lage temperatuur begint.

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 met metaal verwarmen teneinde de electronen-emissie te verkrijgen?

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

Vr. — Zoo zoo! Ik wist niet, dat men radiolampen met petroleum stookte....

W. — In de practijk verhit men de **kathode** (zoo noemt men in een lamp die electrode, welke voor de electronen-emissie zorgt) altijd door een electrischen stroom. Maar die stroom — de **gloeistroom** — speelt een zeer onder-



geschikte rol en zou tenslotte heel goed door een andere warmtebron vervangen kunnen worden. In de moderne lampen 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 dien draad heen loopt. Die gloeidraad is omgeven door een isoleerend porceleinen pijpje, dat de warmte opzammelt en doorgeeft aan een nikkelen buisje, dat het porceleinen pijpje nauw omhult. Het nikkelen buisje is tenslotte bedekt met een electronen 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 = porceleinen pijpje C = nikkelen buisje bedekt met de emitterende laag.

Vr. — Het is dus eigenlijk zoiets als een electrisch comfoor, waarop een ketel staat, die electronen-stoom laat ontsnappen.

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

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

EN HIER IS NU DE DIODE.

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

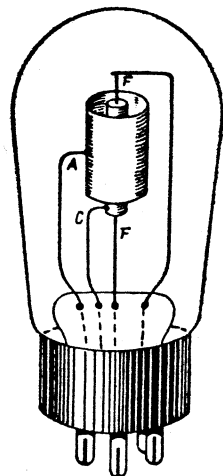


Fig. 25. De diode. F=gloeidraad. C=kathode. A=anode of plaat.

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

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

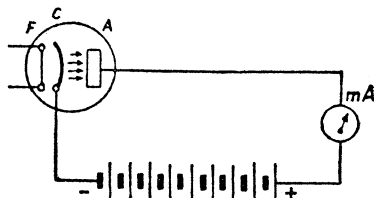
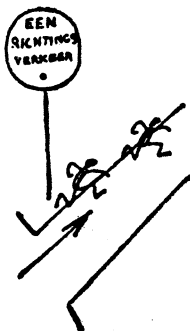
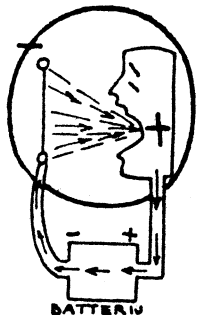
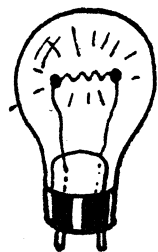


Fig. 26. Door middel van den milli-ampèremeter mA is het mogelijk den stroom te meten, die van de kathode C naar de anode A gaat.

door de batterij te zijn gegaan naar de kathode terugkeert, heet **anode- of plaatstroom**. Het bestaan van dien stroom kun je nu vaststellen met behulp van een milli-ampèremeter, dien je in den plaatkring inschakelt (fig. 26).



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

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

Vr. — Dus onze lamp is voor de electronen, om het zoo eens te zeggen, een straat met eenrichtingsverkeer.

W. — Ja, maar we zeggen het alleen een beetje wetenschappelijker. Men noemt deze twee-electrodenlamp of **diode** een **electronenventiel**.

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

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

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

W. — In de eerste plaats van de spanning, die tusschen 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 elec-

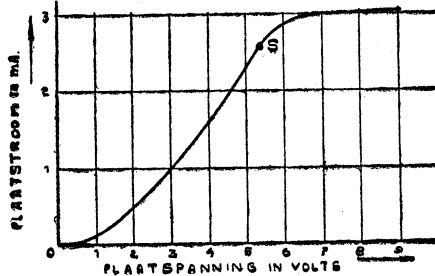


Fig. 27. De kromme toont ons de verandering van den plaatstroom, veroorzaakt door de plaatspanning. Vanaf S begint de verzadiging.

tronen aanroept, 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 vergrooting van de spanning niet meer toenemen.

Vr. — Waarom niet?

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

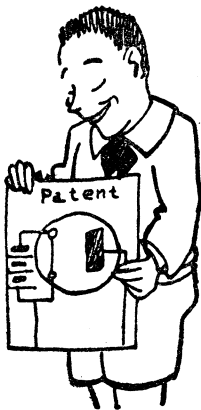
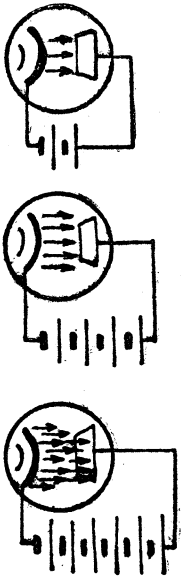
VRAAGAL ONTDEKT AMERIKA!

Vr. — Natuurlijk! De béste 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. — Zeg me die sensationeele uitvinding maar gauw!

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

W. — Alweer mijn compliment, Vraagal! Je hebt zoo juist de zg. **direct verhitte kathode** uitgevonden, die inderdaad veel eenvoudiger is dan de indirect te verhitten kathode, waarvan ik je de samenstelling heb uitgelegd. Maar... je uitvinding komt een beetje laat, want de direct verhitte lampen waren reeds lang bekend, vóór die met indirecte verhitte kwamen. De directe verhitte wordt intusschen nog toegepast in ontvangtoestellen,



die door batterijen gevoed worden en ook in bepaalde lampen van ontvangers, die gevoed worden door den stroom van het lichtnet.

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

IN HET DOOLHOF VAN DE ROOSTERS.

W. — Integendeel! Op het gebied van de lampen is er nog ontzettend veel te doen. In de laatste jaren volgen de nieuwe lampmodellen elkaar met een verbijsterende snelheid op. Door het aantal roosters te vergrooten of den vorm en opstelling daarvan te veranderen, zijn de technici er in geslaagd heel interessante lampen te maken.

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

W. — De roosters — dat zijn als het ware of meer wijde mazen — worden tusschen de kathode en de anode in den weg van de electronen geplaatst. Uit zuiver meetkundig oogpunt vormen zij geen enkelen hinderpaal voor den doortocht van de electronen. Maar omdat zij veel dichter bij de kathode zijn geplaatst dan de anode, oefenen zij op den electronenstroom een veel groteren invloed uit dan de anode.

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

W. — Over den invloed van de rooster-spanning op den anodestroom. Laten wij nu eens een lamp nemen, die na de diode de eenvoudigste is: dat is een lamp met één rooster, hetgeen dus met de kathode en de anode tezamen drie electroden vormt. Men noemt zoo'n lamp een **triode**. Naast bijvoorbeeld de moderne **octoden** is zij in zeker opzicht alweer ouderwetsch.....

Vr.— Toch geef ik er de voorkeur aan, dat je me eerst eens wat over de triode vertelt. De electronen zijn misschien slim genoeg om hun weg te vinden door acht of misschien zelfs nog meer electroden 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 den anodestroom, ga ik tusschen de kathode en het rooster een kleine batterij Bg plaatsen, die met de kathode is verbonden door een in het midden gemaakte aftakking (fig. 28). Zoo kan ik aan het rooster ten opzichte van de kathode een negatieve of positieve spanning geven, door het aan den linker- of aan den rechterkant van de aftakking voor de batterij te verbinden. Op die manier kan ik de rooster-spanning t.o.v. de kathode laten variëren tusschen — 2 en + 2 V. Eveneens kan de plaatsspanning 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, zooals je dadelijk zult zien, kleine veranderingen in de roosterspanning op de sterkte van den anodestroom dezelfde uitwerking hebben als groote 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, dien de milli-ampèremeter mA aangeeft?

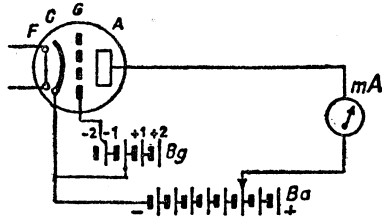
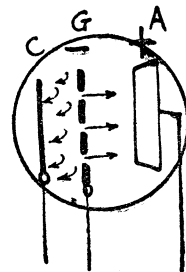
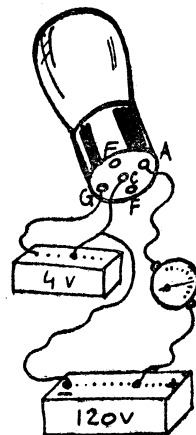
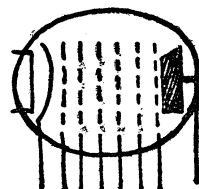


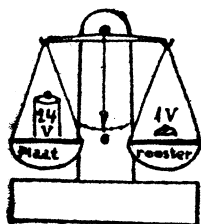
Fig. 28. Dit is een schakeling, die het mogelijk maakt om de verschillende invloeden van de rooster- en plaatspanning op den anodestroom te vergelijken. De roosterbatterij Bg en de plaatbatterij Ba hebben aftakkingen, waardoor men gemakkelijk de gebruikte spanning kan veranderen.



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 zoo krachtig de van de kathode weggeslingerde electronen tegenhield.

STELHEID 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 lamp heet en gemeten wordt in milli-ampères per volt (mA/V). Zoo is dus de steilheid van onze triode 3 mA/V, omdat bij een verandering van de roosterspanning 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 den plaatstroom tot op zekere hoogte ook kunnen vergrooten door de aan de anode aangelegde spanning te verhoogden.

W. — Daar kom ik nu op. Laten wij de roosterspanning weer eens brengen op -2 V en dan den plaatstroom trachten te vergrooten 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 verhoogden met 24 V, teneinde 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 den anodestroom een veel sterkeren invloed uitoefent, dan de plaat. Kortom, als het rooster op fluistertoon de electronen roept, heeft dat hetzelfde effect, als wanneer de plaat luidkeels schreeuwt.

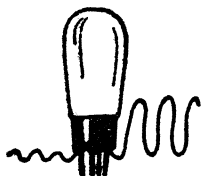
W. — Je hebt het bij het rechte eind, Vraagal! En het cijfer, dat aangeeft hoeveel maal de verandering van de plaatspanning grooter is dan de verandering van de roosterspanning voor het verkrijgen van dezelfde verandering in den anodestroom, wordt de **versterkingsfactor** van een lamp genoemd. Wat is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

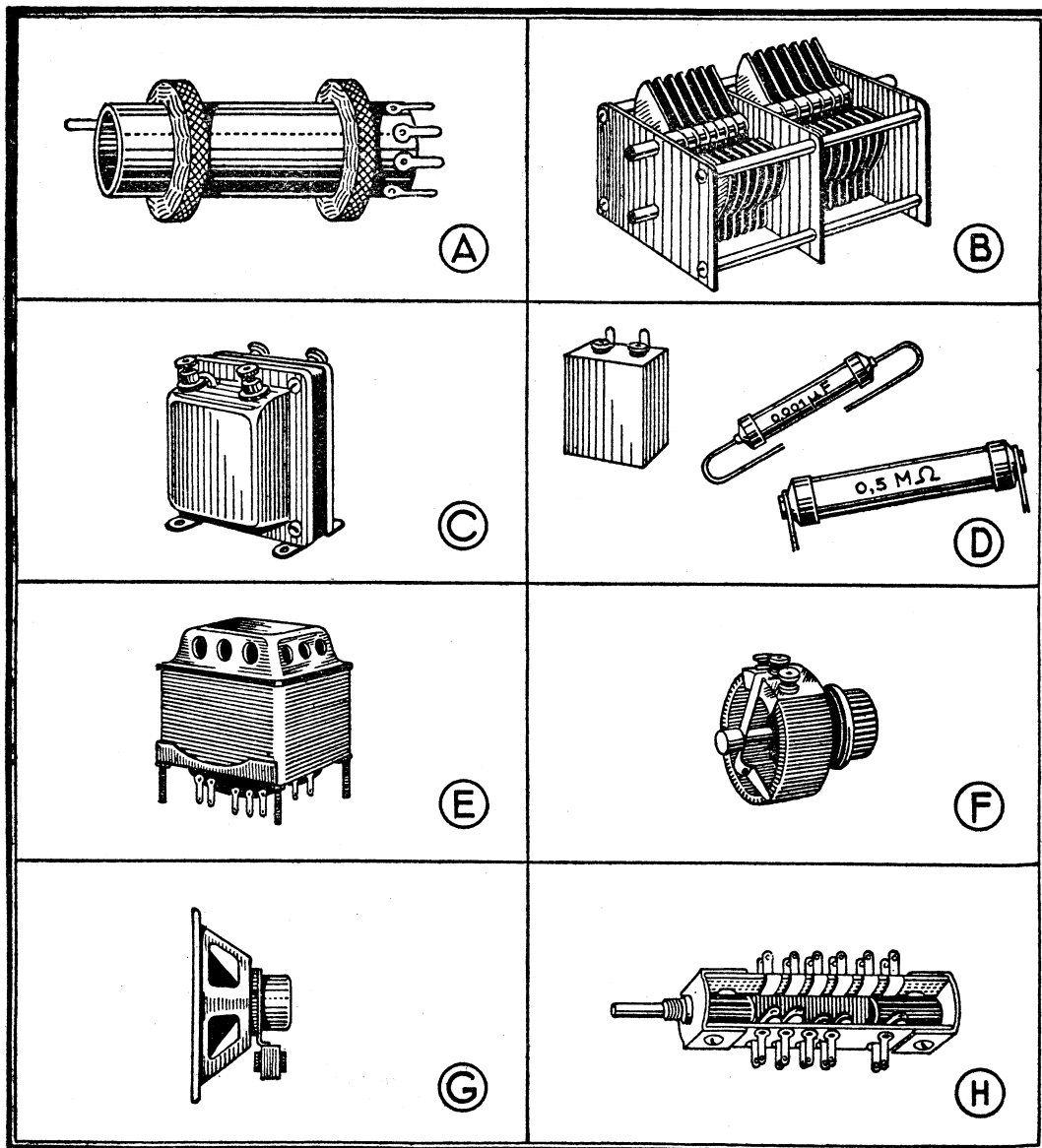
Vr. — Laat eens kijken. Wij hebben de plaatspanning met 24 V moeten verhoogden om den plaatstroom 3 milli-ampères te veranderen. Aan den anderen kant hebben we dezelfde verandering verkregen met slechts 1 V op het rooster. Bijgevolg is de verandering van de spanning aan de plaat $24 \times$ zoo groot 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 groote veranderingen in den plaatstroom.**

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

W. — Daarin vergis je je niet!





A. Hoogfrequent-spoel - B. Variabele condensator (tweevoudige) - C. Laagfrequent-transformator - D. Twee verschillende typen van vaste condensatoren en een vaste weerstand. E. Voedingstransformator - F. Potentiometer - G. Electro-dynamische luidspreker. - H. Meervoudige schakelaar.

ACHTSTE GESPREK

Wat is de „ingang” en de „uitgang” van een lamp? 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 lamp de tusschen het rooster en de kathode aangelegde spanningen zonder vervorming versterkt.

VRAAGAL GEDRAAGT ZICH ERG SLECHT.

W. — Je moeder, Vraagal, heft zich zoo juist bitter beklagd over je gedrag. Het schijnt, dat je de tafel in de eetkamer hebt bedolven onder batterijen, lampen, spoelen en allerlei andere onderdeelen. Je hebt een draad aan den radiator van de centrale verwarming verbonden. Jullie dienstbode is nog niet hersteld van den smak, dien zij gemaakt heeft,

toen ze met haar voet achter dien 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 ontvangtoestel 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 zoo moeilijk zou zijn geweest om er zelf een samen te stellen. Kijk, hier is het. Je ziet, dat er tusschen de antenne en de aarde een afstemkring aanwezig is. Aan de klemmen A en B ontstaan de hoogfrequente wisselspanningen ten gevolge van den antennestroom, zooals je me hebt uitgelegd. Welnu! Die spanningen leg ik aan tusschen de kathode en het rooster van een lamp. Den vorigen keer hebben wij vastgesteld, dat kleine veranderingen van de roosterspanning groote wijzigingen in den plaatstroom veroorzaken. Zoo krijgen wij dan ook in de telefoon T, die ik in de plaatkring heb ingeschakeld, veranderlijke

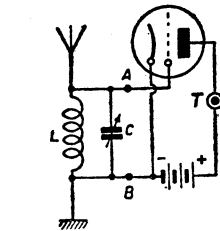


Fig. 29. De ontvanger gebouwd volgens het door Vraagal ontworpen schema. De lamp is goed gemonteerd als versterker... maar de versterkte trillingen veroorzaken geen enkel geluid in de telefoon T!

stroomen en... wij moeten dus muziek hooren.

W. — En hoor je die?

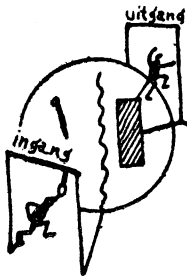
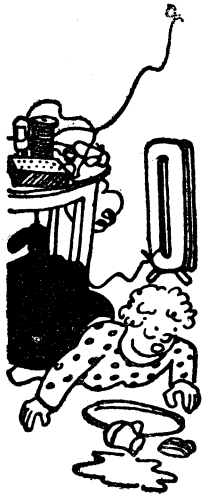
Vr. — Helaas! Ik hoor geen enkel geluid. Misschien is de lamp kapot?

W. — Het wonderlijkste van het geval is, dat je redeneering volkomen juist is... tot op een zeker punt. Inderdaad, om de versterkingseigenschappen van de lamp te gebruiken, moet men de te versterken spanningen tusschen het rooster en de kathode aanleggen. Die twee electroden vormen den „ingang” van de lamp. De „uitgang” bevindt zich tusschen de plaat en de kathode, d.w.z. in den plaatkring, waar men de versterkte trillingen opvangt in den vorm van een veranderlijken plaatstroom. Uit dat oogpunt is je schema in orde. Maar... om verschillende redenen zal je telefoon geen geluid laten hooren; het membraan van je telefoon kan niet op de hooge frequentie van de radio-electrische trillingen trillen.

IN HET RIJK VAN DE KROMME LIJNEN.

Vr. — Wat moeten wij dan doen?

W. — Laat voorloopig je bouwswel maar even rusten en laten wij ons nog eens met de lamp zelf bezig houden. Den vorigen keer hebben we zeer in



het kort de verhouding behandeld, die er bestaat tusschen den plaatstroom en de roosterspanning. Om haar uitvoeriger te leeren kennen, zullen wij de schakeling van het apparaat nog eens bekijken, dat wij reeds in ons vorig gesprek hebben gebruikt (fig. 30). Wij zullen nu eens zorgvuldig noteeren hoe de waarde van den plaatstroom voor iedere waarde van de rooster-spanning afzonderlijk is.

Vr. — Ik zie, dat bij -4 V van het rooster de stroom 0 is; het rooster is te negatief en stoot alle electronen 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.

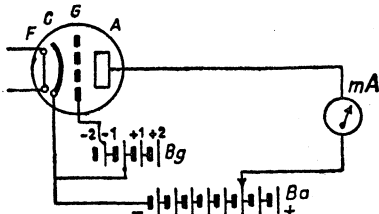


Fig. 30. Een schakeling, die het mogelijk maakt de karakteristiek van de lamp op te meten.

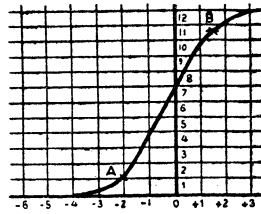
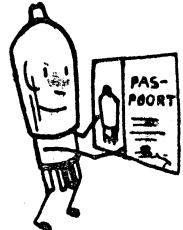


Fig. 31. De karakteristiek van een lamp (een triode).

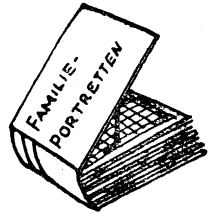
Eg	Ia
-4	0
-3	0,2
-2	1
-1	4
0	7
+1	10
+2	11
+3	12
+4	12

W. — Volgens deze waarden schetsen we nu de karakteristiek van de lamp (fig. 31). Die kromme vormt als het ware het paspoort van de lamp. Zij licht ons in over haar eigenschappen en staat ons toe haar zoo goed mogelijk te gebruiken. Men kan bij deze kromme drie verschillende deelen onderscheiden: ten eerste het deel van het linkereinde tot aan het punt A, dat heet de **onderste bocht**. Vervolgens neemt tusschen 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 den verzadigungsstroom: de kathode kan dan niet meer electronen leveren.



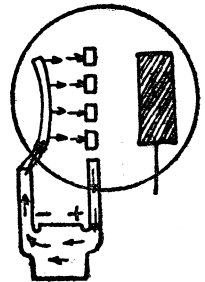
Vr. — Zouden we dezelfde kromme gekregen hebben, als we de anode in plaats van 80 V een andere spanning hadden gegeven?

W. — Zeker niet! Als bijvoorbeeld de plaatspanning hooger is, roept de anode de electronen krachtiger tot zich en is bijgevolg, voor dezelfde rooster-spanning, de plaatstroom sterker. Men kan zoo een karakteristiek teekenen voor iedere plaatspanning en op die manier verkrijgen we een heelen bundel van karakteristieken (fig. 32).



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

W. — Men heeft er meestal belang bij hooge plaatspanningen 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 oogenblik, 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, zoodra het rooster positief wordt.

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

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

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

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

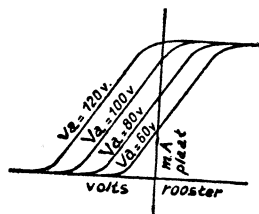
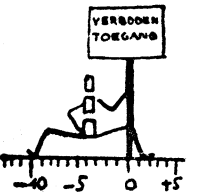
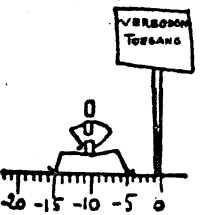
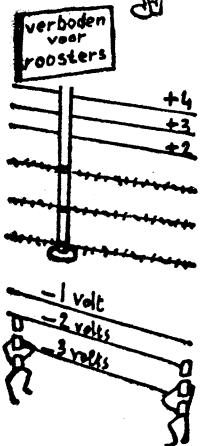
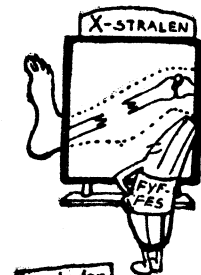


Fig. 32. Een karakteristieken-bundel, waarvan elke kromme bij een bepaalde plaatspanning V_a behoort.

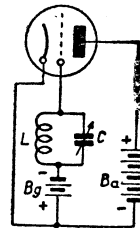


Fig. 33. Het rooster krijgt een negatieve voorspanning van de batterij Bg.

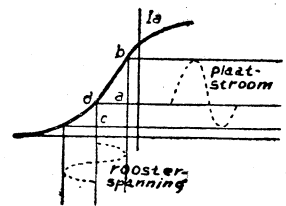


Fig. 34. Als de lamp in de bocht van de karakteristiek werkt, wordt de plaatstroom vervormd.

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 versterklampen is het rooster negatief gepolariseerd t.o.v. de kathode, d.w.z. men geeft er een zekere negatieve „voorspanning” aan, bijvoorbeeld met behulp van een batterijtje, dat geen stroom behoeft te leveren (fig. 33).

Vr. — Ja, ik begrijp het. Dat gebeurt, opdat het rooster binnen het gebied der negatieve spanningen zal blijven.

W. — Juist! Maar behalve die permanente voorspanning worden aan het rooster van een versterkerlamp ook wisselspanningen gegeven. Veronderstel bijvoorbeeld eens, dat we behalve een voorspanning van -9 V aan het rooster bovendien een wisselspanning geven van 5 V, hoe zullen dan de maximale oogenbliksspanningen 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 nog 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 den eenen kant $-3 - 5 = -8$ V en aan den anderen kant $-3 + 5 = 2$ V.... O! Ik zie, dat we in dat geval op het verboden gebied, namelijk op dat der positieve rooster spanningen zouden komen, met hun roosterstroom en deszelfs nadeelige gevolgen! Bijgevolg is dan de voorspanning, die in het eerste geval voldoende was, dat nu niet meer.

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 amplitudo van de wisselspanning. Maar aan den anderen kant is er nog een belangrijke voorwaarde, opdat de versterking zonder vervorming kan plaats vinden: de lamp moet werken in het rechte gedeelte van de karakteristiek.

Vr. — De reden daarvan zie ik niet in.

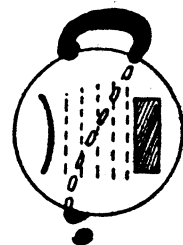
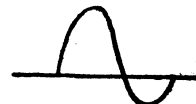
W. — Wel, om vervorming te vermijden, moeten de variaties van den plaatstroom absoluut evenredig zijn met de variaties van de roosterspanning. Als we nu de lamp in dat rechte deel laten werken, krijgen we die evenredigheid. Maar veronderstel eens (fig. 34), dat de oogenbliksspanningen van het rooster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

Vr. — Ja, de dan verkregen kromme van de plaatspanning is niet symmetrisch zooals die van de roosterspanning.

W. — Zoo is het! Je kent nu dus de voornaamste voorwaarden voor het gebruik van een lamp 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 lampen, waarover je me verteld hebt.

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



NEGENDE GESPREK

In dit geheel aan de uitzending gewijde gesprek legt Weetal den bouw van den heterodyne-ontvanger of lamp-oscillator en het proces van de muziek-modulatie uit.

DE ZONDERLINGE REIZEN VAN DE L.F.

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

W. — Daarvoor is het noodig, dat je weet, hoe de vorm van den stroom is, dien de electro-magnetische golven in je antenne induceeren. 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 zoo'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 dien 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 electrischen stroom.

W. — Dat is niet heelemaal 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 dien stroom hangt vanzelfsprekend af van den weerstand van de kool. Welnu, die weerstand variëert naar gelang van den druk, die door het membraan op de koolkorrels wordt uitgeoefend.

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

W. — door de geluidgolven, die het 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 den laagsten hoorbaren toon tot circa 20 000 p/sec voor de hoogste tonen? Sommige geleerden beweren zelfs, dat in dit opzicht bijzonder gevoelige ooren geluid van 40 000 p/sec. kunnen waarnemen.

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

W. — Zoo 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 den klank slechts te maken aan de uiteinden van de overbrengingsketen, heelemaal aan het begin voor de microfoon en aan het einde voor den luidspreker. Tusschen deze twee wordt het geluid vervangen

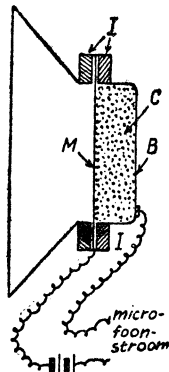
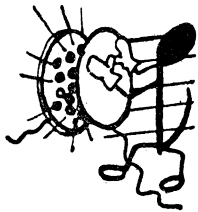
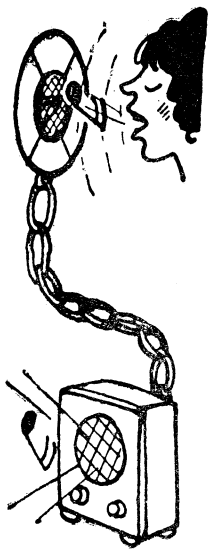


Fig. 35.

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



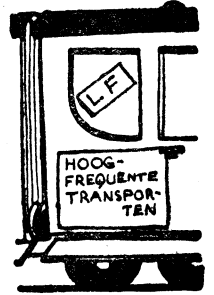
door den microfoonstroom, ook **laagfrequente stroom** genoemd, gezien het feit, dat zijn frequentie zeer laag is in verhouding tot die van de stroom, welke de electro-magnetische golven veroorzaken en die **hoogfrequente stroom** worden genoemd.

Vr. — De eene 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 den microfoonstroom regelrecht in de zendantenne te sturen, zoodat hij radio-electrische golven zou kunnen vormen... en nu hoor ik, dat je daarvoor hoogfrequente golven noodig 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 stroom. Hij neemt daarin plaats op het station van vertrek (den zender) en verlaat hem op het station van aankomst (den ontvanger). Op die manier vervult de hooge frequentie uitsluitend de hulprol van transport- of draagmiddel voor den laagfrequenten reiziger.

Vr. — Wat je me daar uitlegt, lijkt erg eenvoudig, maar in werkelijkheid zal het wel weer verduiveld ingewikkeld zijn, want ik zie heelemaal niet, hoe de lage frequentie op de hooge gaat zitten, door deze laatste getransporteerd wordt en er vervolgens weer afstapt zonder haar zelfs, zooals aan een taxi-chauffeur, een fooritje te geven.

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



HOE EEN STROOM VAN HOOG FREQVENTIE WORDT OPGEWEKT.

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

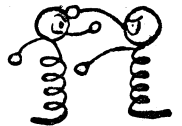
W. — Neen, wees maar gerust. De superheterodyne is een ontvangtoestel, waarover ik je later nog wel een en ander zal vertellen. Daarentegen is de heterodyne een apparaat, dat dient voor de opwekking van hoog- of laagfrequente wisselstroom. Als de heterodyne sterke stroom van hooge frequentie voortbrengt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

Vr. — Maar ik zou wel willen weten, hoe zoo'n heterodyne er uit ziet. Is het een soort van groote wisselstroomdynamo, zooals die, welke men in de electriche centrales ziet?

W. — Wel neen, vriendje! Evenals een goede kok duizend manieren kent om eieren toe te bereiden, weten de radiotechnici de lamp 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 tusschen het rooster en de kathode is geschakeld. Bovendien is er een spoel L' in den 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' zoo zijn geplaatst, dat er een inductieve koppeling tusschen bestaat. De wikkelingen gaan bovendien in dezelfde richting, d.w.z. dat, als de stroom in L van de kathode naar het rooster gaat, hij in dezelfde richting draait als wanneer



1) Ook genoemd: oscillator of generator.

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 oogenblik van het in werking stellen van deze inrichting eens. Wat zal er gebeuren?

Vr. — Niets bijzonders!... De door de kathode uitgezonden electronen worden door de plaat aangetrokken dwars door het rooster heen; vervolgens gaan zij van links naar rechts door de spoel L' en keeren 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 loopen, die van links naar rechts gaat, zal hij in de spoel L een tegengestelden stroom inducereen, krachtens de zucht tot tegenwerken van de inductie.

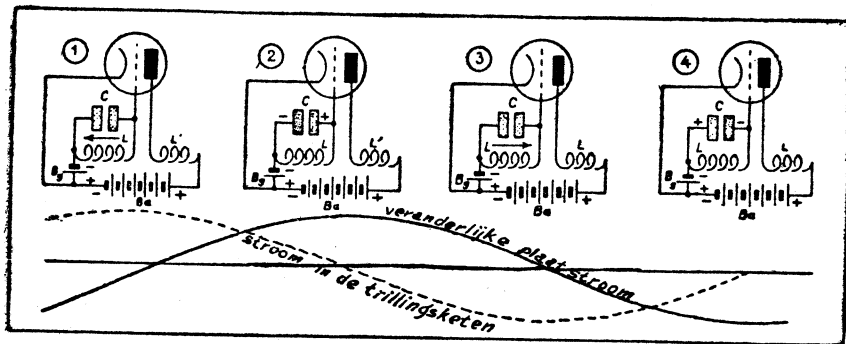


Fig. 36. Vier opeenvolgende fasen van de trilling van den stroom in de heterodyne. Daaronder de krommen, die de verandering weergeven van den stroom in de plaatspoel L' en in de roosterspoel L .
Let op de verdeling van de electronen over de platen van condensator C .

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 toename van den induceerenden stroom.

Vr. — Nu, die stroom, die in L van rechts naar links gaat, zal electronen meeslepen van het rooster en van de rechterplaat van den 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.

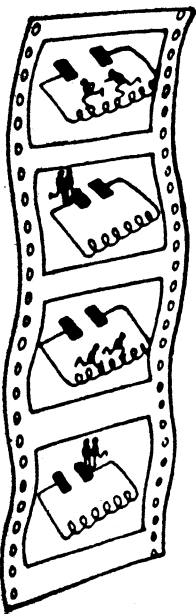
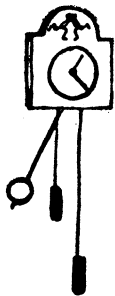
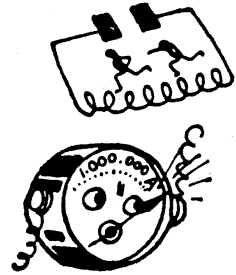
Vr. — Maar dan zal het een nieuwe vergrooting van den plaatstroom veroorzaken, deze zal in L een nog sterkeren stroom inducereen, waardoor het rooster nog meer positief wordt en....

W. — Stop!... Als je zoo 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 den verzadigingsstroom. Als bijgevolg het rooster voldoende positief is om den plaatstroom zijn verzadigingspunt te laten bereiken, zal hij niet meer toenemen. En daar hij niet meer verandert, zal er geen enkele stroom meer aanwezig zijn in de spoel L .

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

Vr. — Inderdaad! Die begint zich dus te ontladen en maakt zoo het rooster

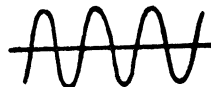


meer negatief. Maar, mij dunkt, dat in dat geval de plaatstroom begint te verminderen.

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

Vr. — Ongetwijfeld van links naar rechts. Ten eerste, omdat je het mij op dien toon 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, teneinde zich tegen die vermindering te kunnen verzetten.

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



...EN HET SPEL BEGINT VAN VOREN AF AAN...

Vr. — Maar, zooals ik zie, zal op dat oogenblik 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. — ...zoo begint het spel weer van voren af aan! Want zie je dan niet, dat we nu weer op het uitgangspunt van onze redeneering zijn teruggekeerd?

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

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

Vr. — Dat is dus een wisselstroom.

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

Vr. — Zeker van de eigen frequentie van den trillingskring LC . Want we hebben hier in het kort een afwisselende lading en ontlading van den condensator C dwars door de zelfinductiespoel L , zooals 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 electronenbeweging in den trillingskring is, zooals 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 electronen in den trillingskring ophouden afwisselend van de eene plaat van den condensator naar de andere te gaan dwars door de zelfinductiespoel. Om de slingerbeweging te onderhouden is in een uurwerk de gespannen veer noodig, die bij iedere slingering een duwtje aan den 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 feliciteeren. 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 stroomen voortbrengt, uitleggen, hoe de uitzending geschiedt?



W. — Dat is erg eenvoudig. Het gaat er slechts om den wisselstroom aan de antenne door te geven. We doen dat door inductie; we koppelen aan de spoel L een spoel L', die ingeschakeld is tusschen den antennedraad en de aardleiding (fig. 37). Door in den plaatkring een stroom-onderbreker — sein- of morsesleutel genaamd — te plaatsen, kunnen wij korte of lange teekens 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 den laagfrequenten reiziger in den hoogfrequenten stroom brengt.

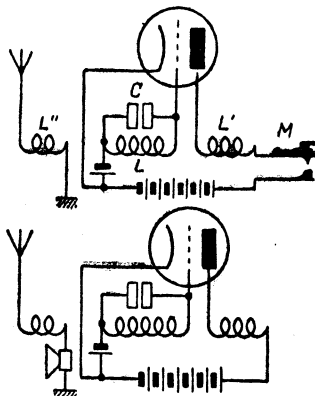
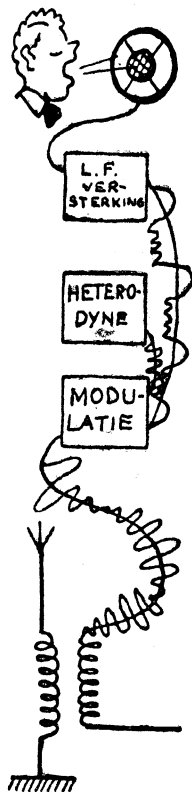


Fig. 37. Boven: een radio-telegrafiezender. M = seinsleutel. Beneden: een radio-telefoniezender.

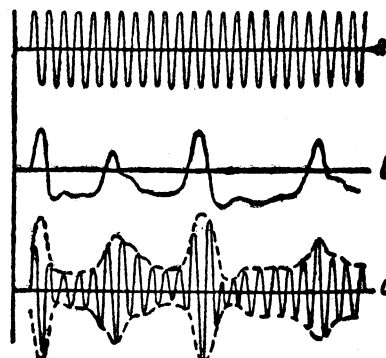
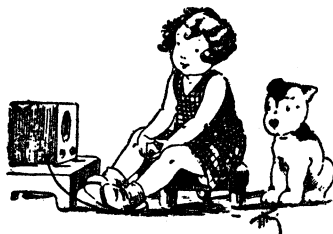


Fig. 38. a. Ongemoduleerde hoogfrequentie stroom. b. Laagfrequentie modulatie van de microfoon. c. De gemoduleerde hoogfrequentie stroom.

W. — Je hebt gelijk. Welnu, dat is gemakkelijk te doen. We zouden bijvoorbeeld de microfoon in den 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 amplitudo (fig. 38, a) krijgen we een serie trillingen met veranderlijke amplitudo (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 grooter. En het is die verandering in de amplitudo, die stroomvariatiën in de muziekkrequentie vertegenwoordigt.



TIENDE GESPREK

Drie dingen zijn onmisbaar in een tot op het eenvoudigste teruggebrachten ontvanger: een golfontvanger (de antenne), een detector en een telefoon. In dit gesprek beginnen de twee vrienden de rol en de samenstelling van den detector te onderzoeken. Zij beginnen natuurlijk met de eenvoudigste methode: de detectie door middel van een diode. De loodglans- of kristal-detector, die nog altijd vele aanhangers telt, wordt niet vergeten. Tenslotte legt Weetal de „plaatdetectie” uit.

DE AANKOMST VAN DEN TREIN OP HET STATION.

Vr. — Ik neem het je erg kwalijk, beste Weetal, dat je me bij je onderzoekingen hebt laten weggaan juist op het moment, dat het spannend werd. Nadat wij den laatsten keer den „laagfrequenten passagier” naar den „hoogfrequenten trein” hadden gebracht, hebben we het vertreksein gegeven en... zoo 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 stilsthouden. Dat is dus in de **ontvangantenne**. In die antenne geven de golven aanleiding tot een gemoduleerden hoogfrequenten stroom, die een getrouwe nabootsing is — hoewel veel zwakker — van den stroom, die in 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 koppelde). Aan de klemmen van dien kring ontstaan dan wisselspanningen. Ik wilde die spanningen doorgeven aan een telefoon, maar jij zegt, dat ik dan niets zal hooren. En, inderdaad, ik heb ook niets gehoord.

W. — Vandaag 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 fabricereen, dat zoo licht en zoo dun was, dat het op de hoge frequentie kon trillen...?

W. — ...Ook dan zou je nog niets hooren. 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 wikkelingen van de telefoon heen komen. De zelfinductie daarvan biedt hem een vrijwel onoverkomelijke hindernis.

Vr. — Maar eigenlijk interesseert hij ons minder, die hoogfrequente stroom. 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 den laagfrequenten passagier te laten uitstappen.

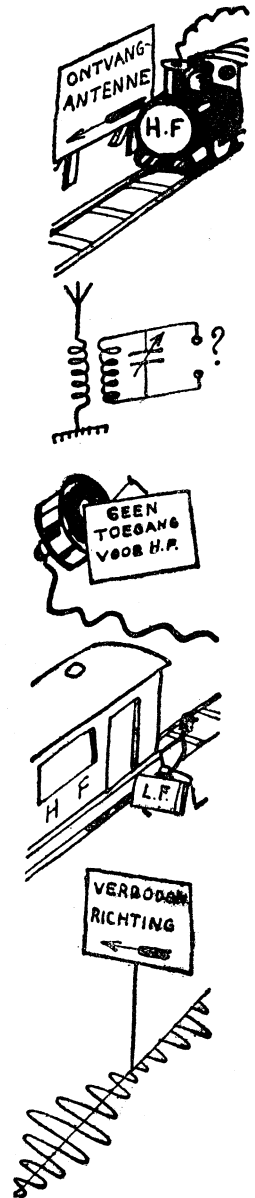
W. — Je hebt volkomen gelijk. En die operatie, welke ten doel heeft de lage frequentie uit den gemoduleerden hoogfrequenten stroom te voorschijn te halen (op te sporen), draagt den naam van **detectie**.

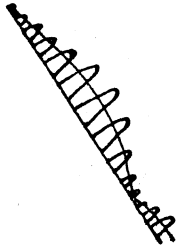
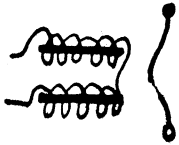
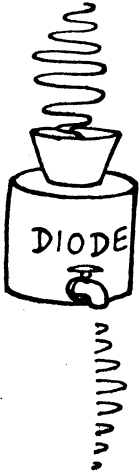
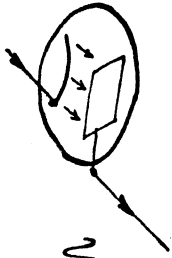
Vr. — Als ik het goed begrijp, is detectie het tegengestelde van modulatie, waarbij wij de lage frequentie in de hoge brengen.

W. — Zoo is het! In den gemoduleerden stroom wordt de lage frequentie uitgedrukt door de verandering der amplituden van den hoogfrequenten stroom. Door dezen laatsten weer gelijk te richten doen wij de lage frequentie weer te voorschijn komen. (**Demodulatie**.)

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

W. — Dat gaat zeer eenvoudig. Om den 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 den stroom gemakkelijk in de eene richting laat gaan, maar hem verhindert terug te keeren.

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

W. — Je kent er al een: de diode, waarin de electronen 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 den trillingskring alleen de telefoon te verbinden, zullen we daarmee in serie een diode plaatsen (fig. 39). In dat geval veroorzaken de gemoduleerde hoogfrequente span-

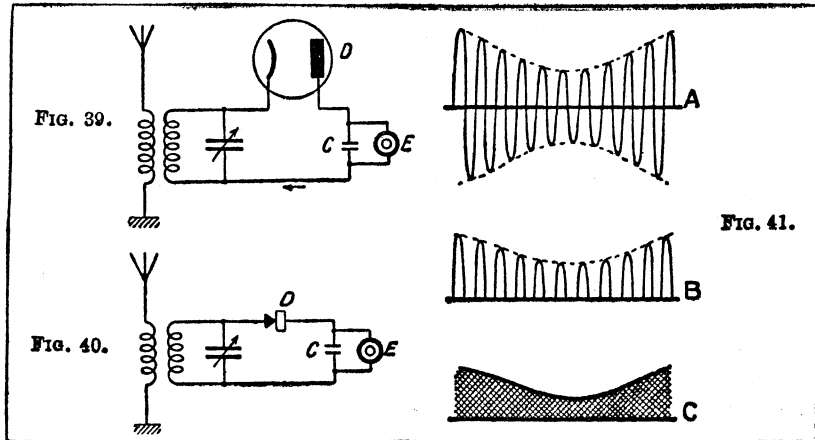


Fig. 39. De Diode D maakt het mogelijk de trillingen gelijk te richten, die daarna hoorbaar worden in de telefoon E.

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.

ningen (fig. 41A) dwars door de diode en de telefoon een stroom in één richting (fig. 41B). Zonder diode zouden wij hoogfrequente stooten gehad hebben, die afwisselend in beide richtingen gingen. Dank zij de gelijkrichtende werking van de diode worden slechts die stooten 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 stooten niet gelijk zijn: zij variëren en juist in die variatie ligt de lage, muziek- of toonfrequentie, die volgens dat rhythme het membraan van de telefoon in trilling brengt.

HET RESERVOIR: ACCUMULATOR-ELECTRONENVERDEELER.

W. — Je hebt den loop van het verschijnsel in groote lijnen begrepen. Maar in onze redeneeringen hebben we geen rekening gehouden met het feit, dat de stooten, die zelf wel één richting hebben, maar hoogfrequent zijn,

niet door de windingen van de telefoon kunnen en wel tengevolge van de zelfinductie dezer windingen.

Vr. — Wat...! Hooren we nu nòg niets?

W. — Jawel, maar op voorwaarde, dat we die stooten optellen, voordat wij ze aan de telefoon doorgeven. Te dien einde verbinden wij aan de klemmen van de telefoon een condensator met kleine capaciteit C (fig. 39), die door de stooten min of meer met electronen wordt opgeladen. In de tusschenpoozen tusschen de korte hoogfrequente stroomstootjes ontladit die condensator zich gedeeltelijk door de telefoon heen. De lading is grooter of kleiner al naar gelang de amplitudo van de stootjes. De periodieke stroomstootjes zullen naast de ontladingsstroompjes door de telefoon gaan (fig. 41C) en het resultaat is een laagfrequente variëerende 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 den condensator C vergelijken met een regenton, waaruit door de kraan een dikkere of dunnera straal water loopt al naar gelang van de hevigheid van de regenbui.

NU HEEFT VRAAGAL DE DETECTIE BEGREPEN.

Vr. — Ik zal nu probeeren 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 stooten in een en dezelfde richting en met een ongelijke amplitudo. Die stooten laden telkens den condensator C min of meer op, welke condensator aan de telefoon dan een laagfrequenten stroom afstaat... en dan hooren wij muziek... Ach, had ik maar een diode gehad, dan had dat niet zoo lang geduurd!

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

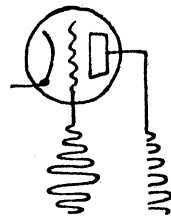
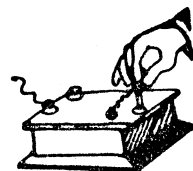
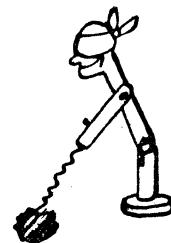
Vr. — Je wilt het waarschijnlijk hebben over den ouderwetschen loodglans-detector, die bestaat uit een kristal van loodglans en een metalen punt, die met lichten druk op de oppervlakte van het kristal drukt?

W. — Dat is niet noodzakelijk. Een contactdetector kan op heel wat manieren samengesteld worden. Zoodra we twee geleiders in contact brengen, die op eenigerlei wijze van elkaar verschillen (verschil in chemische samenstelling of van vorm of temperatuur) is de geleidbaarheid niet meer in beide richtingen, dezelfde. En daar er practisch 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 tusschen loodglans en een metaal een uitstekende gelijkrichter (detector) vormt, die alleen het gebrek heeft slechts een zeer zwakken 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 voorts contacten, die deze fouten niet hebben. Zoodra het contact tusschen koper en koperoxyde.

Vr. — Hoe het ook zij, ik zie, dat een detector altijd een gelijkrichter is.
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 versterkerlamp, waarvan het rooster van een



batterij V_g (fig. 42) een zoo 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 tusschen het rooster en de kathode aan. De positieve halve perioden geven aanleiding tot het ontstaan van een min of meer sterken plaatstroom. De negatieve halve perioden daarentegen, die het rooster nog meer negatief maken dan het al was, veroorzaken practisch in het geheel geen stroom in den plaatkring.

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

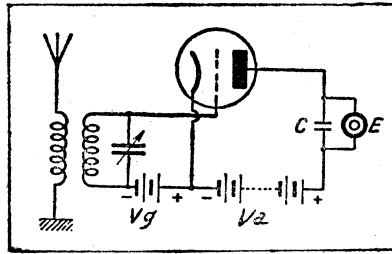
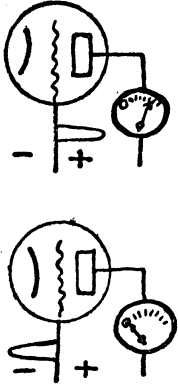


Fig. 42 Schema van de detectie in de bocht van de plaatkarakteristiek.

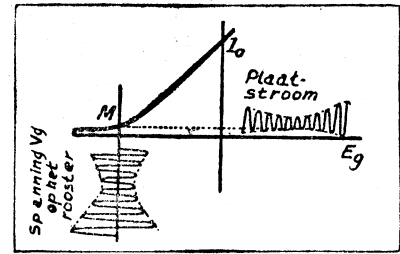


Fig. 43. In het werkpunt M veroorzaken de wisselende roosterspanningen een gelijkgerichten stroom in de plaat.

opvolgen en waarvan de sterkte variëert. Door den kleinen 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 diode-detectie 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 term voor nog een andere soort detectie (door middel van een triode), daarop komen we later nog wel eens terug!



ELFDE GESPREK

Dezen keer is het lange onderhoud van onze beide vrienden geheel gewijd aan de versterking. Na de noodzakelijkheid uiteengezet te hebben, zoowel voor de hoogfrequente als voor de laagfrequente stroomen, geeft Weetal een overzicht van het principe der transformator koppeling. Als bijkomstigheid neemt hij de verschillende „voedingsvraagstukken” onderhanden, terwijl hij in het bijzonder de polarisatie-methode uitlegt, zooals die in het algemeen wordt toegepast in de ontvangers, die gevoed worden door den stroom van het lichtnet.

DE VERMOEIENISSEN 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 laagfrequente reiziger uit den hoogfrequenten trein stapt, die hem naar den ontvanger heeft gebracht. Nu hunker ik er naar om met den bouw van een toestel te beginnen, al is het dan maar een zeer eenvoudig, want het zal uitsluitend bestaan uit een afstemkring, een diode-detector en een luidspreker.

W. — Werkelijk, Vraagal, je zit altijd vol onuitvoerbare ideeën! Je luidspreker zal zoo stom als een visch 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 ontvangantenne 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 den luidspreker doorgeeft. Daar ligt dus de rol van een laagfrequent-versterking, die ten doel heeft de amplitudo van den muziekstroom op te voeren. Maar, als de reiziger van héél ver komt, zal hij zoo uitgeput zijn, dat hij zelfs niet voldoende kracht meer heeft om uit den trein te stappen. Anders gezegd, de stroom, die door de golven in de antenne is teweeggebracht, zal zoo zwak zijn, dat het zelfs niet mogelijk is hem gelijk te richten.

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

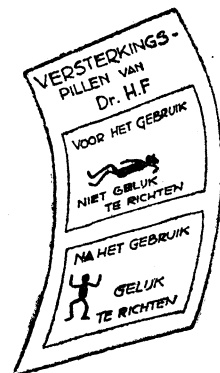
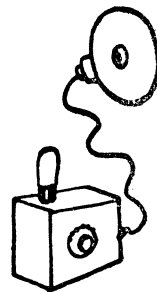
W. — Zoo doet men dan ook. Alvorens hem gelijk te richten, versterkt men den hoogfrequenten stroom, teneinde dien goed te kunnen „gelijkrichten”. Dank zij die hoogfrequent-versterking slaagt men er in zelfs de zwakste seinen gelijk te richten. Die versterking draagt dus bij tot het verhoogen van de gevoeligheid van den ontvanger en bijgevolg van de reikwijdte van de ontvangst.

VRAAGAL FORMULEERT HET VRAAGSTUK.

Vr. — Kortom, in een behoorlijk toestel moet zoowel vóór als na 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 groote fout, vriend! Je weet heel precies, waarin de rol van de lamp als versterker bestaat. Ik heb je inderdaad uitgelegd, hoe de minste veranderingen van de aan de ingangszijde, d.w.z. tusschen rooster en kathode, gegeven spanningen betrekkelijk groote veranderingen in den plaatstroom veroorzaken. Maar je weet absoluut niet, hoe de koppelingskringen zijn samengesteld, die het mogelijk maken twee op elkaar volgende versterkerlampen te verbinden.

Vr. — Mijn wiskundeleeraar heeft altijd beweerd, dat een duidelijk geformuleerd vraagstuk reeds half is opgelost. Ik ga dus probeeren duidelijk



het probleem uiteen te zetten, dat jij wilt gaan stellen. In de lamp (fig. 45) hebben we een „ingangszijde”, dat is het rooster met de kathode. Tusschen die twee electroden leggen we een wisselspanning aan van hooge of lage fre-

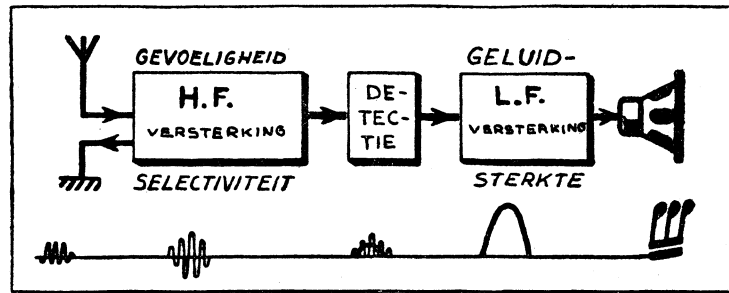


Fig. 44. Het meest „schematische” schema van een ontvangerstoel.

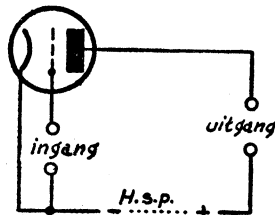
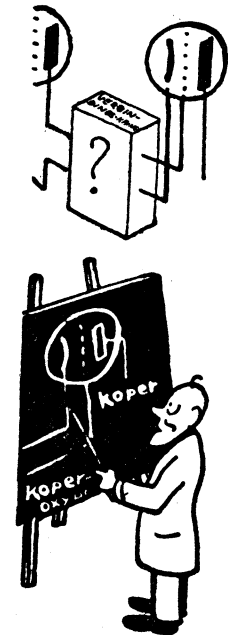


Fig. 45. De vier belangrijkste punten in de lamp: de ingang tusschen het rooster en de kathode; de uitgang tusschen de anode en de + pool van de hoogspanningsstroombron.

quentie. Aan den anderen kant hebben we een „uitgang”, dat is de plaatkring, waar wij tusschen de anode en de positieve pool van de hoogspanningsbron den veranderlijken stroom kunnen gebruiken. Maar wij willen geen veranderlijken stroom hebben om op de volgende lamp te laten werken, maar een veranderlijken spanning, die wij tusschen het rooster en de kathode van die lamp moeten brengen.

W. — Je bent op den rechten 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.

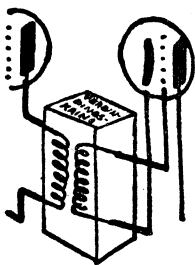
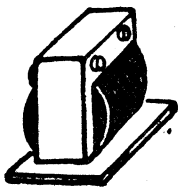
W. — Die omvorming kan geschieden met behulp van een... **transformator!**

EEN OUDE KENNIS.

Vr. — Wat is dat eigenlijk voor een instrument?

W. — De transformator is een oude bekende van je, van wien je echter den naam niet weet. Zoo 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 denzelfden vorm wordt geïnduceerd. Als die tweede spoel „open” is (d.w.z. door geen enkelen weerstand is gesloten), zal er geen inductiestroom in loopen, maar alleen een inductiespanning ontstaan. Als dus door de eerste spoel (de **primaire wikkeling** genaamd) een wisselstroom loopt, zullen in de tweede spoel (de **secondaire wikkeling**) de electronen zich voortdurend verplaatsen in het rythme van den inducerenden stroom en zoo overeenkomstige wisselspanningen veroorzaken tusschen de uiteinden van die wikkeling (fig. 46).

Vr. — O, nu zie ik de oplossing; het is heel eenvoudig voldoende om in den plaatkring van de eerste lamp de primaire wikkeling van een transformator in te schakelen en de secondaire te koppelen tusschen het rooster en de kathode van de tweede lamp (fig. 47). Dan zal door de primaire de veranderlijke stroom van den plaatkring van de eerste lamp gaan. Deze



induceert wisselspanningen tusschen de uiteinden van de secondaire en die spanningen komen dan te liggen tusschen het rooster en de kathode van de tweede lamp... zooals de bedoeling is.

W. — Roep niet te vroeg „hei”, waarde vriend! Voorloopig heeft ons

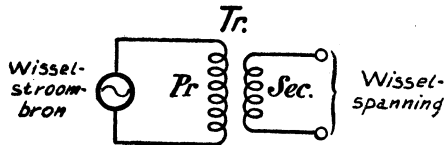


Fig. 46. De wisselstroom, die door de primaire wikkeling Pr loopt, induceert een wisselspanning tusschen de klemmen van de secondaire wikkeling Sec.

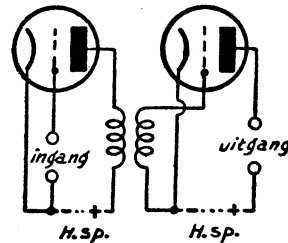
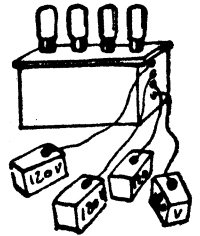


Fig. 47. Transformator-koppeling tusschen twee versterkerlampen.



schema nog een ernstig bezwaar: je ziet, dat iedere lamp om te kunnen werken een speciale hoogspanningsstroombron noodig heeft voor het leveren van den plaatstroom. Welnu, die bron is tamelijk duur, hetzij dat het een batterij is of een „plaatstroomapparaat”, dat uit het lichtnet wordt gevoed. En als we, bij het voortzetten van de versterking, achter de tweede lamp nog een derde willen schakelen en zoo verder, zullen we weldra evenveel hoogspanningsstroombronnen als lampen noodig hebben en dat zal vrij bezwaarlijk blijken te zijn.

HET VOEDSELVRAAGSTUK!

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

W. — In de praktijk doet men dat ook. Kijk eens hier (fig. 48): Drie versterkingslampen 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 lamp afzonderlijk eten klaar te maken, voedt men ze uit de gemeenschappelijke keuken van het restaurant.

W. — Laat mij je, omdat je afdwaalt met je overpeinzingen, er even aan herinneren, dat de voeding van de lamp niet alleen de verhitting van den gloeidraad en de levering van den 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 gesproken hebt. Als ik me goed herinner, moet het rooster op een negatieve voorspanning worden gebracht ten opzichte van de kathode, zoodat het werkpunt van de lamp zich in het rechte deel van haar karakteristiek bevindt en het rooster onder inwerking van de daaraan gegeven wisselspanning op geen enkel oogenblik positief zal worden.

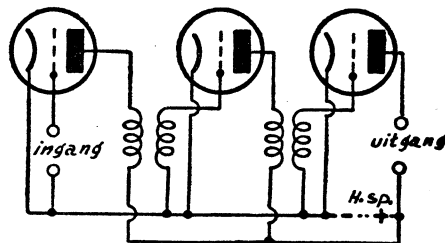
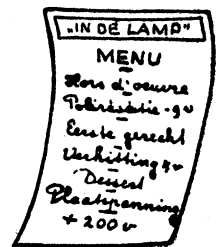
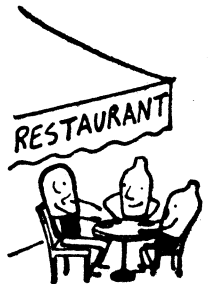


Fig. 48. Voeding van drie lampen door een gemeenschappelijke hoogspanningsstroombron.



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

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

W. — Zoo doet men het in de toestellen, waarvan de geheele voeding door batterijen wordt verzorgd. Maar bijna alle moderne toestellen worden door den stroom van het lichtnet gevoed. En om dan de genoemde polarisatie-spanning te verkrijgen, gebruikt men een even geniaal als eenvoudig middel: men maakt gebruik van het spanningsverschil, dat door den plaatstroom in een weerstand wordt veroorzaakt.

VRAAGAL STEEKT ZICH IN DE HUID VAN EEN ELECTRON.

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

W. — Als een stroom op zijn tocht een weerstand ontmoet, kunnen de electronen daar slechts met moeite doorheen. Zij hoopen zich als het ware op aan den ingang en zijn minder in getal aan den uitgang van den weerstand. De ingangszijde zal derhalve meer negatief zijn dan de uitgang. De spanning, die aldus wordt verkregen door het passeeren van den stroom door een weerstand heen, heet spanningsverschil of spanningsval van den stroom. Deze is natuurlijk grooter naarmate de stroom sterker en de weerstand grooter is. ¹⁾

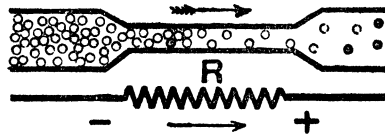


Fig. 49. Bij het passeeren van een weerstand R veroorzaakt de stroom tusschen de eindpunten daarvan een spanningsverschil (drukverschil).

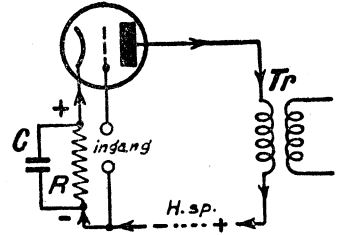


Fig. 50. De plaatstroom, die door den weerstand R gaat, veroorzaakt een spanningsverschil tusschen het rooster en de kathode.

Vr. — Dat is net als een menigte menschen, die door een nauwe gang uit een groote zaal willen vertrekken. Zij vormen dan een opstopping bij de deur van die gang. Wil men daar dan passeeren, dan wordt men eerst in eikaar geperst en pas als men er eindelijk uit is en weer vrij kan ademen, merkt men, wat een gedrang er was, of wat een spanningsverschil dus...

W. — Ik merk, dat je je in gedachte gemakkelijk in de huid van een electron weet te verplaatsen, als ik het zoo eens mag zeggen. Om nu tot de polarisatie terug te keeren, wij plaatsen een weerstand R op het traject van den plaatstroom tusschen de negatieve pool van de hoogspanningsstroombron en de

¹⁾ De spanningsval (in volts) is gelijk aan het product van de stroomsterkte (in ampères) en den doorloopen weerstand (in ohms): $E = I \times R$.

Dit is een nieuwe formuleering van de wet van Ohm, die wij in ons eerste gesprek aldus gaven: $I = E : R$, en die daar onmiddellijk uit voortvloeit. Als dus een stroom van 3 A door een weerstand van 5 gaat, veroorzaakt hij een spanningsval van $3 \times 5 = 15$ V.



kathode (fig. 50). De elektronenstroom gaat van de kathode naar de anode, doorloopt den transformator, gaat dwars door de hoogspanningsbron en keert door den weerstand R heen naar de kathode terug. Bij het doorlopen van den weerstand R veroorzaakt hij een spanningsverschil, 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. Zoo 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 den weerstand R (fig. 50)?

W. — Vergeet niet, dat de plaatstroom van de lamp alleen dan constant is, als de potentiaal van het rooster constant is. Wanneer je aan het rooster een wisselspanning geeft, ontstaan er in den plaatkring stroomveranderingen van dezelfde frequentie. Die veranderingen gaan slechts uiterst moeilijk door den weerstand R heen, terwijl de condensator hun een gemakkelijken doortocht biedt. Men zegt, dat de condensator door den „wisselstroom-component” van den plaatstroom wordt doorlopen.

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

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

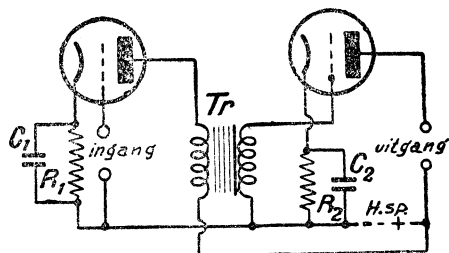
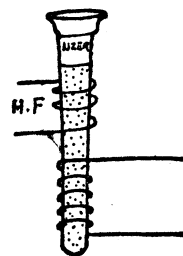
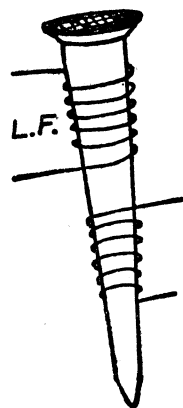
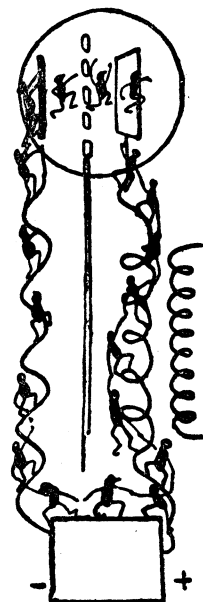


Fig. 51. Een tweelampsversterker met polarisatie van de roosters door de weerstanden R_1 en R_2 („negatieve vóórspanning”).



H.F.- EN L.F.-TRANSFORMATOREN.

Vr. — En wat beteekenen die evenwijdige lijnen, die je in de tekening tusschen de wikkelingen van den transformator hebt geteekend?

W. — Dat is het teeken voor de ijzeren kern, die in den laagfrequent-transformator wordt gebruikt. Omdat ijzer gemakkelijker dan lucht doordrongen wordt door het magnetisch veld, verhoogt men de zelfinductie der wikkelingen door ze om een ijzeren kern aan te brengen. Opdat de wisselstroom van de wikkelingen geen stroomen in het ijzer zal induceren, maakt men gebruik van kernen, die bestaan uit ten opzichte van elkaar geïsoleerde plaatjes ijzer (zg. lamellen).

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

W. — Omdat hoogfrequente stroomen, ten gevolge van de snelheid hunner veranderingen, in het ijzer stroomen geïnduceerd zouden hebben, die evenzoo vele verliezen voor den inducerenden stroom zouden beteekenen. Daarom geeft men bij hooge frequenties veelal de voorkeur aan ijzerloze transformatoren.

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

W. — Dat doet men al geruimen tijd. Men maakt dan voor hoogfrequente

transformatoren gebruik van ijzerpoeder, ingebed in een isoleerende massa. Vr. — Kortom, het eenige verschil tusschen de versterking van de hooge 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.

W. — Neen, het verschil is veel grooter. Als we de laagfrequente stroomen versterken, nemen we alle voorzorgen om ze allemaal in dezelfde mate te versterken, opdat alle tonen met hun relatieve sterkte weergegeven zullen worden. Wij hebben er geen enkel belang bij om de eene muzikale frequentie

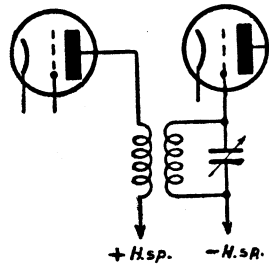
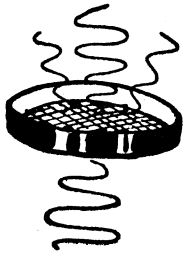


Fig. 52. H.F. transformator-koppeling met afgestemde secundaire wikkeling.

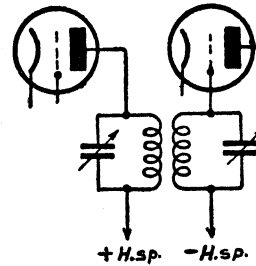
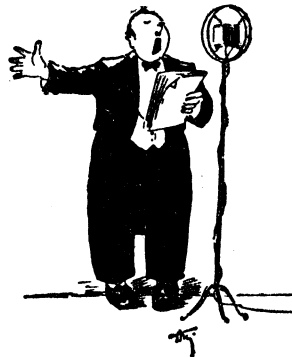


Fig. 53. H.F. transformator-koppeling met afgestemde primaire en secundaire wikkelingen.

te bevoordeelen ten koste van de andere. Wat daartegen de hoogfrequente stroomen betreft, we mogen nooit het belang vergeten, dat schuilt in het uitzoeken van één bepaalde frequentie, nl. die, welke voortgebracht wordt door den zender, dien wij willen hooren, met uitsluiting van alle andere. Vr. — Dus bij de hoogfrequent-versterking moeten selectieve koppelingskringen gebruikt worden, of anders gezegd: afgestemde kringen?

W. — Goed begrepen! Het is noodzakelijk, dat de selectie, die in den afstemkring van de antenne begonnen is, wordt voortgezet in de koppelingskringen van den hoogfrequent-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 dien stroom door, welke de frequentie heeft, waarop ze zijn afgestemd, met uitsluiting van alle andere.



TWAALFDE GESPREK

Alles schijnt nu voor den 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 tusschen diode-detector en eerste laagfrequent-lamp. 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. — Den vorigen keer hebben we de versterkers met koppelingstransformator bekeken. Ik moet je echter nog iets vertellen....

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

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

Vr. — Misschien is het een stommitheit, maar ik krijg daar een reuze idee: Ik denk, dat men iederen transformator voor de koppeling tusschen de versterkerlampen kan missen. Je hebt me den vorigen keer gezegd, dat de stroom, als hij door een weerstand gaat, tusschen de uiteinden daarvan een spanningsval veroorzaakt. Als de stroom veranderlijk is, zal, denk ik, de spanning aan de uiteinden van den weerstand dat eveneens zijn.

W. — Volkomen juist!

Vr. — Maar wat zochten wij voor de koppeling tusschen de lampen? Het middel om de veranderingen van de plaatstroomsterkte in de eerste lamp te transformeeren in veranderingen van de spanning, die tusschen het rooster en de kathode van de tweede lamp gebracht moet worden. Het is dus voldoende in den plaatkring van de eerste lamp een weerstand te plaatsen. De spanningsveranderingen, die de stroom in dezen weerstand veroorzaakt, zullen tusschen het rooster en de kathode van de tweede lamp worden gebracht (fig. 54).

W. — Kalmpjes aan, beste jongen! Je idee is in principe uitstekend. Maar men kan het rooster van de tweede lamp niet rechtstreeks verbinden met den weerstand, die in den plaatkring van de eerste lamp 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, zooals jij gedaan hebt, zal dit zeer sterk positief worden. Dat is een gevaarlijke verbinding....

Vr. — Hoe dat zoo?

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

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

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

Vr. — Is er dan niets aan te doen?

W. — Ja zeker! Wat wij naar het rooster willen overbrengen, dat zijn de

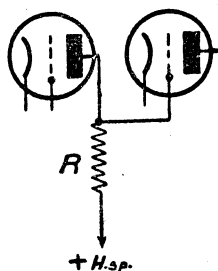
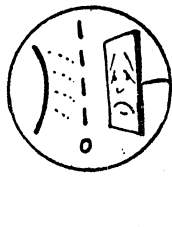
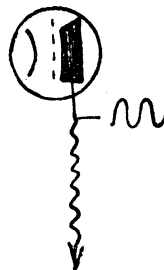


Fig. 54. De spanningen die in R door den plaatstroom van de eerste lamp zijn veroorzaakt, worden doorgegeven aan het rooster van de tweede lamp.





veranderlijke spanningen. We kunnen ze heel gemakkelijk overbrengen door middel van de capaciteit van een condensator C , die tusschen den weerstand R_1 en het rooster van de tweede lamp wordt geplaatst (fig. 55). Op die manier wordt het rooster geïsoleerd voor de hooge positieve gelijkspanning, terwijl de wisselspanningen vrijen 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 electronen zich ophopen op het rooster, dat voor gelijkstroom geheel en al geïsoleerd zou worden, of zooals men zegt, „in de lucht” zou hangen. De electronen zouden het rooster al gauw zoo negatief opladen, dat het in het geheel geen stroom meer zou doorlaten. De lamp zou dan „dichtgeknepen” of „verlamd” zijn. Ten einde de electronen te veroorloven vrij van het rooster te vertrekken, gebruiken wij dien lekweerstand R_2 , die de potentiaal van het rooster bepaalt door dat te verbinden met de negatieve pool van de hoogspanningsbron.

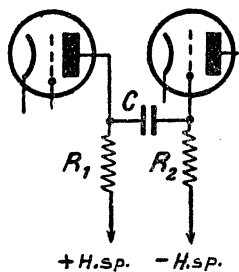


Fig. 55. Koppeling door weerstanden en capaciteit. R_1 = plaatweerstand; C = koppelingcondensator; R_2 = lekweerstand.

Vr. — Dus de wisselspanning wordt op het rooster van de tweede lamp gebracht door den koppelingcondensator C , en de vaste spanning, die het werkpunt bepaalt, via den weerstand R_2 ?

IN HET KONINKRIJK DER IMPEDANTIES.

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

Vr. — Zou men bijvoorbeeld van een inductieve reactantie gebruik kunnen maken?

W. — Natuurlijk! Vaak gebruikt men in laagfrequent-versterkers een inductieve koppeling (fig. 56). In dat geval bestaat de inductieve reactantie L uit een spoel met ijzeren kern.

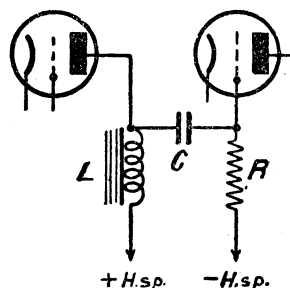


Fig. 56. Koppeling door de inductantie L met ijzeren kern.

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

W. — Dat hangt er van af. . . Ze hebben ieder hun voor- en nadeelen. De weerstandskoppeling heeft het bezwaar van den voortdurenden gelijkspanningsval,

die in den weerstand R_1 ontstaat (fig. 55). 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 inductieve reactantie klein genoeg gehouden worden en zal bijgevolg het gelijkspanningsverlies gering zijn. Maar aan den anderen kant heeft de inductieve reactantie-koppeling het bezwaar, dat niet alle muzikale frequenties in dezelfde mate versterkt worden.

Vr. — Hoe komt dat?
W. — Ja weet toch, dat de inductieve reactantie van een wikkeling afhankelijk is van de frequentie van den stroom. Dus voor de hogere frequenties, die overeenkomen met de hoogste tonen, zal ook de inductieve reactantie hooger zijn. De aan deze reactantie verkregen wisselspanningen zijn dus hooger. Het gevolg is dat de hoogste tonen het meest versterkt worden.

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

W. — Ja! Maar nu blijft er nog één in de koppelingskringen vaak gebruikte impedantie over.

Vr. — De capacitive?

W. — Neen, beste vriend! Men kan in den plaatkring niet zonder meer een condensator inschakelen, want dan kan de plaat geen gelijk-spanning 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 bijzonder soort; hij biedt alleen een hoogen weerstand aan de frequentie van den stroom, waarop hij is afgestemd.

Vr. — Daar dacht ik heelemaal niet aan. Men kan dus een koppeling tot stand brengen door een trillingskring LC' (fig. 57) als impedantie te gebruiken. Waarschijnlijk heeft een dergelijke koppeling alleen reden van bestaan voor hoogfrequent-versterking?

W. — Zeker! En je ziet, dat het beslist een zeer selectieve koppeling is, want alleen de stroomen met de afstemfrequentie van den trillingskring zullen aan de uiteinden daarvan wisselspanningen opwekken, die, door den koppelingscondensator C heen, aan het rooster van de tweede lamp worden doorgegeven.

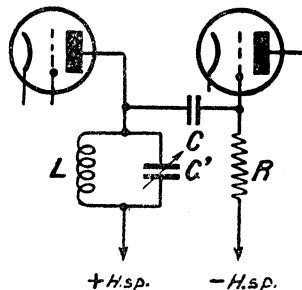


Fig. 57. Koppeling door een trillingskring LC' met koppelingscondensator C en lekweerstand R.

EEN BIJZONDER GEVAL.

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

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

Vr. — Maar ja, omdat het er om gaat dien stroom te versterken, zal er niet onmiddellijk achter de diode een telefoon volgen.

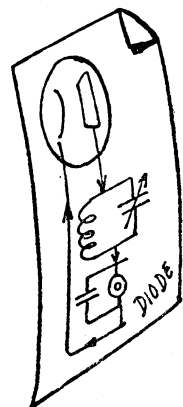
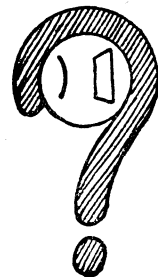
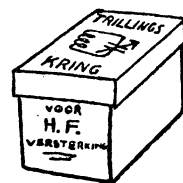
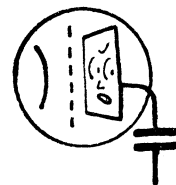
W. — Dat spreekt vanzelf. In de plaats van de telefoon zetten we een weerstand R_1 tezamen met den reservoircondensator C_1 (fig. 58). De laagfrequente stroom, die door R_1 gaat, zal aan de uiteinden van dien weerstand een wisselspanning veroorzaken, die wij via den verbindingscondensator C_2 op het rooster van de eerste laagfrequent-lamp brengen.

Vr. — En de weerstand R_2 ?

W. — Dat is de klassieke lekweerstand, dien je onmiddellijk had moeten herkennen.

Vr. — Den polarisatie-weerstand R_3 van de laagfrequent-lamp heb ik wel herkend!

W. — Goed... Maar nu wil ik er de aandacht op vestigen, dat meestal in plaats van een onafhankelijke diode en een aparten laagfrequent-versterker een combinatie-lamp wordt gebruikt: een diode-triode, waarbij in denzelfden ballon de beide electrodensystemen zijn vereenigd. De vereenvoudiging gaat overigens nog verder, want de diode en de triode hebben nu een gemeenschappelijke kathode gekregen.



Vr. — Die lamp geeft dus een besparing van ruimte en gloeistroom. Dat is een modellamp voor deze crisistijden....

W. — Het toestel, waarin de diode-triode wordt toegepast, is volkomen gelijk aan dat met een afzonderlijke diode en triode. Je zult opmerken, dat de aanwezigheid van den 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 (fig. 59).

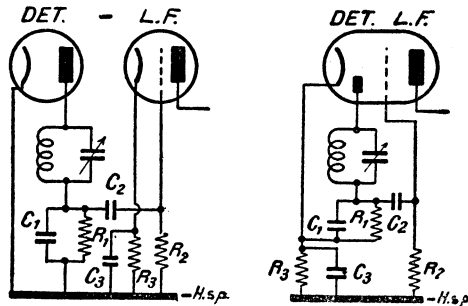
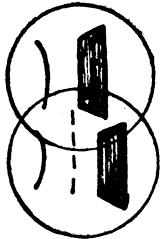
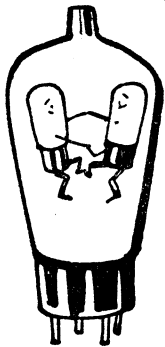


Fig. 58. (Links.) Koppeling tusschen diode en LF-triode. De aan C_1R_1 ontwikkelde spanningen worden via C_2 doorgegeven aan het rooster van de LF-lamp, waaraan de lekweerstand R_2 ligt. R_3 en C_3 zorgen voor de voorspanning van het rooster van deze LF-lamp.

Fig. 59. (Rechts.) De twee lampen van fig. 58 zijn nu vereenigd in één diode-triode. Het schema blijft hetzelfde, zoals men bij vergelijking van de figuren, waarvan de onderdeelen met dezelfde letters zijn aangegeven, ziet.

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 vereenigen met het rooster van de triode. De op die manier tusschen het rooster en de kathode gebrachte hoogfrequente spanningen (fig. 60) 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 uiteinden van den weerstand R_1 zullen ontstaan (dank zij de accumuleerende werking van den condensator C_1), worden dan tusschen dat rooster zelf en de kathode gebracht. De lamp zal dan als laagfrequent-versterker functionneeren.. Waarom lach je, Weetal? Heb ik weer iets stoms gezegd?

W. — Integendeel! Wat me echter doet lachen is, Vraagal, dat je zoo

Fig. 60. De zg. „rooster-detectie”.

Fig. 61. Wijziging van het schema van fig. 60.

Fig. 61a. Variant van het schema van fig. 61.

juist een reeds lang gebruikte methode opnieuw hebt ontdekt en duidelijk uitgelegd, nl. de zg. „roosterdetectie”. Zoals jij het zoo goed hebt gezegd, het betreft hier geen speciale detectie-methode, maar de diode-detectie, gecombineerd met de laagfrequente versterking, door dezelfde electrode de rol te laten spelen van diode-plaat 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 radiotechniek op te helderen!

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

Vr. — Het is dus niet het mijne?

W. — Het verschilt er niet veel van. Teneinde den opbouw gemakkelijker te maken verwisselt men de plaatsen van den trillingskring en van den weerstand R_1 met den condensator C_1 onderling (fig. 60), daardoor verandert er niets. Voorts kan de weerstand R_1 in plaats van met de kathode dóór den trillingskring te worden verbonden (fig. 60), daar rechtstreeks aan gekoppeld worden (fig. 61).... Maar wat krabbel je daar....?

EEN „VRAAGAL-SCHEMA”.

Vr. — Aangemoedigd door je complimentjes heb ik het schema voor een vijfclamps-ontvangtoestel geteekend (fig. 62). Het bevat, zooals je ziet, een tweevoudige hoogfrequent-versterking. De koppeling tusschen de eerste twee

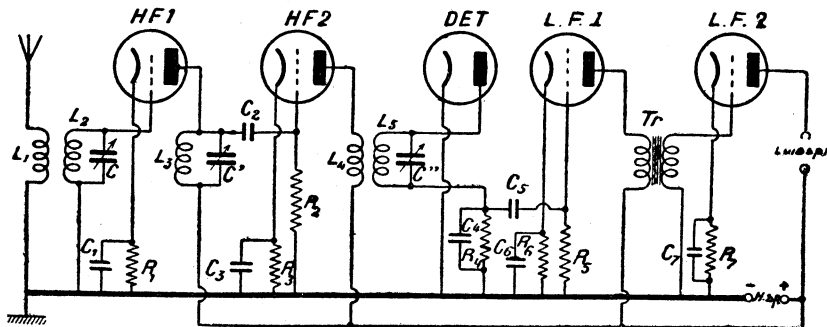


Fig. 62. Dit is een schema volgens het ontwerp van Vraagal!... De polarisatie-weerstanden zijn aangeduid met R_1 , R_3 , R_6 en R_7 en de overeenkomstige condensatoren met C_1 , C_3 , C_6 en C_7 . R_2 en R_5 zijn lekweerstanden.

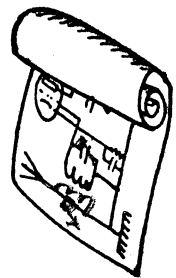
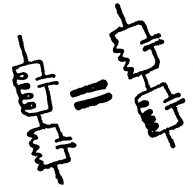
lampen komt tot stand met behulp van de impedantie van den trillingskring L_3C' en van den koppelingscondensator C_2 . Tusschen den tweeden hoogfrequent-versterker en de diode geschiedt de koppeling met behulp van een HF-transformator L_4L_5 met een met C'' afgestemde secundaire wikkeling. De gelijkgerichte en aan R_4 gegeven spanningen worden via den condensator C_5 aan het rooster van de eerste laagfrequent-lamp toegevoerd. Op deze sluit via een transformator Tr de laatste lamp aan, waarvan de plaatkring den luidspreker zal doen werken. Is mijn schema in orde?

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

Vr. — Mijn hemel! Waarom?

W. — Omdat er bij den bouw dingen zullen voorkomen, die je schema niet aanwijst, maar die daarom niet minder nadeelig kunnen zijn.

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



DE TIENDE GESPREK

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 genoeg kennis te maken met de lampen met meer dan drie elektroden: de lampen met een schermrooster en die met drie roosters of de pentoden. Wilt u hem op dien 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 radio-technicus...

W. — Wees wat minder hoogdravend, Vraagal, en zeg me, waarin ik onrechtvaardig tegenover jou ben geweest.

Vr. — Den vorigen 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 tusschen den plaatkring en den roosterkring van elke lamp.

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 den generator (fig. 63). Daarin is de spoel L' van den plaatkring gekoppeld met de spoel L , die deel uitmaakt van den roostertrillingskring. Herinner je je, wat het gevolg is van zulk een koppeling?

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

W. — Precies! Tenminste, als de mate van koppeling tusschen 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 den plaatkring op den roosterkring, een inwerking van den uitgangskring op den 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. — Zooals je wilt! Merk nu op, dat een dergelijke lamp met terugkoppeling gebruikt wordt als versterkerlamp in een ontvanger (fig. 63). We hebben dus aan den kring LC de te versterken spanningen en in de spoel L' versterkte stroomen. Maar die versterkte stroomen zullen in de rooster spoel L nieuwe spanningen inducereen. Als de „terugkoppelspoel” L' behoorlijk afgesteld is ten opzichte van L , zullen de door L' in L 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

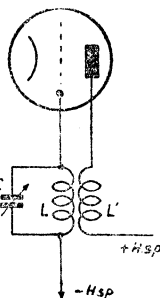
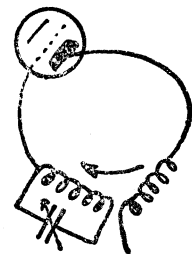
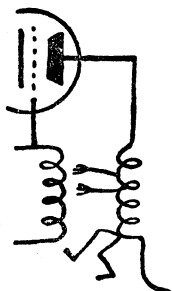


Fig. 63. Schema voor een generator. L = roosterspoel. L' = plaatspoel.

spoel L' een nog sterkeren stroom veroorzaken. Door inductie versterkt die stroom de trillingen in L nog meer, enzovoort. De versterking zal dus oneindig hoog worden!?

W. — Kalm aan, beste jongen! Als de trillingen in den plaatkring sterker worden, zullen de stroomverliezen (door den weerstand en ook om nog andere redenen) daar gelijkelijk grooter worden en dan houden de trillingen op, doordat de verliezen in evenwicht komen met den energie-toevoer van den 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 generator-trillingen zouden ontstaan.

HOE MEN DE TERUGKOPPELING KAN REGELEN.

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 den 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 den plaatkring wegens de inductieve koppeling versterkt door den versterkten plaatstroom. Zij brengt dan in den plaatkring een sterkeren stroom voort. Die doet de roosterspanning weer aangroeien enzovoort, maar dit eindigt zonder bloedverlies, omdat de stroomverliezen in den plaatkring diè kalmeerende rol spelen, welke ons verstand had móeten spelen in het geval van den muggebeet.

W. — Vind je het goed, dat wij nu van de muggen weer tot ons onderwerp terugkeeren? Ik heb je dus gezegd, dat de uitwerking van de terugkoppeling het krachtigst is, als de koppeling tusschen den kring van de plaat en dien van het rooster de lamp tot aan den 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 zoodanigen afstand plaatsn, dat de sterkste koppeling is verzekerd, die de lamp 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 grooter. Dus de terugkoppeling, die prima is voor een bepaalde uitzending, zal te sterk zijn voor een uitzending op een hogere frequentie en niet sterk 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 tusschen de beide kringen variabel te maken, bijvoorbeeld de plaatspoel L' beweegbaar ten opzichte van de roosterspoel L . Dit is (fig. 64) het schema voor den detector met terugkoppeling, die jaren geleden de genoegens mogelijk maakte van alle luisteraars. Het is een lamp, als zg. „rooster-detector” gemonteerd. In den plaatkring is een spoel L' ten opzichte van de roosterspoel L beweegbaar (zoals de pijl aanduidt, die dwars door de spoelen is geteekend).

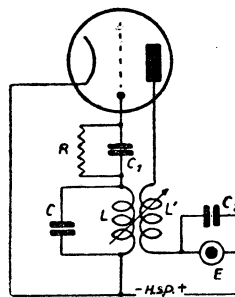
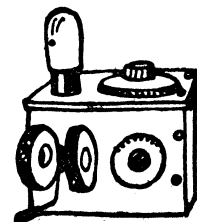
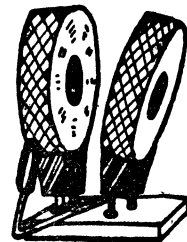
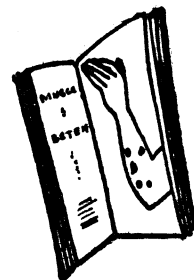


Fig. 64. Detector met regelbare terugkoppeling door verandering van de koppeling tusschen L en L' .



Vr. — Ik denk niet, dat het erg gemakkelijk was die spoel zoo te verplaatsen.
 W. — Toch was het een spannende sport. Maar men heeft natuurlijk practischer middelen gevonden voor de regeling van de terugkoppeling. Men heeft het nl. veel gemakkelijker gevonden deze te regelen met behulp van een variablen condensator.

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

DE „KRAAN-CONDENSATOR”.

W. — Kijk, waarde vriend, de plaatstroom van den zg. „roosterdetector” bestaat uit drie verschillende dingen: ten eerste is er de gelijkstroom, die in

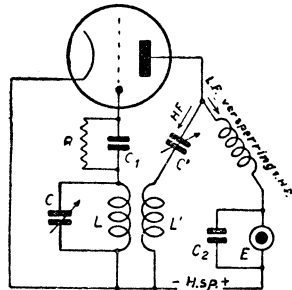


Fig. 65. Regeling van de terugkoppeling met behulp van den variablen condensator C' .

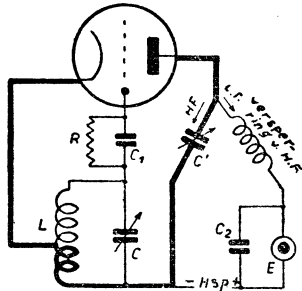


Fig. 66. Het zg. „Hartley-schema”. De weg van den HF-stroom is met dikke lijnen aangeduid.

rusttoestand steeds door de lamp gaat. Vervolgens hebben wij den laagfrequenten component, d.w.z. de golfing, die uit de detectie voortvloeit. Ten slotte is er ook de hoogfrequenten component, die gevormd wordt door de stroomstooten in één richting, waarvan de opeenhooping juist den laagfrequenten stroom oplevert. Het is die hoogfrequenten component, die — alleen — het effect der terugkoppeling veroorzaakt. We gaan dien dus van de beide andere componenten afscheiden...

Vr. — Hoe dan?

W. — Hier heb je het schema (fig. 65): We laten den plaatstroom zich in twee verschillende wegen vertakken. De met HF aangeduide weg bevat een condensator met geringe capaciteit. Noch de gelijkstroom, noch de laagfrequent-component kan er doorheen. Alleen de hoogfrequenten kan zich van dezen weg bedienen, dien hij tamelijk gemakkelijk kan volgen al naar gelang de capaciteit van den condensator C' .

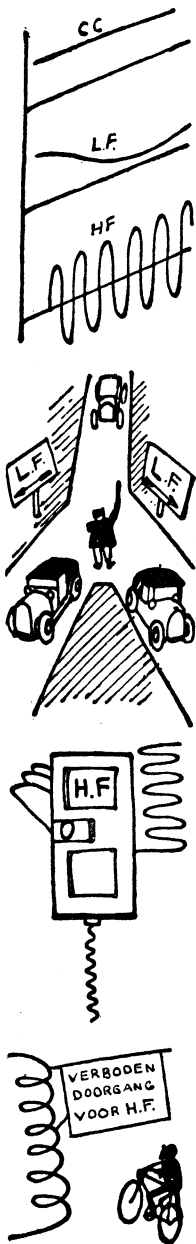
Vr. — Nu ben ik er! Ik heb het gesnapt! De condensator C' is variabel en vormt voor de hoge frequentie als het ware een kraan, die meer of minder wijd opengezet of gesloten kan worden. Wij regelen dus met behulp van dien condensator de toelating van den stroom van hoge frequentie in de spoel L' en beperken bijgevolg zoo het effect van de terugkoppeling. Maar waarom zou de hoogfrequenten component niet even gemakkelijk gebruik maken van den tweeden weg, dien 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 den stroom een inductieven tegenstand, die grooter is naarmate zijn frequentie hooger is. Terwijl de gelijkstroom en de laagfrequenten component gemakkelijk door de smoorspoel passeeren, vormt deze een practisch onoverkomelijke hindernis voor de hooge frequentie.

Vr. — Die nieuwe toepassing voor het oude devies *divide et impera* (verdeel en heersch!) 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 den teruggekoppelden detector en dat zoo wordt genoemd naar een Amerikaan-



schen amateur, die echter zweert het nooit uitgevonden te hebben. In die schakeling (fig. 66) dient een en dezelfde spoel L voor de afstemming van den roosterkring en voor terugkoppeling. Voorzien van een aftakking in het midden vormt zij in haar geheel met den variablen condensator C een afstembaren roosterkring. Maar door de onderste helft loopt bovendien de hoogfrequente component van den plaatstroom. En de condensator C' dient om de sterkte van dezen 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 Amerikaansche 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 voorgeteekend.

W. — Je zult het nu wel gauw begrijpen. Er kunnen in een ontvanger terugkoppelingen, d.w.z. koppelingen tusschen den plaatkring en den roosterkring, ontstaan, zonder dat wij dat willen. Als ze aan onze controle ontsnappen, worden ze even gevaarlijk als de met opzet gemaakte en regelbare terugkoppeling nuttig is.

Vr. — Ik moet bekennen niet te kunnen ontdekken, hoe die koppelingen tusschen den plaat- en den 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 ongewenschte trillingen op te wekken, hetgeen de technici wild **genereren** noemen. De lamp wordt dan in plaats van versterker zender, wat heelemaal haar rol niet is. Wat de redenen zelf van die ongewenschte koppelingen, die het terugkoppelingsverschijnsel veroorzaken, aangaat, deze zijn verschillend. Veronderstel eens, dat een versterkerlamp een roostertrillingskring LC heeft en een anderen $L'C$ -kring in de plaatketen (fig. 67). 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 tusschen aangrenzende verbindingen van den rooster- en den plaatkring.

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 slechts één capaciteit over, waarvan men zich vroeger niet kon bevrijden en die zoo jarenlang iederen vooruitgang van de techniek heeft tegengehouden.

Vr. — Welke is die verwenschte capaciteit?

W. — Dat is die kleine capaciteit, welke gevormd wordt tusschen het rooster

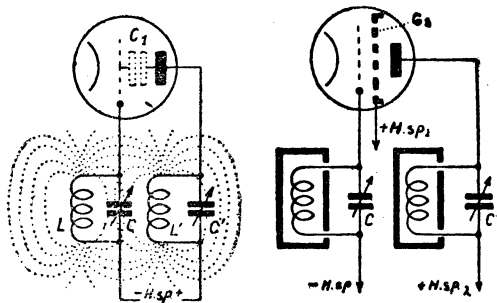
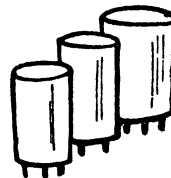
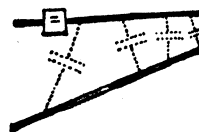
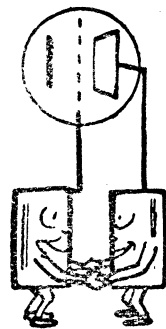
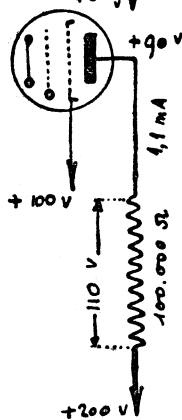
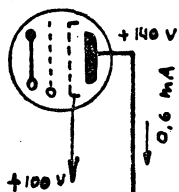
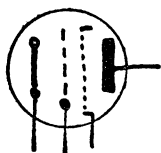
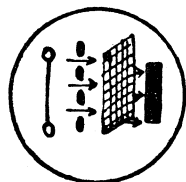
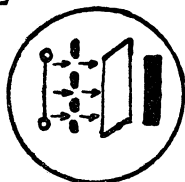


Fig. 67 (links). Ongewenschte koppelingen door inductie (de magnetische velden zijn gestippeld aangegeven) en door de capaciteit C_1 tusschen rooster en plaat.

Fig. 68 (rechts). Opheffing van de koppelingen door afscherming van de spoelen en door het schermrooster.





en de plaat, die samen als het ware twee condensatorplaten vormen (C_1 in fig. 67). De koppeling, die daardoor tusschen den rooster- en den plaatkring wordt veroorzaakt, is voldoende, om de stabiliteit van een hoog-frequent-versterker in gevaar te brengen, zoodra het aantal trappen meer dan één bedraagt.

Vr. — Ik zou dit een verschrikkelijken toestand vinden, als ik niet van te voren wist, dat jij de gewoonte hebt hinderpalen op te hoopen teneinde 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 spoelengroep wordt hermetisch opgesloten in een metalen doos, die het magnetisch veld onderschept en de spoelen verhindert door inductie op haar soortgenooten in te werken. Dan is er nog de afscherming, die we binnen in de lamp zelf aanbrengen om de capaciteit tusschen het rooster en de plaat op te heffen (fig. 68).

DE AFSCHERMING TUSSCHEN ROOSTER EN PLAAT.

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

W. — Bedaar een beetje, Vraagal! Die afscherming binnen in de lamp zal er een zijn met ontelbare gaatjes, waardoor de electronen passeeren en des te gemakkelijker als wij haar brengen op een potentiaal, die ongeveer gelijk is aan de helft van die van de plaat, zoodat zij de beweging van de electronen 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 lamp heet **schermroosterlamp**, of, daar zij vier electroden bevat: **tetrode** (het Grieksche woord „tetra” beteekent „vier”).

Vr. — Het doet me genoeg eindelijk te hooren over het bestaan van een lamp met meer dan drie electroden. Dat is nu nog eens een moderne lamp!

W. — Niet zoo erg meer, vriend! Zij heeft nl. een gebrek, dat, om het te onderdrukken, de technici gedwongen heeft er nog een electrode aan toe te voegen. Als een wisselspanning, om versterkt te worden, aan het rooster van die lamp wordt aangelegd, verandert de plaatstroom van die lamp natuurlijk. Die stroom veroorzaakt aan de impedantie, die in den plaatkring is geplaatst, spanningsverschillen, die in afhankelijkheid van de stroomsterkte variëeren. Die spanningsverschillen nemen af, evenals de spanning, die werkelijk tusschen 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 tusschen 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 Ω 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, zoodat er tusschen de plaat en de kathode geen 200, doch slechts 140 V staat. Aan den anderen kant veronderstel ik, dat het schermrooster op +100 V is gebracht. Als we nu aan het eerste rooster een wisselspanning geven, die den plaatstroom laat variëeren tusschen 0,1 en 1,1 mA, zal de spanningsval in de impedantie variëeren tusschen 10 en 110 V en de werkelijke spanning van de plaat ten opzichte van de kathode zal tusschen de 190 en 90 V schommelen. Je ziet dus, dat de plaat voor een oogenblik 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?

W. — Door je onwetendheid kun je rustig langs de verschrikkelijkste afgronden gaan! Denk eens in, wat er gebeurt, als op zoo'n oogenblik een door de kathode uitgezonden electron 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 electronen af, die opspatten als water bij den sprong van een zwemmer. Die electronen gedragen zich als al hun soortgenooten: zij gaan naar de electrode, die hen het meest aantrekt, d.w.z. naar de meest positieve electrode. Gewoonlijk is dat de plaat en zij keeren in hun woonplaats terug zonder de werking van de lamp ook maar eenigszins te verstoren. Maar voor die gelegenheid wordt het schermrooster de meest positieve electrode, tenminste voor enkele momenten. Daarheen snellen dus de plotseling van de plaat bevrijde electronen.

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. — Zoo is het! Men zegt trouwens, dat er een **secundaire emissie** ontstaat, die van de plaat naar het schermrooster gaat. Die emissie vermindert even veel als de plaatstroom en vervormt dezen daardoor.

Vr. — Daar staan we weer tegenover een hindernis. Werp die omver, asjeblieft!

W. — Dat is niet moeilijk. Om de nadeelige gevolgen van de secundaire emissie te onderdrukken, plaatsen we tusschen 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 lamp mede verbonden). Dat rooster belet de electronen 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 vijfelectroden-lamp, die, als mijn kennis van het Grieksch me niet bedriegt, **pentode** zal heeten.

W. — Precies! Je ziet dus, dat de pentode een verbetering is van de tetrode en dat hij gemaakt is om de zeer nadeelige uitwerking van de secundaire emissie te doen verdwijnen. Ziehier (fig. 69), hoe een versterkertrap met een pentode wordt geschakeld. De weerstanden R_2 en R_3 , die tusschen de polen van de hoogspanningsbron zijn geplaatst, dienen om de potentiaal van het schermrooster ten naaste bij op de helft van die spanning te houden. Wat den condensator C_2 betreft, zijn rol bestaat uit het laten passeeren van een zwakken hoogfrequenten stroom, die in het schermrooster wordt opgewekt door electronen van den stroom, die van de kathode naar de plaat gaan en die door het schermrooster worden opgenomen.

Vr. — Ik hoop, dat de afschermingen, de tetroden en de pentoden de definitieve oplossing zullen brengen van het probleem der ongewenschte koppelingen.

W. — Een ijdele hoop, Vraagal!

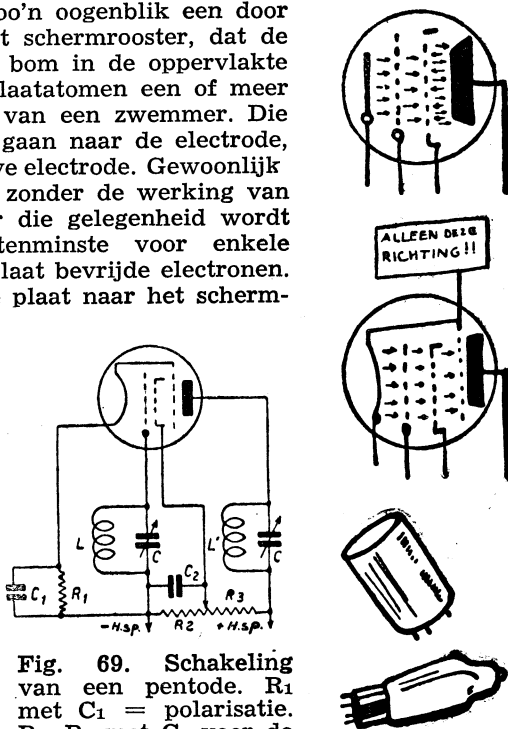
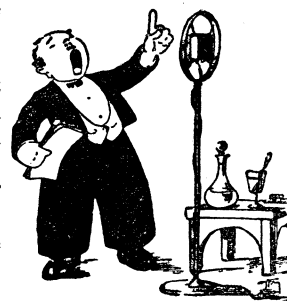


Fig. 69. Schakeling van een pentode. R_1 met C_1 = polarisatie. R_2 , R_3 met C_2 voor de spanning van het schermrooster.



VEERTIENDE GESPREK

Hoe minder terugwerking er bestaat tusschen de kringen van de eene lamp 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 ongewenschte koppelingen. Behalve de vroeger reeds aanbevolen afschermingen onderzoeken zij de „ontkoppeling”, waardoor het mogelijk is de gevaarlijke koppelingen te vermijden... Terwijl hij overgaat tot de bestudeering van een practisch schema, vertelt Weetal interessante bijzonderheden over de omschakeling 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 gemeenschappelijken weerstand (of op een meer algemeene manier: door een impedantie).

Vr. — Ik kan niet inzien, waar die gemeenschappelijke weerstanden in bestaan.

W. — Hier zie je, zeer schematisch geteekend, drie trappen hoogfrequent-

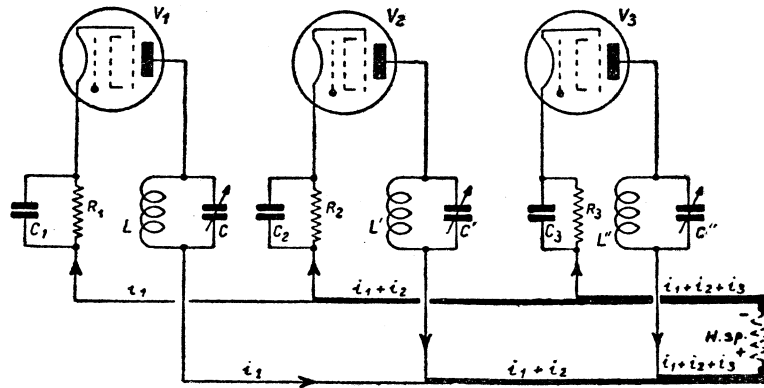
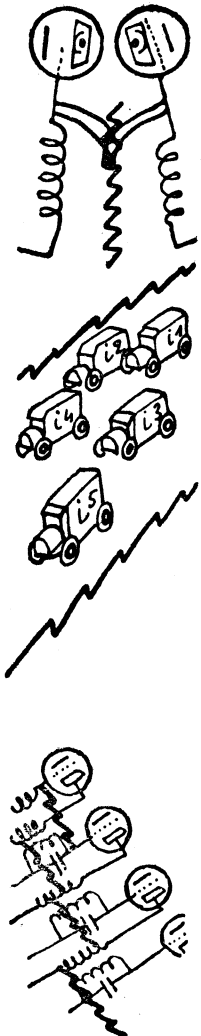


Fig. 70. In deze schakeling doorloopen de plaatstroom van verschillende lampen gedeeltelijk gemeenschappelijke banen.

versterking (fig. 70). Voor grootere duidelijkheid heb ik alleen de wegen van de plaatstroom i_1 , i_2 en i_3 , respectievelijk van de lampen V_1 , V_2 en V_3 geteekend. De kringen van de roosters en van de schermroosters zijn weggelaten. Volg nu eens met je potlood de wegen van de plaatstroom. 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 den 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 den plaatstroom i_2 van de tweede lamp. 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 ; zoowel door de hoogspanningsbron als door de leidingen, die met $i_1 + i_2 + i_3$ zijn aangeduid, loopen tegelijkertijd drie stroomen. Er moet daar een niet te ontrafelen warboel ontstaan!

W. — Als de hoogspanningsbron en de leidingen geen enkelen weerstand bezaten, zou er heelemaal geen vermenging te vreezen zijn. Helaas, dat is niet

het geval. Ieder van de stroomen veroorzaakt in die gemeenschappelijke weerstanden veranderlijke spanningen op, die ook op de andere kringen terecht komen. Zoo zal blijken, dat de spanningen, die, opgewekt zijn door den veranderlijke componenten aangaat. Die wekken in de gemeenschappelijke weerstanden een spanningsval. Die, welke veroorzaakt worden door de constante componenten (gelijkstroom-componenten) van de stroomen, zijn zelf constant en vormen geen enkel bezwaar. Maar dit is niet het geval voor wat de veranderlijken component van i_1 , tusschen de kathoden en de anoden van V_2 en V_3 komen te staan. En hetzelfde zal gelden voor de andere stroomen.

Vr. — Ik zie, dat dit een verschrikkelijke koppelarij tusschen alle lampen wordt, want de stroomvariaties van iedere lamp afzonderlijk werken onmiddellijk terug op de spanningen van de electroden der overige lampen. Dat zal ongetwijfeld aanleiding geven tot zeer onaangename verschijnselen.

W. — Dat spreekt! Al naar het geval is, ontstaat er een afname van de versterking (als de spanningen, die van de andere lampen komen, in de tegen-gestelde richting werken als de trillingen van de lamp zelf), of, vaak, geven deze koppelingen aanleiding tot wild genereeren (ingeval de door de andere lampen opgedrongen trillingen in dezelfde richting werken als de eigen trillingen van de lamp).

Vr. — Maar er moet toch een middel bestaan om de lampen onafhankelijk van elkaar te maken?

W. — Ja! Dat middel, **ontkoppeling** genaamd, bestaat hierin, dat men de variabele componenten van den plaatstroom niet door het heele ontvangsttoestel en door de gemeenschappelijke verbindingen en de hoogspanningsbron laat loopen.

DE TRIOMF VAN HET INDIVIDUALISME.

Vr. — Ik veronderstel, dat te dien einde in de eerste plaats de variabele component van den gelijkstroom-component moet worden?

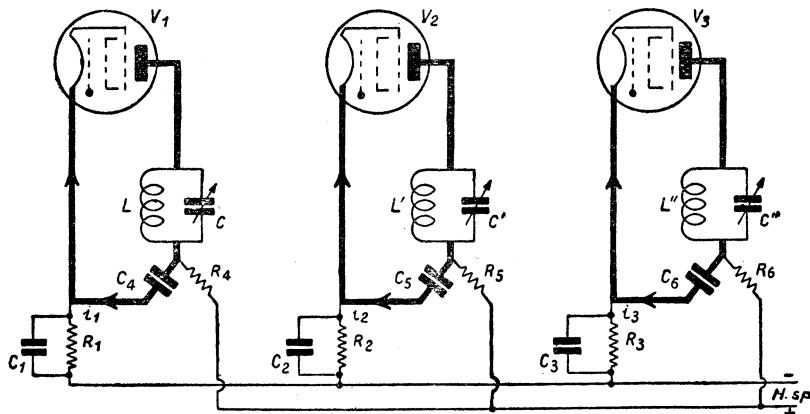
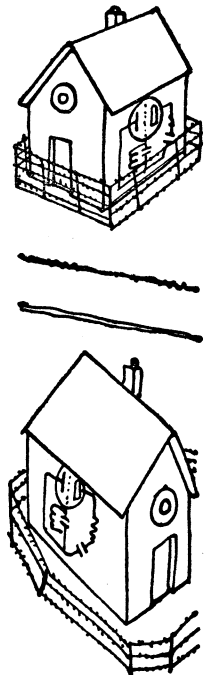
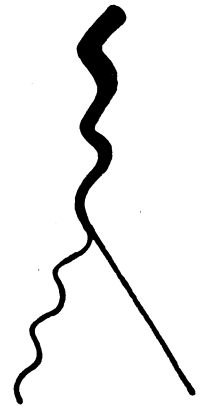
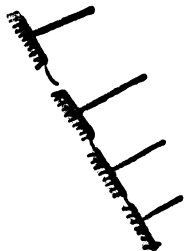
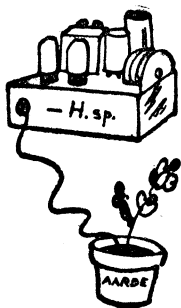
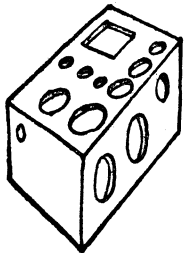
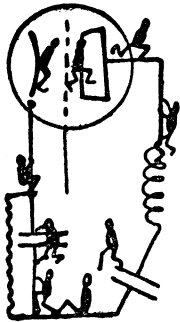


Fig. 71. Hier doorloopt, dank zij de ont koppeling, de wisselstroomcomponent van den stroom van elke lamp een eigen weg. (Met dikke lijnen aangegeven.)

W. — Dat is zoo! Zoodra de geheele plaatstroom i_1 door de plaatimpedantie is gegaan — in dit geval den kring LC (fig. 71) — scheidt men den wisselstroomcomponent van den gelijkstroomcomponent door een vertakking, gelijk aan die, welke je toegepast hebt gezien voor de regeling van de terugkoppeling met behulp van een variabelen condensator. De wisselstroomcomponent keert





onmiddellijk naar de kathode terug via den condensator C_4 , die zich daarentegen verzet tegen het passeeren van den weerstand R_4 en keert pas naar de kathode terug, als hij door de hoogspanningsbron en den polarisatie-weerstand R_1 is gegaan. Zoo zie je, dat de baan van den wisselstroom-component beperkt is tot den eigen kathode-anodekring van elke lamp. (In fig. 71 met dikke lijnen aangeduid.) Nergens loopt de wisselstroom-component van de eene lamp door de stroomwegen van die der andere lampen.

Vr. — Kortom, als ik het goed begrepen heb, de ont koppeling verzekert aan de lampen 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 ongewenschte inductieve koppelingen te verminderen, doordat de wegen der wisselstroom-componenten verkort worden. Nu kan ik het volledige schema voor je teekenen (fig. 72) van een versterkingstrap, zooals men die in de moderne ontvangtoestellen maakt. Het is precies hetzelfde als het schema van fig. 71.

Vr. — Toch niet heelemaal, lijkt mij. In fig. 71 komen de ont koppel-condensatoren C_4 , C_5 en C_6 direct terug bij de kathoden der overeenkomstige lampen. In fig. 72 echter ligt de ont koppelcondensator C_3 aan de — H-sp.¹⁾

W. — Je hebt gelijk. Theoretisch is deze laatste constructie minder doeltreffend, want de variabele component van den plaatstroom moet in plaats van alleen door den ont koppelcondensator naar de kathode terug te keeren, daarentegen ook den polarisatie-condensator C_1 doorloopen, wat natuurlijk vermoeiender voor hem is. Toch biedt deze montage in de practijk vele voordeelen. Je hebt ongetwijfeld al opgemerkt, dat een aantal verbindingen van een ontvanger uitloopen op de negatieve pool van de hoogspanning. Teneinde die negatieve pool op den kortst mogelijken afstand van de er mee verbonden onderdeelen te hebben, brengt men een gemeenschappelijke — H-sp.-leiding aan van dik draad, die den geheelen ontvanger doorloopt. Of, wat nog vaker gebeurt, de heele ontvanger wordt op een metalen raam (chassis) gebouwd; de massa van dat raam 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.

Vr. — Kortom, is ik het goed begrijp, is het eenvoudiger de ont koppel-condensatoren te verbinden met de massa van het chassis, dan een verbinding tot aan de kathode te voeren.

VAN HET „GERAAMTE-SCHEMA” (PRINCIPE-SCHEMA) NAAR HET VOLLEDIGE SCHEMA.

W. — Zoo is het zeker, Vraagal! Voorts heeft men de gewoonte aangenomen om „massa” met hetzelfde symbool aan te duiden als „aarde”, zoodat men in plaats van een enkele gemeenschappelijke verbinding te teekenen van de — H-sp., op verschillende plaatsen „massa” teekent. Volgens deze wijze van voorstelling zal fig. 72 overgeteekend worden in het schema van fig. 73. 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.

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

¹⁾ — H-sp. = negatieve hoogspanning.

ons twaalfde gesprek. We trachten het nu voor de practijk geschikt te maken. Laten we het eerst — dat is een uitstekende methode — eens schematisch schetsen.

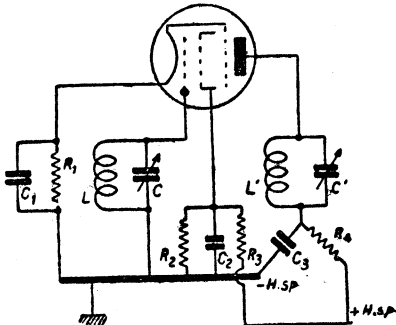


Fig. 72. Ontkoppelde schakeling van een pentode.

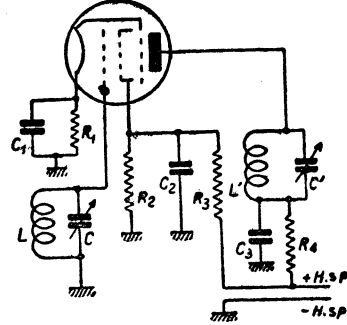


Fig. 73. Hetzelfde schema als in fig. 72, maar nu geteekend met het symbool voor massa.

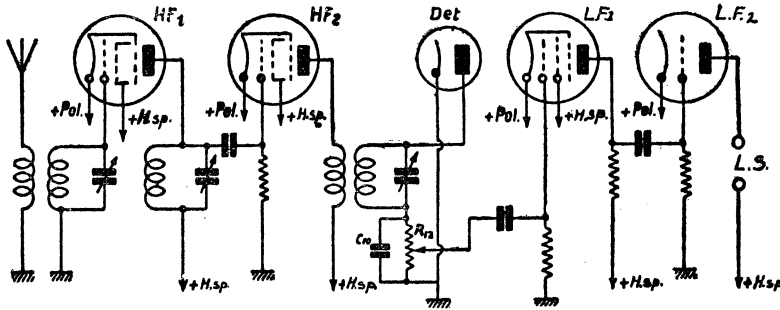
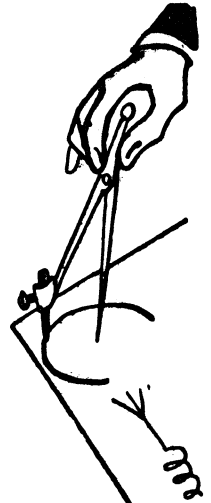


Fig. 74. Het „geraamte-schema” of „principe-schema” van een ontvanger met twee trappen H.F.-versterking.

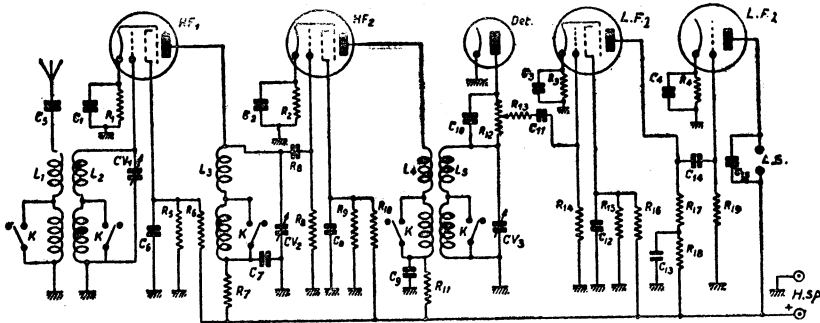
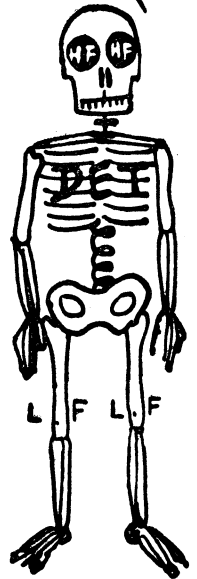
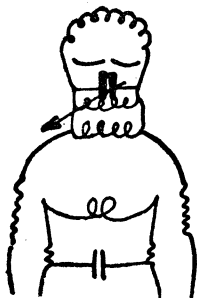


Fig. 75. Het definitieve schema voor het ontvangerstoel. Het doel van den weerstand R₁₃ is den weg te blokkeeren voor den H.F.-component, waarvan na de detectie nog een restje overblijft.



Vr. — Ik hoop, dat je de twee hoogfrequent-trappen met pentoden zult uitrusten. . . .

W. — Zooals je uit fig. 74 kunt zien, ga ik zelfs nog verder, door ook op de eerste laagfrequent-trap een pentode te gebruiken. Tegenwoordig worden



liefst pentoden daarvoor gebruikt, vanwege de groote versterking, die zij geven. Je ziet, dat in dit schema alleen de voornaamste verbindingen tusschen de lampen zijn aangegeven. Wat de ontkoppelings-elementen betreft, deze bevat het schema niet, evenmin als de weerstanden, die de negatieve rooster-voorspanning en de schermroosterspanning bepalen.

Vr. — Je hebt nu het principe-schema, het „geraamte”, geteekend voor een toestel met twee trappen hoogfrequent-versterking met diode-detectie en met twee trappen laagfrequent-versterking. Zou je dat „geraamte” nu kunnen bekleeden met „vleesch”, waardoor het een compleet organisme wordt?

W. — Dat is niet moeilijk. Hier heb je het volledige schema (fig. 75). Let vóór alles op de polarisatie-weerstanden R_1 , R_2 , R_3 en R_4 ; de weerstanden, die de spanningen van de schermroosters bepalen, zijn R_5 en R_6 , R_9 en R_{10} , R_{15} en R_{16} ; de ontkoppelweerstand is R_7 , R_{11} en R_{18} ...

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 twee deelen verdeeld te zijn.

W. — Inderdaad. Elk dezer spoelen bestaat uit twee deelen. Alle onderste deelen kunnen tegelijk kortgesloten worden met behulp van den schakelaar K. Overigens geschiedt die handeling voor alle spoelen gelijktijdig met één enkelen knop, omdat de schakelaars op één enkele as geplaatst zijn, die zoo een schakelaar vormt.

Vr. — Gelukkig! Anders zou men om een dergelijk toestel te regelen, een soort spin met verscheidene paren armen moeten zijn...

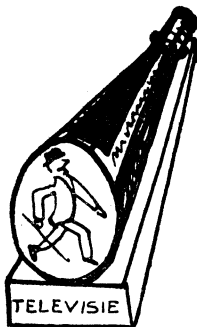
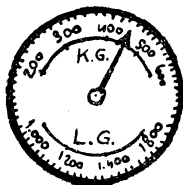
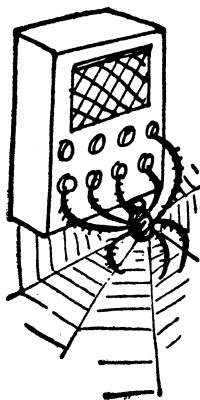
W. — Als de schakelaars gesloten zijn, blijven alleen de bovenste deelen van de spoelen in de kringen. Met die spoelen maakt de volledige halve omwenteling der variabele condensatoren het mogelijk de kringen af te stemmen op golflengten van ca. 200 tot ca. 550 m (of, juister gezegd, op de daarmee overeenkomende frequenties). Dat is, wat we de kortegolfschaal noemen (of afgekort: K.G.). Maar in Europa zijn de golflengten der radiozenders in twee „banden” of „schalen” verdeeld. Want behalve zenders, waarvan de golflengte in de kortegolfschaal ligt, werken verscheidene zenders op golflengten tusschen 1000 en 2000 m, die de langegolfschaal vormen (L.G.). Om de lange golven te ontvangen, vergroot men de zelfinductie der kringen met behulp van de onderste, bijschakelbare spoelen, die men in serie schakelt met de spoelen voor de korte golf. Met behulp van den schakelaar K worden zij tijdens de ontvangst der korte golven kortgesloten. Voor de lange golven worden de schakelaars K geopend en dan neemt derhalve de zelfinductie van alle spoelen toe, omdat zij dan elk bestaan uit twee spoelen in serie.

Vr. — Wat een geluk, dat er slechts twee schalen zijn, anders werd dat weer verdraaid ingewikkeld.

W. — Maar, Vraagal, ik heb je nog niet gezegd, dat er ook zenders zijn, die op golflengten beneden de 200 m werken. Dat zijn de „ultrakorte golven”. Sommige zenders, vooral die voor televisie, werken zelfs op golflengten beneden de 10 m, d.w.z. ook op **ultra-korte golven**. Om alle golfbanden te kunnen ontvangen moet men de beschikking hebben over verscheidene waarden voor de zelfinducties. Zoo moet men, om zonder onderbreking het geheele bereik van 12 tot 2000 m te kunnen doorlopen met een variabelen condensator van 500 picofarad, de beschikking hebben over 5 toenemende zelfinductiewaarden.

Vr. — Ik denk, dat de schakeling dan wel buitengewoon ingewikkeld wordt?

W. — Niet zoo erg! Een omschakelaar voor vijf standen — dat is slechts een uitbreiding van dien, welken wij al bestudeerd hebben — maakt op



dezelfde wijze de inschakeling van achtereenvolgens vijf wikkelingen mogelijk (fig. 76a). Men kan ook voor elke schaal een afzonderlijke spoel gebruiken en de andere dan ongebruikt laten. Tegenwoordig zijn sommige ontvangtoestellen uitsluitend voor de lange en korte golven bestemd. Andere ontvangen bovendien een of meer ultrakortegolfbanden. Men noemt dat „ontvangers voor alle golven.”

Vr. — Ik bekijk nog eens het schema van het toestel (fig. 75), maar ik kan mij de merkwaardige plaats van condensator C_7 niet verklaren. Waarschijnlijk is dat de ontkoppelings-condensator (met een weerstand R_7) van den plaatkring van de eerste lamp. Maar waarom is t-ie geplaatst in den trillingskring die door L_3 en CV_2 wordt gevormd?!

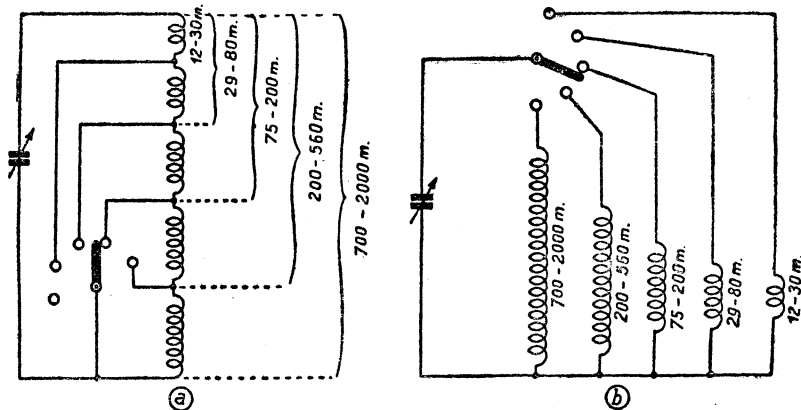


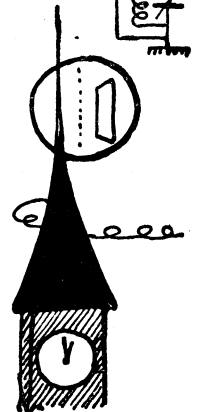
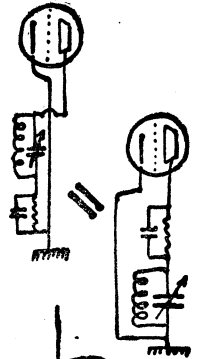
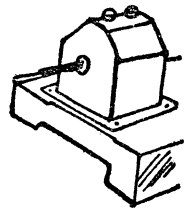
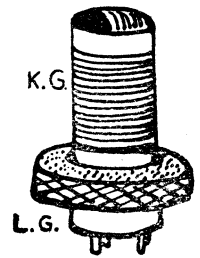
Fig. 76 en 77. Twee methoden van omschakeling voor vijf golfbanden. a. Serie-omschakeling; b. Omschakeling met geheel aparte spoelen.

W. — Om een zeer prozaïsche 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 chassis bevestigd, dat de negatieve potentiaal van de hoogspanning heeft. Het is dus noodzakelijk, dat in ons toestel de beweegbare platen van CV_2 op de —H-sp. potentiaal zijn. Nu, spoel L_3 is via R_7 verbonden met +H-sp. Met het oog op de gelijke spanning is het dus noodig de draaibare platen van L_3 te scheiden, zonder in ieder geval den trillingskring voor den hoogfrequenten stroom te onderbreken. Condensator C_7 , die een tamelijk groote capaciteit heeft, leent zich zeer wel daartoe; terwijl hij de hooge frequentie heel vrij laat passeeren, verhindert hij den gelijkstroom om door R_7 heen van +H-sp. naar —H-sp. te gaan.

Vr. — Die uitlegging van zoeven heldert voor mij een ander probleem op, waarnaar ik gedurende een oogenblik erg nieuwsgierig was. Ik vroeg me af, waarom de detectie-onderdeelen R_{12} en C_{10} , die zich in het principe-schema tusschen den kring L_5CV_3 en de massa bevonden, nu tusschen dien 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 achterloopende klokken al middernacht hebben geslagen, wij hier ons onderhoud wel mogen afbreken.

Vr. — Zeg mij alleen nog even, waarom staat die pijl op den detectie-weerstand R_{12} ?





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 dien pijl voorgesteld) het mogelijk maakt contact te maken op een der tusschenliggende punten.

Vr. — Maar waarom zit hij in dit toestel?

W. — Aan den weerstand R_{12} 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 lamp slechts een deel van de gelijkgerichte spanning wordt aangelegd. Dat is hier mogelijk dank zij den potentiometer R_{12} , waarvan het schuifcontact een grooter of kleiner deel van de opgewekte spanning aftakt. Dus R_{12} dient voor de regeling van de geluidsterkte (**volume-regelaar**).

Vr. — Dat is dan inderdaad een zeer nuttig ding, en ik vind het erg jammer, dat mijn bovenbuurman, die verzot is op een trekpiano, ook niet van zoo'n potentiometer gebruik maakt.



VIJFTIENDE GESPREK

Tot nu toe heeft Weetal met opzet het voedingsprobleem terzijde gelaten. Hij sprak wel over de bronnen voor den gloeistroom en den plaatstroom, zonder echter de samenstelling daarvan nader te omschrijven. Nu zal Vraagal hooren, hoe de apparaten voor gelijkrichting en afvlakking van wisselstroom zijn samengesteld. De mogelijkheid van de voeding uit het gelijkstroomlichtnet zal eveneens behandeld worden, zoodat de voeding voor onzen lezer geen enkel geheim meer heeft.

VOEDINGSPROBLEMEN.

Vr. — Ik heb soms het gevoel van een dorstigen reiziger, die in de woestijn achter een misleidende luchtspiegeling aan gaat. Zoo 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 constateeren, 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 den hemel vallen?

W. — Je hebt gelijk! Maar je kunt altijd veronderstellen, dat het ontvangtoestel gevoed wordt door een batterij van elementen of door accumulatoren.

Vr. — Ik houd er heelemaal niet van zulke veronderstellingen te maken. Ik weet heusch wel, dat men al sinds lang geen elementen of accu's voor de voeding van een ontvangtoestel meer gebruikt. Daar zorgt tegenwoordig altijd de stroom van het lichtnet voor. Zooals de advertenties zeggen: „Een stopcontact. . . ., meer hebt u niet noodig”. 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 tusschen de kathoden en de anoden der lampen te verkrijgen.

W. — Men bereikt dat door den wisselstroom vooraf gelijk te richten. Een wisselstroom gelijkrichten wil zeggen: hem verhinderen in de beide richtingen te loopen door hem één bepaalde richting op te dringen.

Vr. — Feitelijk is die gelijkrichting dus niets anders dan **detectie**.

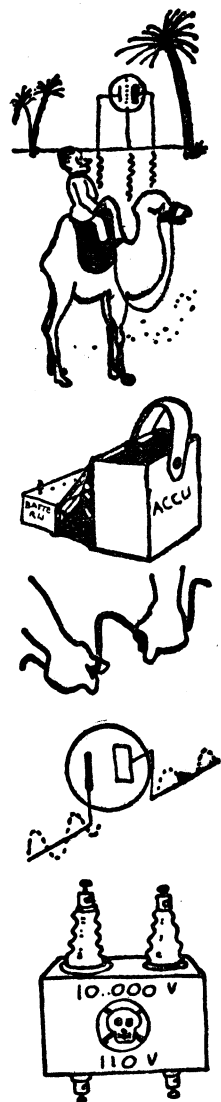
W. — Ja, de methode en de gebruikte middelen zijn dezelfde. Alleen, hier hebben wij te doen met zg. technischen stroom van een frequentie, die ligt tusschen 25 en 60 perioden per seconde en ook moeten wij een vrij hoge stroomsterkte gelijkrichten: verscheidene tientallen mA. Voor de gelijkrichting gebruiken wij vanzelfsprekend een diode, waarvan de elektroden grooter zijn dan die eener ontvangst-detectiediode. Deze diode wordt „gelijkrichterlamp” of „plaatstroomlamp” genoemd.

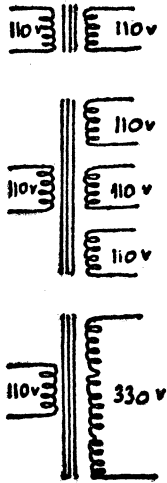
Vr. — Men behoeft dus slechts een dergelijke gelijkrichterlamp op het lichtnet aan te sluiten, teneinde aan den stroom daarvan één richting op te dringen, want de electronen kunnen alleen van de kathode naar de anode bewegen en niet omgekeerd.

W. — Zoo is het! Het komt er niet op aan, of die lamp aan de plus- of aan de minus-zijde van de hoogspanning wordt geplaatst, d.w.z. bij den uitgang of bij den ingang van de electronen. Het voornaamste is er op te letten, dat de richting van den door de lamp toegelaten stroomloop zoodanig is, dat de electronen den ontvanger binnen komen, dat zij in de lamp van de kathode naar de anode gaan.

PAS OP . . . ! HOOGSPANNING!

Vr. — Maar ik ben erg bang, dat de aldus verkregen hoogspanning onvoldoende is. Bijvoorbeeld ons net geeft maar 110 V. Nu, je hebt me verteld, dat





sommige lampen tusschen de anode en de kathode een spanning eischen 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 lamp, die, dat mag je niet vergeten, een zekeren inwendigen weerstand heeft. Je bent er dus nog niet veel op vooruitgegaan....; gelukkig beschikken wij over een zeer eenvoudig middel, dat het mogelijk maakt de

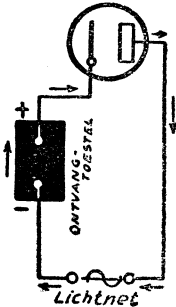


Fig. 78. Het schema van een allereenvoudigsten gelijkrichter.

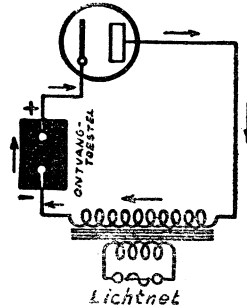


Fig. 79. Gelijkrichter met een transformator, die de spanningen opvoert.

spanning van den wisselstroom tot de gewenschte 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 uiteinden 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 bijvoorbeeld, 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, zoodat wij tusschen het begin van de eerste en het einde van de derde een spanning van 330 V verkrijgen.

Vr. — Ik zie, dat onze drie secundairen tezamen dus één wikkeling vormen. En

om je te toonen, dat ik nog in staat ben gevolgtrekkingen te maken: ik concludeer hieruit, dat het met een transformator mogelijk is een spanning evenveel maal te verhoogen of te verlagen, als de secundaire spoel meer, respectievelijk minder windingen heeft dan de primaire.

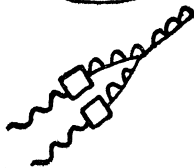
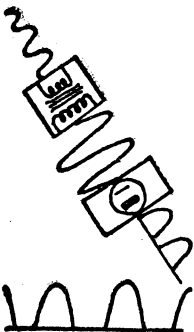
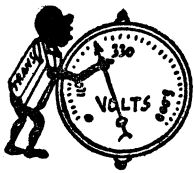
W. — Enorm! Vraagal! Je spreekt als een natuurkundige verhandeling en je bent je naam hoe langer hoe minder waard. (Je weet nu meer dan je vraagt). Zoo zie je dus, dat het met een transformator erg gemakkelijk is de spanning te verhoogen vóór de gelijkrichting van den stroom (fig. 79). Wij kiezen de verhouding van het aantal windingen (of: de **transformatie-verhouding**) in overeenstemming met de spanningsverhoogening, die wij willen verkrijgen. De



Fig. 80. Met getrokken lijnen: de vorm van den door de apparaten volgens fig. 78 en 79 gelijkgerichten stroom. Met stippellijnen: de door de lamp tegengehouden, niet gebruikte halve perioden.

spanning van de lichtnetten is niet overal gelijk. Gewoonlijk is ze 220 V, maar op andere plaatsen ook wel 110 of 130 V.

Vr. — Toch is er in dit alles nog iets, dat mij hindert. Iedere periode van den wisselstroom heeft twee fasen: één heen en één terug. Nou, wij gebruiken er maar één van (fig. 80). Zou men niet, door een of ander trucje, ook den stroom van de tweede halve periode (phase) kunnen verplichten om in den door hem gevoeden ontvanger dezelfde vereische richting aan te nemen?



DE KUNST OM OOK DE OVERGESCHOTEN STROOMWISSELINGEN TE GEBRUIKEN.

W.— Ja, dat wordt verwezenlijkt bij de „tweezijdige gelijkrichting” der beide stroomhelften. Wij zullen daartoe twee voedingsapparaten gebruiken,

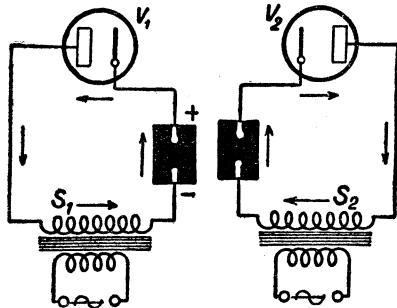


Fig. 81. Deze twee gelijkrichters zijn gelijk aan die van fig. 79. Zij richten elk één halve periode gelijk.

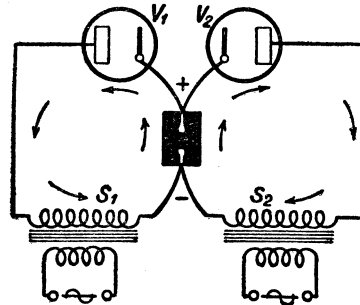


Fig. 82. De twee gelijkrichters van fig. 81 voeden denzelfden ontvanger, waarbij zij beide halve perioden gelijkrichten.

gelijk aan die van fig. 79. Door ze naast elkaar te plaatsen zien wij, dat in alle twee de stroom den ontvanger in dezelfde richting doorloopt (fig. 81). Zoo kunnen wij dus één enkelen ontvanger voeden (fig. 82). Elk der lampen zal één der twee stroomhelften doorlaten. Je kunt de stroombaan van elke halve periode natuurlijk gemakkelijk volgen.

Vr.— Werkelijk. Als gedurende één halve periode de electronen de secundaire wikkelingen van links naar rechts doorloopen, zullen zij door den ontvanger gaan na S_1 verlaten te hebben. Dan gaan zij in V_1 van de kathode naar de anode en keeren naar S_1 terug. Zij kunnen daarentegen niet door S_2 loopen, 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 den ontvanger en de lamp V_2 heensnellen om naar S_2 terug te keeren. In beide gevallen doorkruisen de electronen den ontvanger in dezelfde richting.

W.— Zoo zie je, dat we beide halve perioden van den stroom gebruiken (fig. 84). Merk nu nog op, dat de twee secundaire spoelen een punt gemeen hebben. Wij kunnen dus de twee transformatoren door één enkelen vervangen, waarvan de secundaire in het midden een aftakking heeft. Bovendien worden de kathoden der

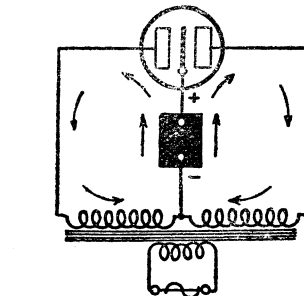
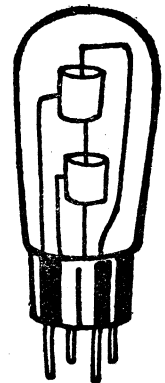
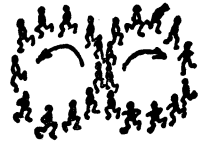


Fig. 83. Men kan de twee lampen van fig. 82 vervangen door één lamp met twee platen: de zg. „dubbele gelijkrichterlamp”.



Fig. 84. Met getrokken lijnen: De vorm van den stroom, die verkregen wordt door gelijkrichting van beide halve perioden. Met stippe lijnen: De door de eene anode tegengehouden, maar door de andere gelijkgerichte halve periode.



beide lampen gecombineerd

Laten we verder de twee lampen in een gemeenschappelijken glazen ballon plaatsen en de twee kathoden door één gemeenschappelijke vervangen. Zoo krijgen we dan een lamp met twee anoden of een „dubbele plaatstroomlamp”, waarvan de schakeling in fig. 83 is voorgesteld.

EVENWICHTSVRAAGSTUKKEN.

Vr. — Maar hoe voed je in al die gelijkrichtingsschakelingen den gloeidraad van de lamp teneinde de kathode op de temperatuur te brengen, die noodig is voor de electronen-emissie?

W. — Die gloeidraad wordt verhit door een wisselstroom van lage spanning (4 V gewoonlijk). Men kan daarvoor ook een tweeden transformator gebruiken, die de spanning verlaagt. Maar meestal wordt de gloeispanning

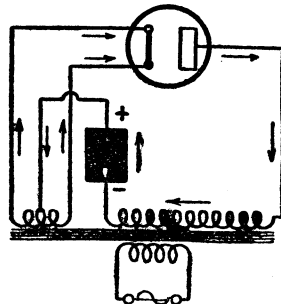
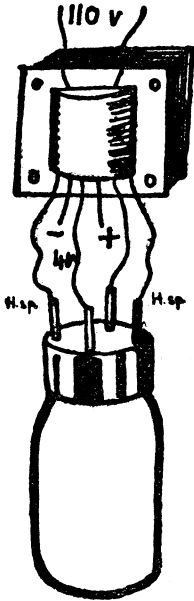


Fig. 85. Het praktische schema van den gelijkrichter van fig. 79.

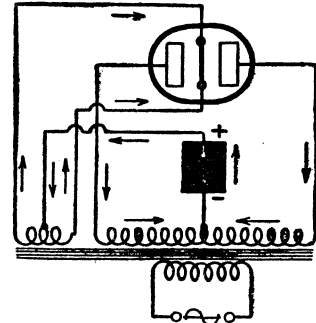


Fig. 86. Het praktische schema van den gelijkrichter van fig. 83.

(De pijlen geven de richting van den gelijkgerichten electronenstroom aan).

verkregen door een kleine secundaire wikkeling, die behalve de hoogspanningswikkeling op den voedingstransformator is aangebracht. Overigens, gezien het feit dat de stroom, dien de lampen moeten leveren, betrekkelijk sterk is, hebben zij meestal een direct verhitte kathode: de gloeidraad zelf dient als kathode, die de electronen uitzendt.

Vr. — En wordt zij in dat geval eveneens door wisselstroom gevoed?

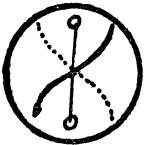
W. — Natuurlijk. Zoo zien dan onze gelijkrichtingstoestellen (zg. **plaatstroomapparaten**) voor één (fig. 79) of voor twee (fig. 83) halve perioden er in de praktijk uit, zooals de fig. 85 en 86 aangeven.

Vr. — Maar waarom is dan in die schema's de ontvanger in plaats van direct met den gloeidraad van de lamp verbonden te zijn, gekoppeld aan een aftakking in het midden van de gloeispanningswikkeling van den transformator?

W. — Omdat, terwijl de kathode van de lampen met indirecte verhitting op alle punten dezelfde potential had, hier daarentegen de gloeidraad, waar de wisselstroom door loopt, in alle punten een veranderlijke spanning heeft. Ten opzichte van het middelpunt hebben de uiteinden afwisselend een spanning van + 2 en - 2 V.

Vr. — Dat doet men denken aan die wipplank uit mijn jeugd, die ik maakte door een lange plank op een schraag in evenwicht te leggen.

W. — Goed! Het eenige punt, van die wip, dat onbeweeglijk bleef, was het middelpunt. Zoo is ook in den gloeidraad het punt, welks potential constant is, het middelpunt. Maar, omdat het moeilijk is daarbinnen in de lamp bij te komen, verbinden wij den ontvanger met het middelpunt van



de gloeispanningswikkeling. Uit het oogpunt van de potentiaal zijn die twee punten dus in evenwicht.

EAU DE COLOGNE EN... „AFVLAKKING” VAN DEN GELIJKGERICHTEN STROOM.

Vr. — Wat mij eenigszins 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 lampen van ons ontvangtoestel de plus te vinden aan de zijde van de anode en de minus aan den kant der kathode.

W. — Je maakt je noodeloos ongerust, Vraagal. Het is toch gewoon, dat datgene, wat als energieleverancier dienst doet, juist het omgekeerde is van den verbruiker... En dan, vergeet niet, dat wij „anode” noemen het punt, waar de electronen vertrekken en „kathode”, dat waar zij binnenkomen. Welnu, als zij de anoden der lampen van den ontvanger verlaten, komen de electronen binnen bij de kathode van den gelijkrichter, verlaten diens anode en komen binnen in de kathoden der ontvanglampen. Je ziet, dat het alles heel normaal is.

Vr. — Werkelijk. Maar... neem me niet kwalijk, ik heb vandaag reuzen zin om tegenwerpen te maken... Maar, zeg ik, de stroom, dien de gelijkrichter levert (fig. 80 of 84) 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 zoo ruw doorgeeft aan de ontvanglampen, zullen de plaatstroomen daarvan die veranderingen volgen, welke dan in den luidspreker worden omgezet in een oorverdoovend geroffel.

Vr. — Maar er zal toch zeker wel een middel zijn om van dien gelijkgerichten stroom een volkomen gelijkstroom te maken, niet?

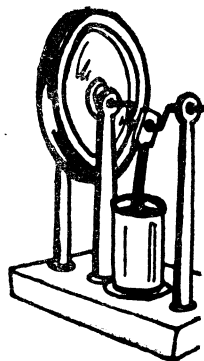
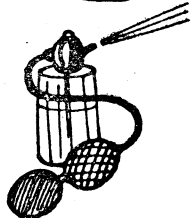
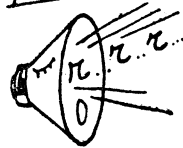
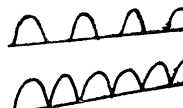
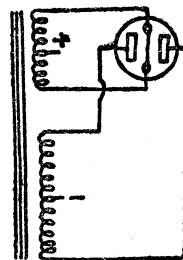
W. — Natuurlijk! Dat geschiedt door „afvlakking”, of zooals men ook wel zegt: door zeping. De ongezeefde gelijkgerichte stroom is te vergelijken met zoo'n straal eau de cologne, als die goedkope sproeiflacons geven, die maar één bal hebben, waarin men herhaaldelijk moet knijpen. Door een ventiel aan weerskanten van den bal veroorzaakt de afwisselende beweging van samenpersing en wederopzwelling 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 van flacons verkrijgt men een regelmatiger straal eau de cologne, dank zij een tweeden bal, die achter den eersten wordt geplaatst. Die tweede bal, waarvan de gummiwanden erg dun en rekbaar zijn, zet uit op het oogenblik, dat hij van den eersten 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 den flacon een regelmatigen straal lucht. Zoo vervult de tweede bal de rol van reservoir, dat bestemd is om den 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 electriciteit dezelfde rol vervult?

Vr. — De condensator!... Die heeft ook het vermogen zich te laden en te ontladen.

W. — Daarom gebruiken we voor de afvlakking een condensator. Door hem tusschen de positieve en de negatieve pool van den gelijkrichter te plaatsen, vlakken wij het afgegeven vermogen daarvan af. Toch zal een condensator, zelfs met een groote 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.

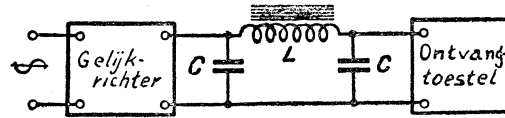
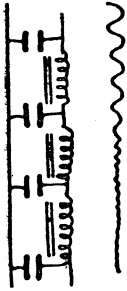


Fig. 87. Een zeefkring CLC, die geplaatst is tusschen den gelijkrichter en den ontvanger, dient tot „afvlakking” van den stroom.

Ken je nog een elektrische grootheid, die zich op de manier van de traagheid verzet tegen de veranderingen van den stroom?

Vr. — Natuurlijk: de zelfinductie!

W. — Prachtig! In den weg van den gelijkgerichten 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 onzen filter (fig. 87) door een tweeden 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 gebruik maken, die samengesteld zijn zooals fig. 87 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 lampen van den ontvanger? Ik denk: óók door wisselstroom.

DE LAATSTE WOORDEN OVER DE VERHITTING.

W. — Dan vergis je je niet. Te dien einde brengt men op den voedings-transformator (fig. 88) nog een derde secundaire wikkeling voor lage span-

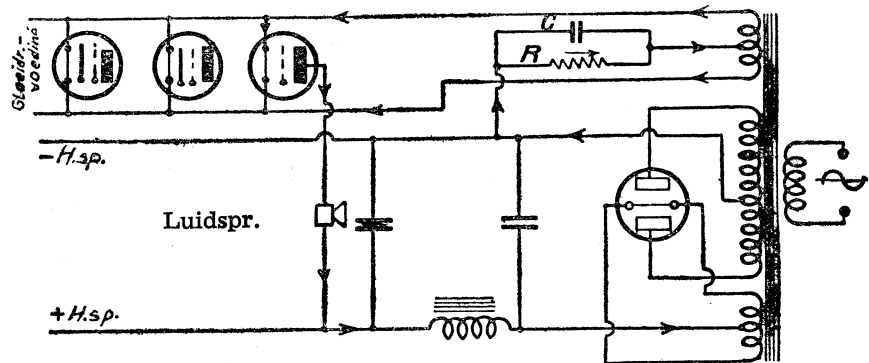
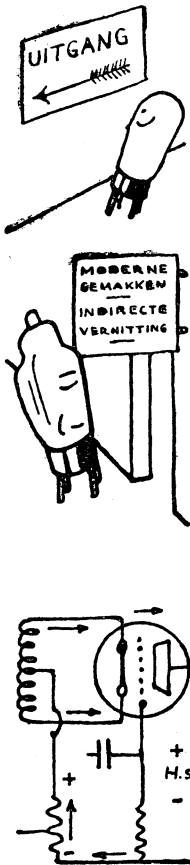


Fig. 88. De volledige voeding van een ontvangtoestel uit een wisselstroomlichtnet: gloeistroom, H-sp.-gelijkrichting en afvlakking. De weerstand R met den ontkoppelingscondensator C dient om aan de eindlamp (met directe verhitting) negatieve voorspanning te geven. De pijlen wijzen de electronenstroomrichting aan van den plaatstroom van die lamp.

ning aan, welke dient voor de verhitting van de gloeidraden der lampen. Gewoonlijk zijn alle lampen direct verhit, behalve soms de laatste lamp (eindlamp). Die lamp moet aan den luidspreker een vrij belangrijken stroom



leveren, en om nu een sterke electronen-uitzending te krijgen, zooals bij den gelijkrichter, geeft men er vaak de voorkeur aan den gloeidraad zelf als kathode te gebruiken.

Vr. — Maar hoe geeft men een dergelijke lamp dan negatieve voorspanning?

W. — Volgens hetzelfde principe als de lampen met indirecte verhitting: door de kathode positief te maken ten opzichte van het rooster met behulp van een weerstand, welke wordt ingeschakeld tusschen de kathode en de negatieve pool van de hoogspanning. Alleen, hier heeft de kathode een veranderlijke potentiaal. En evenals bij de direct verhitte lampen, niet met den gloeidraad zelf, maar met het middelpunt van de gloeispannings-wikkeling verbinden we den voorspanningsweerstand, waarvan het andere einde met de negatieve pool der hoogspanning wordt verbonden.... En nu, Vraagal, weet je alles, wat je weten moest over de voeding van de ontvangtoestellen.

VRAAGAL BEGAAT EEN ONVERGEEFLIJKE FOUT.

Vr. — Dat ben ik niet heelemaal met je eens. Verget niet, dat ik een oom heb, die spotprenten teekent, aan wien ik beloofd heb een ontvangtoestel te bouwen. Hij krijgt zijn stroom uit een gelijkstroomnet van 110 V.

W. — Juist, zeg wel „krijgt"! Want in het geval van een gelijkstroomnet behoeft hij er niet aan te denken de spanning aldus te verhoogen, tenzij hij een electromotor gebruikt, die op zijn beurt weer een dynamo noodig heeft.

Vr. — En de transformator dan?

W. — Maar Vraagal! Je doet me blozen over zooveel 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 den stroom is?

Vr. — Ja, dat is zoo, daar heb ik niet aan gedacht. Bijgevolg zou een transformator bij gelijkstroom nergens voor dienen. Maar wat moet ik dan doen?

W. — Teverden zijn met de spanning, die je hebt en er zoo min mogelijk van verkwisten door verlies. Er bestaan gelukkig speciaal voor dit geval gebouwde lampen, die zelfs bij een plaatspanning van 100 V nog een behoorlijk nuttig effect opleveren. Het spreekt vanzelf, dat wij nu den stroom niet behoeven „gelijk te richten". Het blijft niettemin noodig hem af te vlakken....

Vr. — Gelijkstroom afvlakken?? Terwijl hij „gelijk" is!?

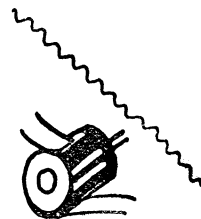
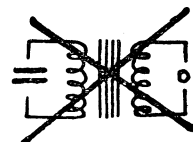
W. — Wind je niet zoo op, vriendje! De stroom van het net, dien wij gelijkstroom noemen, is in werkelijkheid aan een lichte variatie onderhevig. Dat komt door de manier van opwekking zelf, door de zg. „gelijkstroom-dynamo's". In werkelijkheid verwekken zij een wisselstroom, die gelijkgericht wordt door een synchronen, mechanischen gelijkrichter, collector geheeten.

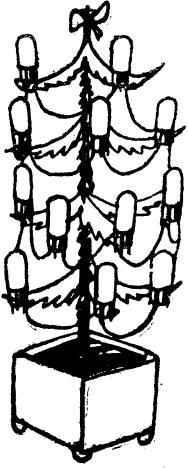
Vr. — Het is weer allemachtig ingewikkeld en ik begrijp er niets meer van.

W. — Als je nog eenig restje van begrip van de electriche machines had overgehouden, zou je mij begrepen hebben. Maar dat begrip is heelemaal niet noodzakelijk voor onze radio-studie. Het is genoeg, als je maar weet, dat de gelijkstroom van het net wegens die lichte golving afgevlakt moet worden, door een filter (zeef), gelijk aan dien van fig. 87. Dit geschiedt, vóórdat de stroom aan de ontvanglampen 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 berekenden „voorschakel”-weerstand, zoodat aan de gloeidraden juist de noodzakelijke spanning gegeven wordt, niet meer en niet minder. Overigens maakt men voor verhitting door gelijkstroom speciale lampen, waarvan de gloeidraad wordt verhit onder een spanning van tientallen volts. Men moet die gloeidraden in serie schakelen. Zoodoende is voor vijf gloeidraden, die elk 20 V behoeven, als zij in serie geschakeld worden, 100 V noodig. Men kan ze dus zonder gevaar op 110 V aansluiten, mits je de 10 V, die er nog te veel zijn overgebleven, in een serie-weerstand „wegwerkt”.

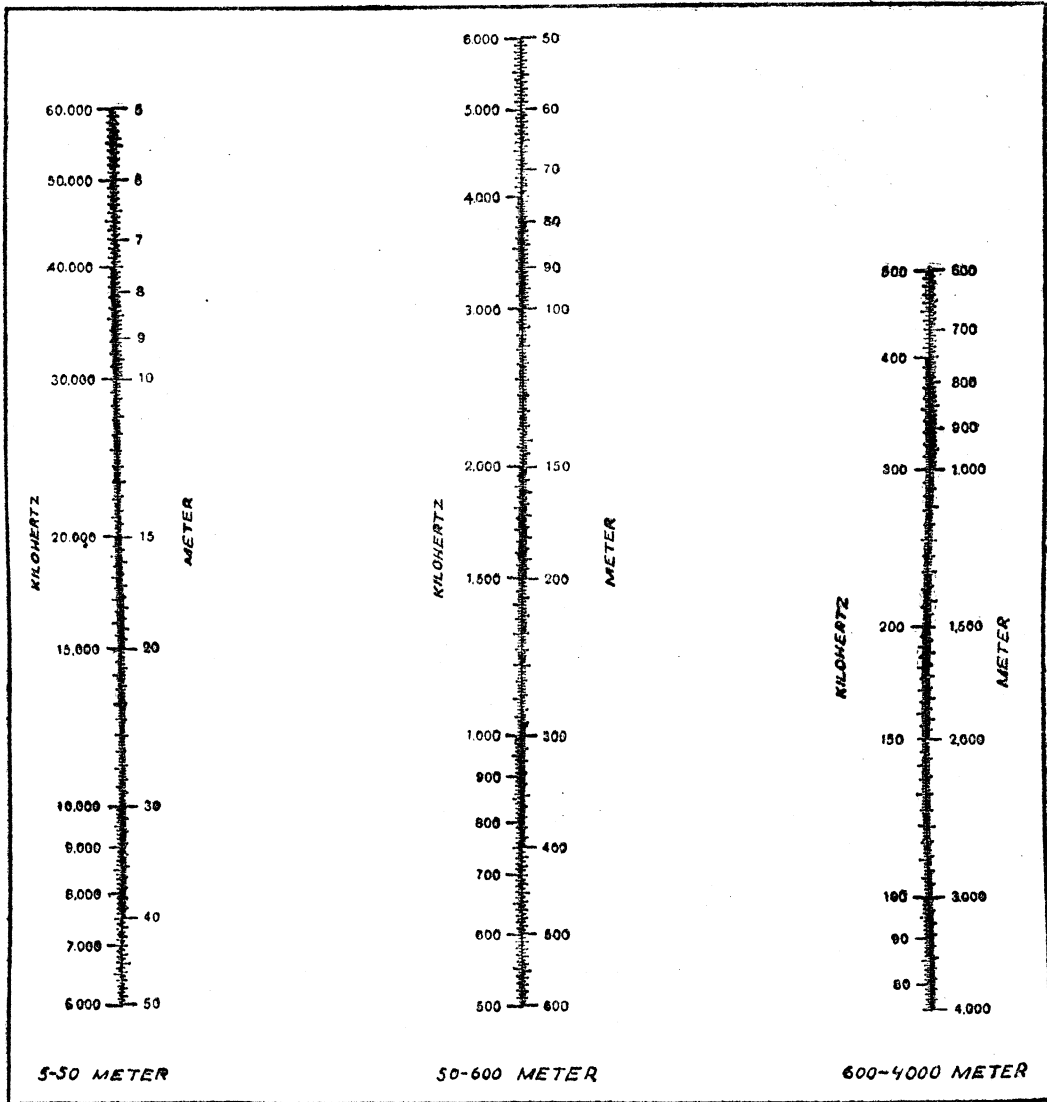
Vr. — Dat is dan hetzelfde systeem, als gebruikt wordt om een kerstboom te verlichten. Dan gebruikt men een snoer met lampjes van een lage spanning, die in serie zijn geschakeld.

W. — Zoo is het! En, Vraagal, nu je alle geheimen kent van de gelijk- of wisselstroomvoeding, mag ik zeker wel wat gaan uitrusten?



HET VERBAND TUSSEHEN FREQUENTIE EN GOLFLENGTE.

ULTRAKORTE GOLVEN KORTE GOLVEN LANGE GOLVEN

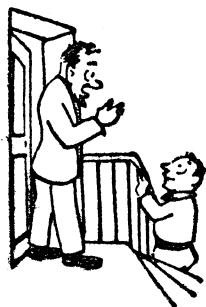


Om een golflengte te vinden, die met een bepaalde frequentie overeenkomt (of omgekeerd), bepaalt men het overeenkomstige punt op de schaal van de frequenties en datzelfde punt wijst dan op de schaal aan den anderen kant van de lijn de golflengte aan. De frequenties zijn uitgedrukt in kilo-hertz (kHz), d.w.z. in duizendtallen perioden per seconde.

Voorbeelden 20 000 kHz = 15 m.
 1 200 kHz = 250 m.
 400 kHz = 750 m.

In dit gesprek behandelen onze vrienden eindelijk het principe der frequentie-omvorming, waarop die ontvangtoestellen zijn gebaseerd, welke wij „superheterodynes” of „zwevingsontvangers” noemen. Het begin van dit gesprek eischt ditmaal van de zijde van Vraagal — en ook van den lezer — bijzondere aandacht. Als het kritieke oogenblik eenmaal voorbij is, is 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 zoeven mijn huis verliet, kwam ik op de trap mijn buurman tegen, die me, razend van woede, beloofd heeft mij een pak slaag te geven den eersten den besten keer, dat ik zijn radio weer zou laten gillen. Hoe kan ik nou zijn muziekdooz laten gillen, zingen of huilen!...

W. — Ik zal je uit den droom helpen, Vraagal. Met jouw teruggekoppelden detector (waarover je moeder mij al bittere verwijten heeft gedaan) kun je prachtig alle ontvangtoestellen in de buurt laten gillen. Om dat te bereiken is het voldoende, dat je de grens van genereeren 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 zuiveren hoogfrequenten stroom zonder eenige muzikale modulatie?

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 hooren, als hij niet gecombineerd (gesuperponeerd) werd met de hoogfrequenten stroomen van de stations, waarnaar je buurman wil luisteren. Welnu, als twee wisselstroomen van verschillende frequenties gesuperponeerd worden, ontstaat tusschen hen

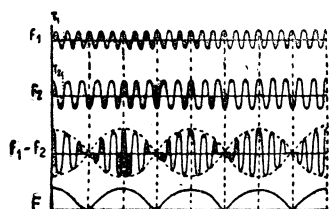
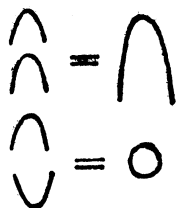
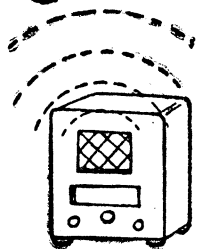
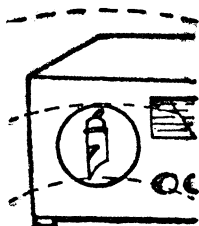


Fig. 89. Door superpositie geven twee trillingen f_1 en f_2 aanleiding tot een samengestelde trilling $f_1 - f_2$, die na gelijkrichting den stroom F doet ontstaan.

een **interferentie-verschijnsel** of een zweving, die aanleiding kan geven tot een stroom van hoorbare frequentie.

Vr. — Dat is zonderling. Mij dunkt, dat als twee hoogfrequenten stroomen gesuperponeerd werden, zij een stroom met een nog hoogere frequentie zouden voortbrengen.

W. — Laten we, als je het goed vindt, die zaak eens wat nader bekijken. Veronderstel eens, dat wij twee stroomen hebben, waarvan de frequenties (en dus ook het periodental) niet heelemaal dezelfde zijn (f_1 en f_2 in fig. 89) en dat die twee stroomen op hetzelfde oogenblik „beginnen”. In het begin versterken zij elkaar onderling, d.w.z. hun amplituden worden gewoon opgeteld. Maar na verloop van enkele perioden wordt het verschil in periode meer merkbaar, de amplituden worden niet meer gewoon samengevoegd, maar „algebraïsch” en weldra beginnen de stroomen, die nu in tegengestelde richtingen loopen, 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, enzovoort. En alles begint van voren af aan, want het periodenverschil blijft bestaan. Je ziet dus, dat de resulterende stroom bestaat uit een serie stooten, waarvan de amplitudo periodiek toe- en afneemt ($f_1 - f_2$ in fig. 89) en met een frequentie, die ver beneden die van onze twee samengestelde stroomen afzonderlijk ligt. Als je dien resulterenden stroom gelijkricht, krijg je een stroom (fig. 89) met een frequentie F , die de variatie van de amplitudo der stooten karakteriseert. De frequentie van den resulterenden stroom is gelijk aan het verschil van de beide frequenties der samenstellende stroomen.

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 rythme 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 zoo verder. Afwisselend zal de boot schokken en stil liggen.

W. — Ik merk, dat je het interferentie-verschijnsel, 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 dien fraaien teruggekoppelden detector „uitzendt” — want dat is het eigenlijk — op 1 005 000 per seconden. Die twee stroomen, die gesuperponeerd worden in het ontvangtoestel van je armen buurman, zullen daar aanleiding geven tot een stroom, waarvan de frequentie gelijk is aan het verschil der beide andere, zoo 1 005 000 — 1 000 000 = 5000 per seconde. Die resulterende stroom is volkomen hoorbaar en laat van zich blijken in den vorm van een schellen fluittoon. En zoo 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 de ontvanger, die gebaseerd is op het interferentie-verschijnsel.

Vr. — Is dat een voortdurend gillende ontvanger?!

W. — Neen, dat niet; het is een ontvanger met „onhoorbaar gefluit”!

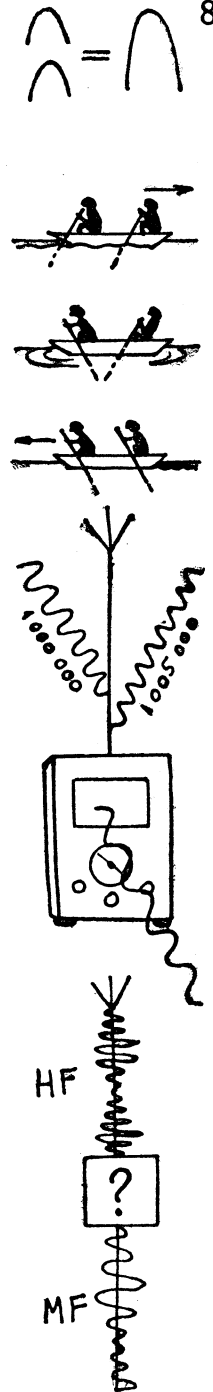
Vr. — Ondanks dat je me dergelijke uitleggingen geeft, wil je toch nog maar steeds beweren, dat de radio zoo eenvoudig is?....

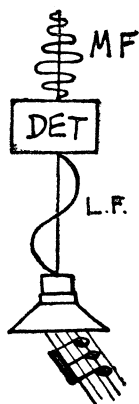
VAN DE HOOGTE, DOOR DE MIDDEN-, NAAR DE LAGE FREQUENTIE.

W. — Word niet boos, beste jongen. In de superheterodynes wekt men zwevingen op tusschen den hoogfrequenten stroom van het beluisterde station en den hoogfrequenten stroom van een generator, die in den ontvanger zelf is geplaatst. Alleen stemt men den generator op een dusdanige frequentie af, dat de resulterende stroom van de interferentie zelf een betrekkelijk hooge frequentie heeft, gewoonlijk hooger 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 hooge frequentie door een andere, die niet zoo hoog is, maar niettemin onhoorbaar.

W. — Laat mij je in een paar woorden de werking van de superheterodyne of zwevingsontvanger uitleggen, dan zal alles je wel duidelijk worden. Wij krijgen dus in de superheterodyne den hoogfrequenten stroom, die door





de golven van een zender in de antenne is geïnduceerd. Bovendien hebben wij den stroom, die met een klein verschil van frequentie door den eigen hulpgenerator is voortgebracht. Die twee stroomen worden gesuperponeerd en geven aanleiding tot een derden stroom met een veel minder hoge frequentie, welke men de **midden-frequentie (M.F.)** noemt; die stroom is op dezelfde wijze gemoduleerd als de oorspronkelijke stroom van de antenne, want door de frequentie-omvorming wordt niet in het minst de muziekmodulatie aangetast, die de microfoon in de studio van den zender aan den hoogfrequenten stroom heeft gegeven. Maar onze midden-frequentie stroom is veel gemakkelijker te versterken dan de oorspronkelijke stroom, omdat de frequentie lager is en bijgevolg de ongewenschte capaciteiten minder inwerking op hem hebben. Wij versterken dien stroom dus in de versterkings-

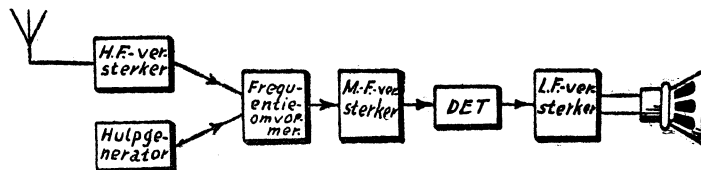
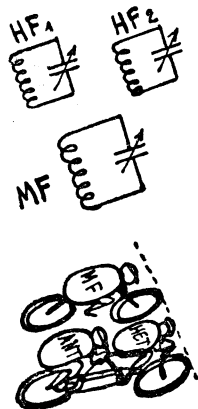


Fig. 90. Schematische samenstelling van een superheterodyne (zwevingsontvanger).



trappen voor de midden-frequentie, vervolgens richten wij hem gelijk zooals iederen hoogfrequenten stroom en tenslotte, nadat wij den aldus verkregen laagfrequenten stroom hebben versterkt, sturen wij hem naar den luidspreker. 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 hulpgenerator, 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, zooals wij tot nu toe gedaan hebben, moet men den ingangskring afstemmen op de frequentie van de gewenschte uitzending, den generatorkring op een andere frequentie en dan de kringen van den M.F.-versterker nog weer op een derde.....

VRAAGAL GEVOELT ZICH AL TOT DE SUPERHETERODYNE AANGETROKKEN.

W. — Stel je maar gerust, Vraagal, een der belangrijkste voordeelen van de superheterodyne heb ik nog niet voor je onthuld: de M.F.-kringen worden eens voor altijd op een bepaalde frequentie afgestemd. Men regelt dus den generator voor iedere uitzending zoo, dat de stroom, welke op dien van de antenne wordt gesuperponeerd, steeds dezelfde resulterende frequentie veroorzaakt.

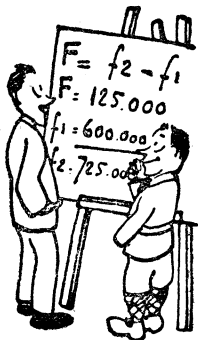
Vr. — Ik geloof, dat een voorbeeld met cijfers niet overbodig zou zijn.

W. — Veronderstel maar eens, dat wij een superheterodyne hebben, waarvan de M.F.-trappen afgestemd zijn op 125 000 Hz. Om een uitzending van 600 000 Hz te ontvangen (d.i. een golflengte van 500 m) moet men dus den generator 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 den generator 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 eene uitzending op de andere overgaat, niet telkens afgestemd te worden. Ik denk, dat men daar zelfs geen variabele condensatoren bij noodig heeft, want hun afstemming verandert toch niet. Dus, in een superheterodyne moeten slechts twee kringen afgestemd worden: de ingangskring (op de uitzending) en de generatorkring (op een frequentie boven de te ontvangen frequentie ter waarde van de midden-frequentie). Zoo wordt de regeling dan eigenlijk erg simpel!

W. — Zelfs nog meer dan je denkt. De beide condensatoren worden gewoonlijk met één en denzelfden knop geregeld. Men richt het zoo in, dat de beide frequenties in alle standen van den condensator hetzelfde verschil hebben.

Vr. — Maar hoe bewerkstelligt men in de praktijk de superponeering der beide trillingen?

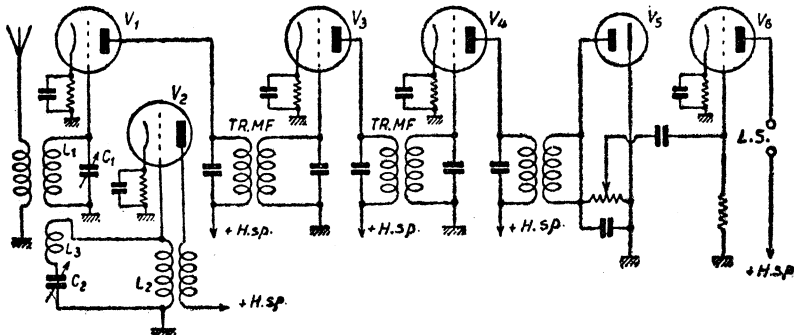
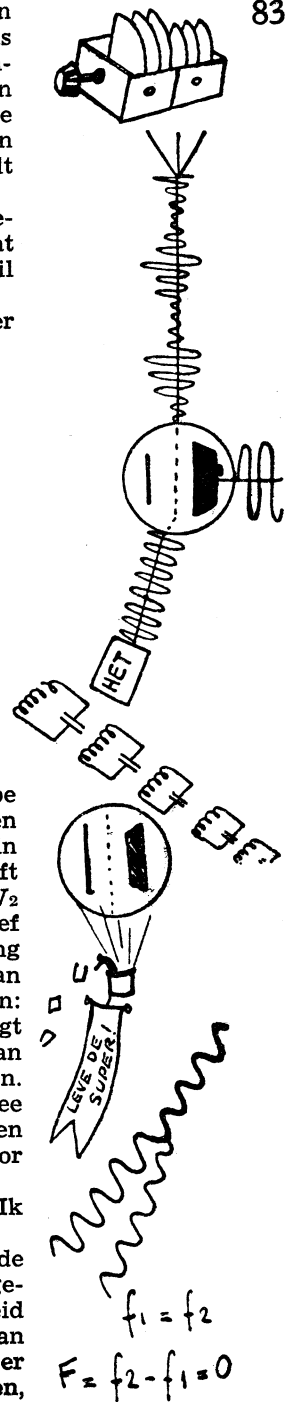


Fig. 91. Schema van de superheterodyne met afzonderlijke oscillatorlamp V_2 .

W. — Voor de frequentie-omvorming bestaan talloze systemen. Hun principe is vrijwel hetzelfde, zoodat 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. 91). Een afzonderlijke generator (of zooals men ook zegt: oscillator) V_2 bevat in den trillingskring L_2C_2 een kleine „koppelspoel” L_3 , die inductief gekoppeld is met spoel L_1 van den ingangskring. Dank zij deze koppeling brengt de oscillator zijn trillingen over in den kring L_1C_1 . Zoo worden dan aan het rooster van lamp V_1 tegelijkertijd twee wisselspanningen gegeven: die van de antenne en die van den oscillator. De plaatstroom vertegenwoordigt dan ook de trilling, die het resultaat is van de superpositie der beide aan het rooster gegeven trillingen: dat zal dan de midden-frequente stroom zijn. Zooals ik den ontvanger heb geteekend, bevat hij achtereenvolgens twee versterkingstrappen voor M.F. (V_3 en V_4), gekoppeld door transformatoren met afgestemde primaire en secundaire. Vervolgens komt de diode-detector (V_5) en de L.F.-versterking (V_6).

Vr. — Ik zie, dat de M.F.-koppelkringen uit zes trillingsketens bestaan. Ik veronderstel, dat zij den ontvanger een enorme selectiviteit zullen geven.

W. — Zeker! En dat is nóg een voordeel van de superheterodyne. In de ontvangoestellen met directe hoogfrequente versterking kan men niet gemakkelijk het aantal afgestemde kringen vergrooten wegens de moeilijkheid gelijktijdig zooveel variabele condensatoren te regelen en het gevaar van sterke ongewenschte koppelingen. In een superheterodyne daarentegen, is er niets, dat zich verzet tegen een vergrooting 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 voordeelen van de frequentie-omvorming. Zou ik volgens jouw schema nu een toestel kunnen bouwen?

HET AANTAL ROOSTERS GROEIT.

W. — Geen denken aan! Dit schema heeft veel gebreken. Sinds lang geeft men niet meer de beide trillingen aan dezelfde electrode van de lamp en ook vermijdt men een zoo vaste koppeling tusschen den trillingskring van de ingangszijde en dien van den generator of oscillator.

Vr. — Is er dan een nadeel aan die vaste koppeling verbonden?

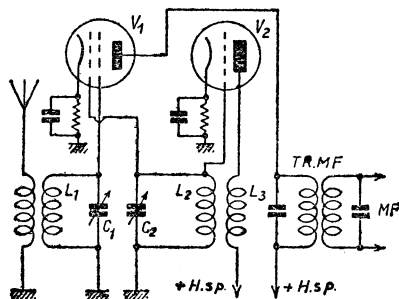
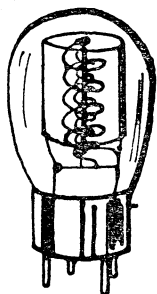


Fig. 92. Frequentie-omvorming door de dubbelrooster-modulatorlamp of menglamp V_1 , en een triode-oscillator V_2 .

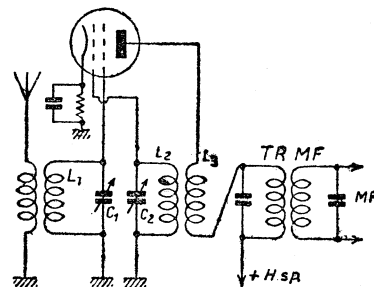
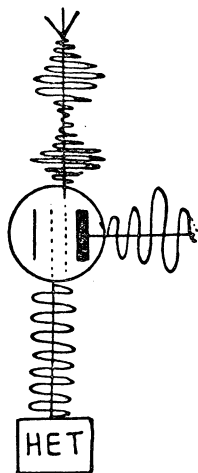


Fig. 93. Het klassieke schema van den frequentie-omvormer door een dubbelrooster-oscillator-menglamp.



W. — Ja, en wel een zeer groot. Omdat hun afstemmingen niet veel verschillen, kan de oscillator niet alleen gaan oscilleeren op de frequentie van den eigen kring L_2C_2 , maar ook op die van den ingangskring L_1C_1 ; en dan krijgen wij nog een frequentie-verandering. Men noemt dat het „meeslepen” der trillingen.

Vr. — Dat is erg vervelend. Toch zie ik geen middel om de trillingen te superponeeren met algeheele onderdrukking van de koppeling tusschen de beide kringen.

W. — Dat middel bieden de lampen met verscheidene roosters, bijvoorbeeld een lamp met twee roosters: de **dubbelroosterlamp**. De trilling van de heterodyne wordt aan het eerste rooster gegeven en die van de opgevangen uitzending aan het tweede (fig. 92). Op die manier beïnvloeden beide trillingen gelijktijdig den plaatstroom, die er het gevolg van is. Je ziet, dat er bij deze schakeling geen enkele magnetische koppeling bestaat tusschen de kringen L_1C_1 en L_2C_2 .

Vr. — Inderdaad. De twee trillingen vallen den plaatstroom onafhankelijk van elkaar aan.

W. — Overigens kan men deze schakeling tot stand brengen met behulp van een enkele dubbelroosterlamp, die gelijktijdig werkt als frequentie-omvormer en als oscillator (fig. 93). Je zult opmerken, dat de plaatstroom dan tevens dient om de terugkoppeling op te wekken, die noodzakelijk is voor het ontstaan en onderhouden van de trillingen in den oscillator.

Vr. — Die schakeling bevat me niet erg. Het is niet normaal, dat dezelfde plaatstroom de midden-frequentie vertegenwoordigt en tegelijkertijd voor de terugkoppeling dient voor den hoogfrequent-oscillator.

W. — Daar steekt niets buitengewoons in, want er bestaan componenten voor elk der frequenties, die gesuperponeerd worden. Maar omdat je gehecht bent aan de bescherming van de onafhankelijkheid van de hoog- en midden-frequentie plaatstroomen, kan ik je de lamp met vijf electroden van fig. 94 voorstellen. Het eerste rooster en de eerste anode (die erg klein is en den verderen doortocht van de meerderheid der electronen niet verhindert) worden met den oscillator verbonden. De antennetrillingen worden aan het tweede rooster aangesloten en in den plaatkring vinden wij uiteindelijk den midden-frequenten stroom.

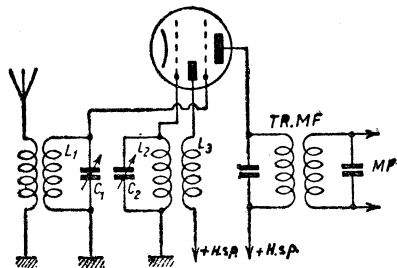


Fig. 94. Frequentie-omvorming door een dubbelroosterlamp met twee anoden, die alleen in het vindingrijke brein van Weetal bestaat....

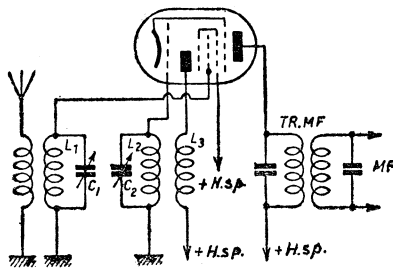
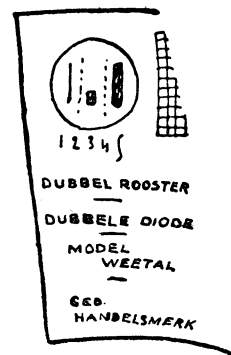


Fig. 95. Schakeling van den octodefrequentie-omvormer. (In een heptode ontbreekt het laatste rooster).



Vr. — Dat bevat me beter!

W. — Toch bestaat die schakeling, zoals ik ze je beschreven heb, in werkelijkheid niet! Want wegens de capaciteiten tusschen de electroden van de lamp, zal er een koppeling ontstaan tusschen de twee kringen L_1C_1 en L_2C_2 , die soms voldoende is (vooral op de korte golf) om meeslepen te veroorzaken.

Vr. — O, o, die ongewenschte capaciteiten! Wat is er toch tegen te doen?

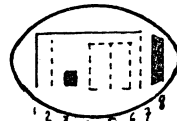
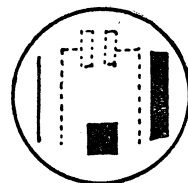
IN HET KONINKRIJK DER ROOSTERS.

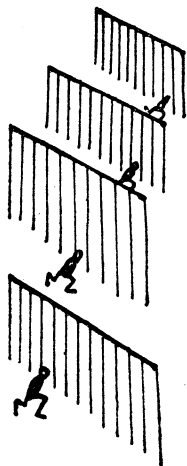
W. — Hetzelfde als in het geval van de H.F.-versterking, die wij vroeger al onderzocht hebben: er moet een afscherming tusschen de electroden gemaakt worden, of anders gezegd: er moet een schermrooster tusschen geplaatst worden.

Vr. — Er is dus een schermrooster nodig tusschen de kleine plaat en het tweede rooster?

W. — Daarvoor alleen zou een dergelijk schermrooster voldoende zijn om de capacatieve koppeling te onderdrukken; maar het zou de meeste electronen aantrekken, zoodat slechts zeer weinige de laatste anode zouden bereiken. De juiste oplossing ligt in het gebruik van twee schermroosters, waarvan het tweede dichter bij de laatste anode wordt geplaatst. Dank zij zijn positieve potentiaal heeft dit laatste rooster ten doel de electronen te helpen bij hun langen tocht naar de anode. Voorts hebben de beide schermroosters dezelfde potentiaal en daarom zijn ze binnenin de lamp met elkaar verbonden. Om de secundaire electronen-emissie onschadelijk te maken — dat is een bezwaar van alle schermroosterlampen — wordt nog een remrooster ingevoegd. vlak bij de laatste anode. Dit wordt met de kathode verbonden. Op die manier verkrijgen we een lamp met acht electroden: de octode. Heeft de lamp niet zoo'n remrooster, dan heeft zij zeven electroden en heet heptode.

Vr. — Je hebt mij heelemaal geroosterd met al die roosters.... Om mij

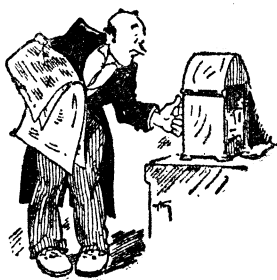




zelf weer een beetje op de been te helpen, ga ik probeeren de rollen van de verschillende electroden in de octode samen te vatten:

- 1e. De kathode, die vanzelfsprekend dient voor de electronen-emissie.
- 2e. Het eerste rooster, dat is dat van den hulpgenerator. Dat is dus het oscillatorrooster.
- 3e. De kleine anode van den generator of de oscillator-anode.
- 4e. Het eerste schermrooster, dat bestemd is om de capacatieve koppeling tusschen het oscillator-rooster en het rooster, waarop de antennetrillingen voorkomen, te vermijden.
- 5e. Aan dit rooster sluit men de antenne-keten aan.
- 6e. Het tweede schermrooster. Het is bestemd voor de versnelling van den electronenstroom.
- 7e. Het remrooster, dat de secundaire electronen-emissie onschadelijk maakt. Dit verhindert de electronen om van de plaat naar het tweede schermrooster terug te vliegen.
- 8e. Tenslotte is er de anode, die den resulterenden midden-frequenten stroom levert.

W. — Dat is prachtig, Vraagal! Ik zie, dat je je gemakkelijk kunt oriënteren.
 Vr. — Maar wat ik niet begrijp is, hoe de electronen zich kunnen oriënteren en zich niet in den weg vergissen....



ZEVENTIENDE GESPREK

Vraagal heeft lang nagedacht over de superheterodyne en hij heeft gevonden, dat deze een onoverkomelijke fout heeft. Gelukkig heeft Weetal de gewoonte alle hinderpalen om te blazen. . . . En zoo gelukt het onzen vrienden het schema van een ontvangtoestel zoo 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 der luidsprekers. Maar dit is nog niet het laatste van deze gesprekken.

EEN ROOVERSGESCHIEDENIS

Vr. — Ik heb er wel eenige 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 tusschen. . . .

Vr. — Wind je niet zoo op! De superheterodyne doet me heel eenvoudig denken aan dien sympathieken gangster der Oudheid, Procrustes of Procrustes heette hij, geloof ik, daarover zijn de encyclopaedieën het niet heelemaal eens. Hij voerde de gastvrijheid zoover 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 den roover 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 zoo, dat men altijd dezelfde midden-frequentie verkrijgt: die, waarop de kringen van de M.F.-versterker 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 midden-frequentie 100 000 Hz is en dat wij naar een uitzending van 1 000 000 Hz willen luisteren. Dan moet men den oscillator afstemmen op 1 100 000 Hz of op 900 000 Hz. Want dan is het verschil tusschen 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 lamp komt, die de frequentie omvormt, dan zal ook die frequentie gemengd met de 900 000 Hz van den generator aanleiding geven tot een resulterenden stroom van 100 000 Hz. Dus ook die zal in de midden-frequentie versterkt worden en eveneens hoorbaar worden!

W. — Je redeneering is juist. Inderdaad zijn er voor iedere afstemming van den generator twee uitzendingen die dezelfde midden-frequentie kunnen veroorzaken: een dezer uitzendingen heeft een hogere frequentie, de andere een lagere dan de generator. Men noemt dat de **spiegelfrequenties**.

Vr. — Maar het is toch erg hinderlijk om twee uitzendingen tegelijk te hooren!

W. — Dat ben ik volkomen met je eens. Men richt het dan ook zoo in, dat bij de lamp, die de frequentie omvormt, alleen die frequentie kan komen, welke men wenscht. Te dien einde plaatst men aan de ingangszijde van den ontvanger een tamelijk selectieven afstemkring, **voorselectiekring** genaamd. Een andere oplossing bestaat in het laten verdwijnen van de hinderlijke frequentie door een voorafgaande versterking (**voor-versterking**) van den antennestroom.

Vr. — Ik geef de voorkeur aan die laatste methode. Het lijkt me goed om, voordat hij de behandeling der frequentie-omvorming ondergaat, den stroom



$$\begin{array}{l} 1.000.000 - 900.000 \\ = 100.000 \\ 900.000 - 800.000 \\ = 100.000 \end{array}$$

★



Geen toegang voor
de
spiegelfrequenties



Vr. — Ik veronderstel, dat hij wel op dezelfde manier samengesteld zal zijn als de telefoon, maar alleen met sterker magneten en met een grooter membraan.

DE LUIDSPREKER IN DEN LOOP DER TIJDEN.

W. — Zoo waren inderdaad de eerste luidsprekers samengesteld. Bovendien voorzag men ze, voor een betere verspreiding van het geluid, van een langen hoorn in den vorm van een zwanenhals. Die vorm was ontleend aan de oude gramofoons. Dat gaf een blikerig geluid, maar toch beweerden de eerste luisteraars, dat zij verrukt waren... In die luidsprekers vervulde het ijzeren membraantje twee functies: Ten eerste zette het den veranderlijken laagfrequenten stroom in mechanische trillingen om en ten tweede wekte het, bij het doorgeven van die trillingen aan de omringende luchtlagen, geluidgolven op.

Vr. — Dat is te veel voor zoo'n arm klein ijzeren plaatje!

W. — Tot die conclusie zijn de technici ook gekomen. Men trachtte toen een scheiding der beide functies te bereiken. Aan den eenen kant werd het membraan, dat alles moest doen, vervangen door een elastische tong, die trilde onder invloed van het veranderlijke veld van den electromagneet; aan den anderen 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 zoo over op een tamelijk groote luchtmassa.

Vr. — Dat schijnt me erg goed, maar waarom spreek je in den verleden tijd over dien luidspreker?

W. — Omdat men hem nu niet meer gebruikt wegens een groot gebrek, waarmee hij behept was, nl. de te zwakke trillingsamplitudo van de tong. Zoodra deze te sterk trilde, raakte zij den magneet.

Vr. — Kon men de tong er dan niet verder vandaan plaatsen?

W. — Door den afstand te vergrooten verkleinde men den invloed van het magnetische veld en daardoor verzwakte de amplitudo der trillingen. Jouw idee zou ons van Charybdis op Scylla doen stooten.

Vr. — Heeft men tenslotte een ander systeem zonder die fout uitgevonden?

EEN MODERNE LUIDSPREKER.

W. — Dat heeft men! De electro-dynamische luidspreker heeft de electro-magnetische luidsprekers, die gebaseerd waren op het oude principe van de telefoon, met succes vervangen en verdrongen. In de electro-dynamische bevindt zich een electromagneet, 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. 99). Door spoel B loopt de laagfrequente stroom. Zij wordt dus op haar beurt ook een kleine magneet, waarvan de polen afwisselend van richting omkeeren. Dus nu eens wordt die spoel door den magneet A aangetrokken, die haar tracht in te slikken, dan weer wordt zij er door afgestooten. Die spoel is aan het midden van een conisch membraan M bevestigd, waaraan zij haar trillingen doorgeeft. Je ziet, hier is niets, dat de amplitudo der trillingen kan beperken, behalve de elasticiteit van het membraan.

Vr. — Dat is werkelijk vernuftig. Maar ik zie in je teekening, dat de beweegbare spoel B zeer weinig plaats heeft om te bewegen.

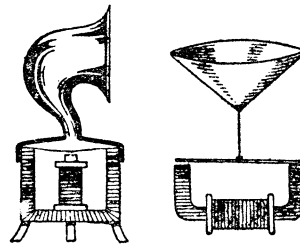
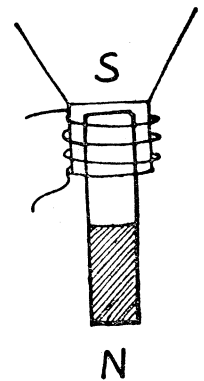
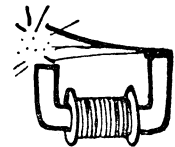
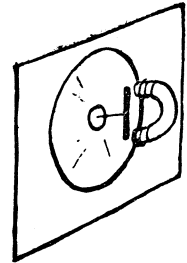


Fig. 97 (links). Doorsnede van een ouderwetischen electro-magnetischen luidspreker met hoorn.

Fig. 98 (rechts). Electro-magnetische luidspreker met een trillende tong en verspreiding van het geluid door een conisch membraan.



W. — Inderdaad! Om het constante magnetische veld zoo sterk mogelijk te maken, laat men zeer weinig plaats tusschen de polen van den magneet. Zoo heeft, ook om haar zeer licht 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 den plaatstroom van de eindlamp; deze laatste 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.

Vr. — Wat den permanenten magneet betreft, die moet, dunkt mij, wel zeer sterk zijn.

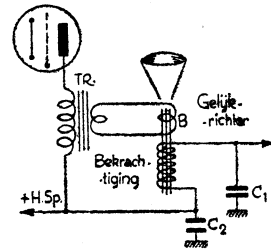
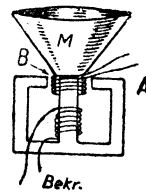
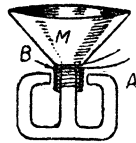
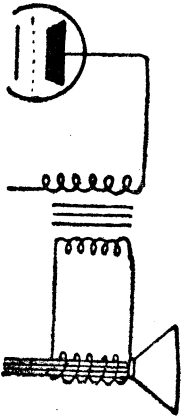
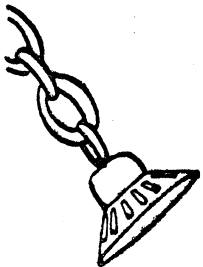
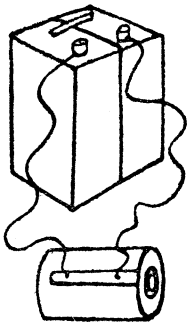


Fig. 99 (links). Doorsnede van een electrodynamischen luidspreker. A = magneet; B = beweegbare „spreekspoel”; M = membraan.

Fig. 100 (midden). Luidspreker met bekrachtiging (magnetiserende stroom).

Fig. 101 (rechts). De bekrachtigingsspoel wordt hier als filter-impedantie gebruikt.



W. — Daarin vergis je je niet. Overigens maakt men, gezien den hoogen prijs van goed magnetisch staal, vaak electromagneten door een magnetiseeringspoel (of, zooals men zegt: een bekrachtiging) binnen in den door den magneet gevormden „pot” te plaatsen.

Vr. — En waar komt de magnetiseeringsstroom vandaan?

W. — Voor groote luidsprekers maakt men te dien einde gebruik van een afzonderlijken gelijkrichter met filter. Maar voor de gewone luidsprekers van radiotoestellen neemt men als bekrachtigingsstroom het totaal van alle plaatstroom en laat dan de bekrachtigingsspoel de rol vervullen van de zelf-inductie van den afvlakfilter (fig. 101).

Vr. — Dat is reuze practisch! Op die manier krijgt men den bekrachtigingsstroom gratis!

W. — Niet heelemaal. Want in de bekrachtigingsspoel ontstaat een vrij groote spanningsval, waarmee rekening gehouden moet worden door voor een grootere gelijkgerichte spanning te zorgen.

Vr. — Het komt me voor, dat er voor mij niets meer te leeren valt op radio-gebied, nu ik ook met den luidspreker bekend ben. Dat was de laatste schakel van de lange keten der radio-electrische geluidsoverbreding.

W. — Inderdaad zouden wij hier onze gesprekken kunnen beëindigen, want in groote trekken ken je alle fundamenteele beginselen van de radio. Maar een modern ontvangtoestel is uitgerust met een zeker aantal onderdeelen, die tot doel hebben de afstemming te vergemakkelijken of de muziekweergave te verbeteren. De voornaamste van die onderdeelen gaan wij nu nog even bestudeeren om op die wijze je technische opvoeding te voltooien.

ACHTTIENDE GESPREK

Het probleem van de regeling en de stabiliteit der geluidsterkte is een der interessantste punten van de radio. Het is gemakkelijk om de geluidsterkte 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 ontvangers de automatische sluiers-compensator de uitwerking er van neutraliseert.

OVERPEINZINGEN OVER DE TERUGKAATSING DER GOLVEN.

Vr. — Het lezen van de advertenties der radiofabrieken heeft een deprimeerenden invloed op mij. Ik ontdek er steeds weer van die uitheemsche woorden in, zooals bijvoorbeeld fadingcompensatie. Ik veronderstel, dat dat woord aan het Engelsch is ontleend, evenals training of meeting.

W. — Zeker. En op zijn Hollandsch beteekent het „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 Engelsche woord terugkeert. Wat is dan die beruchte fading, waartegen men de antifading stelt?

W. — **Fading** wil zeggen „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 sterkte-variates, die langzaam of snel kunnen zijn, en die voor sommige oogenblikken de uitzending soms absoluut onhoorbaar kunnen maken, hebben de geleerden erg geprikkeld.

Vr. — Ik veronderstel, dat zij de luisteraars erg gehinderd hebben, want de nuances, die de sluiering aan de muziek geeft, zullen waarschijnlijk niet overeenkomen met de bedoelingen van den 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. — Zoo zou het wel zijn in het geval, dat de oorzaken van de sluiering in den zender of in het ontvangtoestel schuldten. Maar het verschijnsel ontstaat juist tusschen die twee in! Met een constante sterkte uitgezonden golven kunnen in het ontvangtoestel aankomen met een aanzienlijke ongestadigheid.

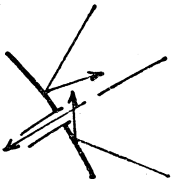
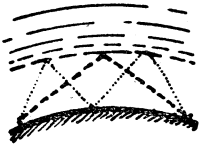
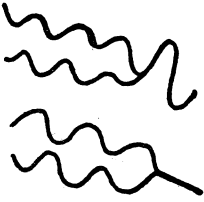
Vr. — Dus „fading” of „sluiering” is een afwijking in de voortplanting van de Hertzgolven?

W. — Zoo is het. Volgens de tegenwoordige theorieën planten de golven zich voort langs twee verschillende wegen. Er is aan den eenen kant de „aardgolf”, die de oppervlakte van den aardbol volgt; zij verzwakt tamelijk snel, doordat zij haar energie verspeelt aan alle geleiders, die zij op haar weg ontmoet en waarin zij hoogfrequente stroomen doet ontstaan. Maar aan den anderen kant zijn er golven, die als zij van de zendantenne vertrekken, onder een grooteren of kleineren hoek omhoog gaan.

Vr. — Die zijn voor ons verloren: zij vervliegen ongetwijfeld in de ruimte tusschen de planeten?



Fig. 102. De golf van den zender E komt langs twee verschillende wegen bij de ontvangantenne R aan: óf de oppervlakte van den aardbol volgend, óf na terugkaatsing in de hoogste lagen van onzen dampkring (in de Kenelly-Heaviside-laag).



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, zoodat zij naar de aarde teruggeworpen worden. Die laag heet de **ionosfeer** of — naar den naam van hen, die het eerst de hypothese van haar bestaan uitten — de „Kenelly-Heaviside-laag” (fig. 102).

Vr. — Dus volgens jou zou een ontvangantenne tegelijkertijd door twee golven beïnvloed worden, die allebei van denzelfden 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, den kortsten weg heeft genomen, is de andere eerst een straatje om gegaan naar de bovenste luchtlagen van den 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 phase”) zijn en in dat geval versterken zij elkaar onderling. Maar zij kunnen daar ook met tegengestelde phase aankomen; dan verzwakken hun onderling tegengestelde stooten elkaar of heffen elkaar zelfs op.

Vr. — Dat verklaart echter de sluiering nog niet, die voortdurend de sterkte van de ontvangst doet veranderen. Komend van denzelfden zender naar denzelfden ontvanger zullen de beide golven aanleiding geven tot een sterkere of zwakkere ontvangst, waarvan de sterkte zelf echter door geen enkele oorzaak in den loop van den tijd zou veranderen.

W. — Zoo 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 er van ondergaat belangrijke variaties in den loop van den 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 den zender verwijdert. Ik veronderstel dus, dat vanaf een zekeren afstand van den zender men alleen te doen heeft met de teruggekaatste golf. Daar zal dus geen sluiering meer 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 heelemaal geen middel om de sluiering te onderdrukken?

DE STRIJD TEGEN DE SLUIERING.

W. — Zoolang men aan verscheidene golven moet toestaan bij den ontvanger te komen, blijft de sluiering werken. Men kan haar alleen verzwakken met behulp van speciale zendantennes, die de golven onder een bepaalden hoek boven den horizon uitstralen of ook, bij den ontvanger, door een apparaat, dat van alle golven, die het ontvangt, één bepaalde uitzoekt, die onder een vastgestelden hoek aankomt.

Vr. — Als men dat „antifading” noemt, moet het wel verduiveld ingewikkeld zijn!

W. — Neen, mijn beste Vraagal. Terwijl men tracht de scherpte van de sluiering geheel door de bijzondere samenstelling van de zendantenne te reduceeren, kan men 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 den graad van de versterking in den 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, zoo gaat men te werk. Als ten gevolge van de sluiering een klank (d.w.z. een golf van den zender) ons te zwak bereikt, verhoogen wij de gevoeligheid van het ontvangtoestel door de versterking van de H.F.-versterkingstrappen te vergrooten. (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 lamp kan veranderen.

HET GEHEIMZINNIGE „PUNT X”.

W. — Je weet, dat hoe grooter de steilheid van een lamp is, hoe meer zij versterkt. Nu, voor dezelfde lamp variëert de steilheid volgens het punt van de karakteristiek, waarin de lamp werkt. Dat „werkpunt” wordt bepaald door de polarisatie of negatieve voorspanning van het rooster en....

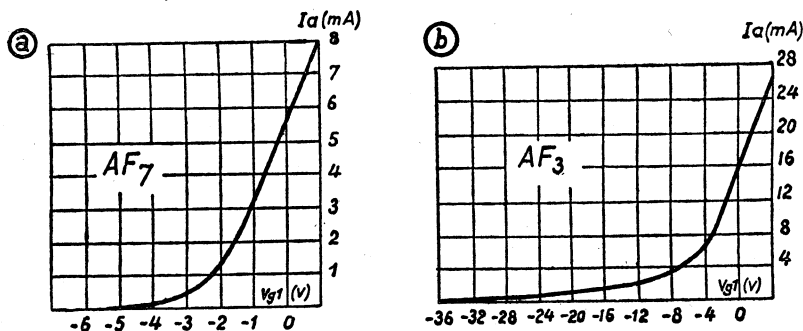
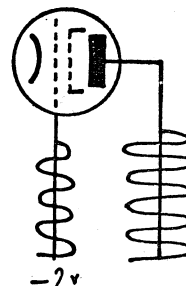
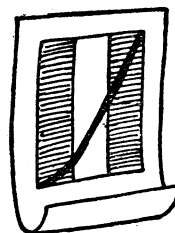
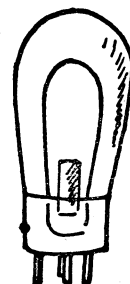
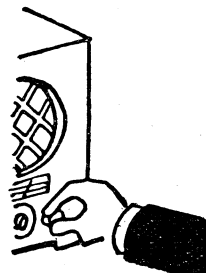


Fig. 103. a: Kromme voor een lamp met „vaste steilheid” en b: voor een met „variabele steilheid”.

Vr. — Hier onderbreek ik je even, Weetal. Ik weet heel goed, dat de karakteristiek van een lamp 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, zoolang het gaat om gewone lampen en om een betrekkelijk groote te versterken spannings-amplitudo, zooals die, welke wij aantreffen in de L.F.-trappen. Maar in de hoog- en midden-frequentie is de amplitudo nog erg zwak. En daar is het voldoende, als de lamp-karakteristiek alleen rondom het werkpunt ongeveer rechtlijnig is. Men vervaardigt dus speciale lampen, waarvan de steilheid doorlopend, geleidelijk sterk verandert, zoodat de karakteristiek geen scherpe bochten laat zien. Die lampen heeten „lampen met variabele steilheid”. Dat beteekent nu wel niet, dat de steilheid van de andere constant is, maar dat men in de speciale lampen werkpunten voor verschillende steilheden mag kiezen.

Vr. — Als ik de lampen met veranderlijke steilheid had gekend, zou ik geen enkele tegenwerping hebben gemaakt. Zooals jij het hebt voorgesteld,



wijst de karakteristiek van een lamp met variabele steilheid aan, dat, als men het rooster voldoende negatieve voorspanning geeft, de lamp niet alleen niet zal versterken, maar zelfs de aan haar rooster gegeven trillingen als het ware belangrijk zal verzwakken.

W. — Dat moet zij doen. Op die manier slagen wij er in de sterkte van de te hooge tonen tot op een normale geluidsterkte terug te brengen.... In de praktijk bedient men zich, om de versterking van de lampen met veranderlijke steilheid te regelen, van een toestel, waardoor het met behulp van een potentiometer P (fig. 104) mogelijk is, de negatieve voorspanning te veranderen.

Vr. — Maar dat is verschrikkelijk. De luisteraar moet dus, zonder een oogenblik den knop van den potentiometer los te laten, hem voortdurend

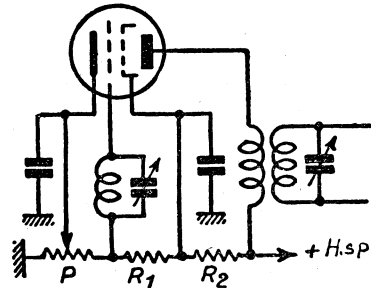
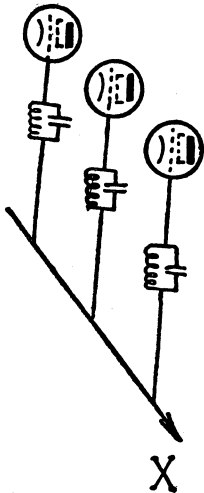
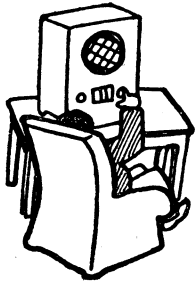
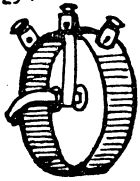
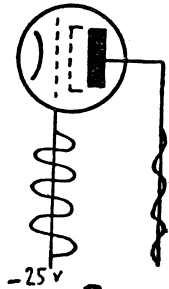
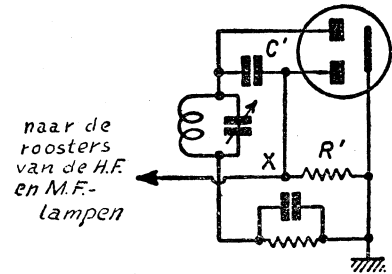


Fig. 104. Regeling van de versterking met behulp van een potentiometer P, die de polarisatie of negatieve voorspanning van de lamp doet variëeren.



naar de roosters van de H.F. en M.F.-lampen

Fig. 105. Al naar gelang van de gemiddelde sterkte der tonen wordt het punt X meer of minder negatief ten opzichte van de kathode.

ronddraaien om de veranderingen door de sluiering ontstaan, te compenseren. Onder zulke voorwaarden zou ik heelemaal 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 den ontvanger een zoodanig punt te vinden, dat meer negatief wordt, naarmate de binnenkomende draaggolf sterker wordt, en omgekeerd. Weet je zoo'n punt?

Vr. — Ik zie er geen.

W. — Bekijk dit schema van de diode-detectie dan eens, dat je al lang kent (fig. 105). Het punt in kwestie is het uiteinde X van den weerstand R. De door de diode gelijkgerichte H.F.-stroom verwekt daar ten opzichte van „massa" een negatieve spanning. Die spanning is grooter naarmate de gemiddelde sterkte van de aan de diode doorgegeven trillingen grooter is. Vr. — Ik heb het begrepen! Je sluit die spanning van punt X aan de roosters van de H.F.- of M.F.-lampen met veranderlijke steilheid aan. Worden de golven nu sterk, dan wordt punt X meer negatief en de spanning, aangesloten aan de roosters van de H.F.- of M.F.-lampen, vermindert de versterking daarvan. Als daarentegen, onder invloed van de sluiering, de golven zwakker worden, veroorzaken zij in punt X een minder negatieve spanning; die spanning veroorlooft de H.F.- en M.F.-lampen meer te versterken. Per slot van rekening nivelleert deze schakeling alle onregelmatigheden in de sterkte der golven 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 sluierings-

compensatie hebt gesnapt. Je merkt, dat het in zeker opzicht gaat om een „regeling naar beneden”. Alleen de zwakste golven maken gebruik van de maximale gevoeligheid van den ontvanger; naarmate de sterkte der seinen toeneemt, wordt door de compensatie de versterking in overeenkomstige mate verminderd.

DE RADIO TEN BEHOEVE VAN DE DOOVEN.

Vr. — Nog één tegenwerping als je het goedvindt, Weetal. Veronderstel nu eens, dat er in de muziek een slag van de groote trom voorkomt. Zal de compensatie op dat moment niet een oogenblikkelijke vermindering van de versterking veroorzaken? Of anders gezegd, naar mijn meening zal de compensatie, zooals jij die hebt beschreven, in zeker opzicht de nuances van de muziek vervlakken.

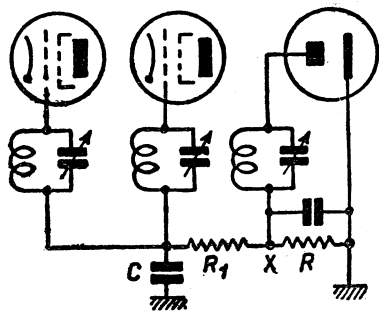
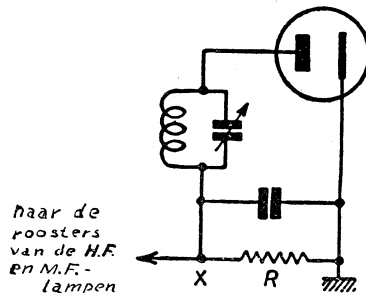


Fig. 106. Twee H.F.-lampen, waarop van X uit via R_1 sluijnings-compensatie werkt.

W. — Je tegenwerping is nog zoo gek niet, Vraagal. Teneinde de werking van de oogenblikkelijke veranderingen van den door de diode gelijkgerichten stroom te voorkomen en op de H.F.- en M.F.-lampen alleen de gemiddelde waarde van de trillingen te laten inwerken, schakelt men dan ook tusschen het punt X en de roosters der lampen een systeem, dat de werking der spanningen vertraagt en ze in zeker opzicht samentelt om het gemiddelde er van te laten passeeren. Die inrichting bestaat uit een weerstand R_1 van hooge waarde en een condensator C. De weerstand verzet zich tegen den onmiddellijken doortocht van de spanningen; de condensator nivelleert de oogenblikkelijke spanningen. De werking van het geheel R_1C heeft een zekere overeenkomst met die van de zelfinductie en van den condensator in den voedingsfilter (fig. 106).

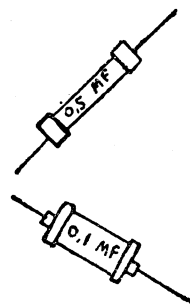
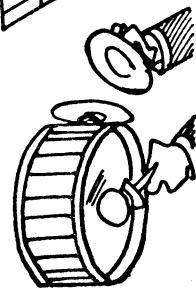
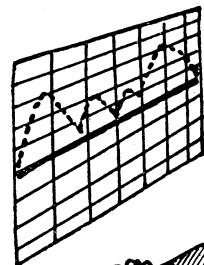
Vr. — Zooals ik zie, is het in iederen ontvanger met diode-detectie voldoende om een weerstand en een condensator bij te voegen teneinde sluijnings-compensatie te verkrijgen. Dat is wonderlijk eenvoudig!

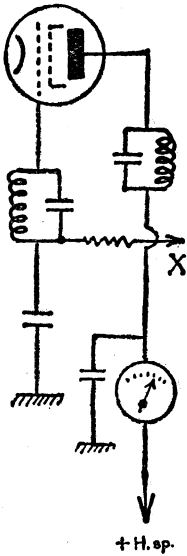
W. — Ik wil nog opmerken, dat soms om de spanning voor de sluijnings-compensatie te verkrijgen, gebruik gemaakt wordt van een andere diode, dan die, welke voor detectie wordt gebruikt (fig. 107). Die tweede diode is in denzelfden ballon gevat als de eerste en gebruikt dezelfde kathode. De wisselspanningen worden aan de tweede anode aangesloten via een kleinen koppelcondensator C_1 . De gelijkgerichte stroom doet aan den weerstand R_1 een spanning ontstaan, die afgetakt in punt X door de schakeling R_1C heen aangesloten wordt aan de roosters van de lampen, die er door geregeld moeten worden.



naar de roosters van de H.F. en M.F.-lampen

Fig. 107. De dubbele diode maakt het mogelijk de functies van de detectie en de sluijnings-compensatie te scheiden.





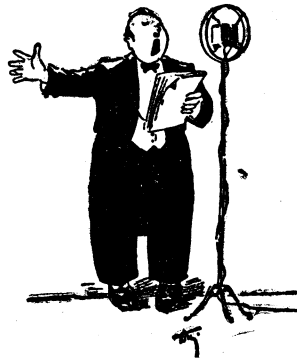
Vr. — Ik voel meer voor het schema, waarin dank zij je dubbele diode, de functies van de detectie en van de regeling nauwkeurig gescheiden worden.
 W. — Zou je, Vraagal, kunnen antwoorden op een vraag, die eigenlijk een strikvraag is? Weet je, hoe de gemiddelde plaatstroom variëert van een H.F.- of M.F.-lamp, die door de sluierings-compensatie geregeld wordt volgens de sterkte der trillingen?

Vr. — Laat eens zien! Als de trillingen sterker zijn, ontvangt het rooster van de lamp 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 der afstemcondensatoren, door den juisten 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 den plaatkring van de door de sluierings-compensatie geregelde H.F.- of M.F.-lamp, de juiste afstemming bepalen door het minimum van den plaatstroom op te zoeken.

Vr. — Met een dergelijken milli-ampèremeter zouden zelfs dooven het radio-toestel precies kunnen afstemmen?

W. — Zeer juist! Want die milli-ampèremeter vormt een zichtbaren aanwijzer voor de juiste afstemming. Maar wat voor nut zou een doove daarvan hebben?....



NEGENTIENDE GESPREK

Alle pogingen van de radiotechnici zijn er op gericht, de getrouwheid van de weergave te verbeteren. Welnu, gedurende langen 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 is Vraagal van de veranderlijke selectiviteit.

WEDSTRIJD: SELECTIVITEIT TEGEN MUZIEKWEERGAVE.

Vr. — Gisteravond ben ik bij een vriend geweest, die een erg gevoelige ontvanger heeft. Wij hebben een heele massa uitzendingen gehoord. Helaas werden sommige stations door een fluittoon gestoord. Hoe komt dat?

W. — Dat is een interferentie-gefluit tusschen twee uitzendingen, waarvan de frequenties heel dicht bij elkaar liggen.

Vr. — Dat is dus hetzelfde verschijnsel als dat, wat bij de superheterodynes de frequentie-verandering tot stand brengt? Of anders gezegd: tusschen 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.

W. — Zoo is het precies. En om die reden schijnt de reglementaire afstand van 9000 Hz tusschen de naburige uitzendingen nauwelijks voldoende. Ieder station heeft daardoor een breedte van slechts 4500 Hz voor de muziekmodulatie.

Vr. — Ik zie geen verband tusschen den onderlingen afstand van de frequenties van de zenders en de muziekmodulatie.

W. — Toch is het van een vitaal belang. Zoolang een zender niet door een klank wordt gemoduleerd, zendt hij slechts één frequentie uit, nl. die van zijn „draaggolf“. Maar de modulatie door een klank veroorzaakt direct twee andere frequenties, symmetrisch ten opzichte van de frequentie van de draaggolf. Zoo zal een zender, die op 1 000 000 Hz werkt, en die gemoduleerd wordt door een klank van 400 Hz, naast de draaggolf, twee golven uitzenden met resp. een frequentie van 1 000 400 Hz en 999 600 Hz (fig. 108). Je ziet, dat die golven het gevolg zijn van de som en van het verschil der frequenties van draaggolf en muziekstroom.

Vr. — Door de hooge frequentie te moduleeren, brengt de laagfrequente stroom dus als het ware een frequentie-verandering 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 modulatie-zijbanden heeten.

Vr. — Als ik je goed heb begrepen, strekken de door een station uitgezonden frequenties zich aan weerskanten van de frequentie der draaggolf over een breedte van 10 000 Hz uit. Bijvoorbeeld voor een zender, die op 1 000 000 Hz werkt, loopen 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

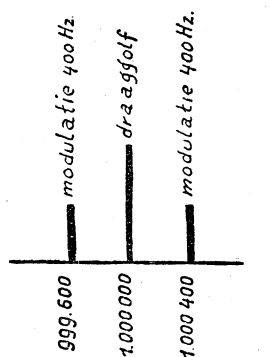
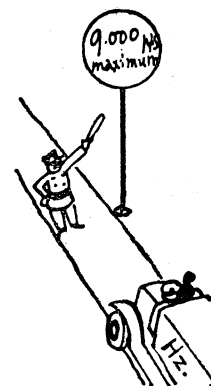
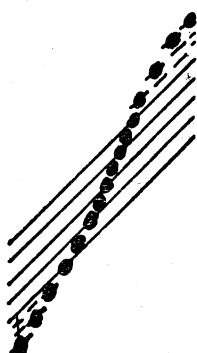
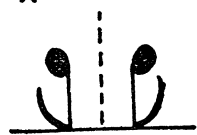
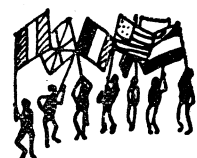
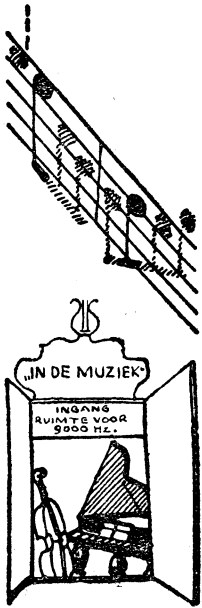


Fig. 108. Modulatie van een golf van 1 000 000 Hz met 400 Hz.





geen stukken na plaats voor alle bestaande zenders. Door een internationale overeenkomst heeft men dan ook de breedte van iederen band der muziekfrequenties beperkt tot 4500 Hz. Zoodat een zender in den aether niet meer plaats inneemt dan een band van $2 \times 4500 \text{ Hz} = 9000 \text{ Hz}$. En het is voldoende, dat er tusschen twee draaggolven een afstand van 9000 Hz bestaat, teneinde twee zenders elkaar niet te laten hinderen... op voorwaarde natuurlijk, dat de ontvanger selectief genoeg is om dien 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.

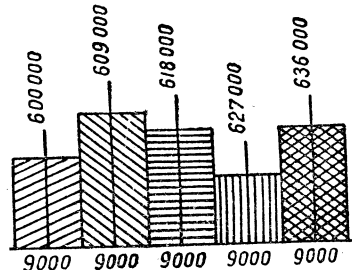


Fig. 109. Verdeling van de frequenties van de zenders. De draaggolven zijn 9000 Hz van elkaar gescheiden. De modulatie-zijband blijft binnen de 4500 Hz.

W. — Dat zou wat moois zijn! Geef je je er wel rekenschap van, Vraagal, dat een dergelijk ontvangtoestel je maar één toon zou laten hooren?!

Vr. — Neen! Ik zie nu in, dat het noodzakelijk is, dat de ontvanger geheel de 4500 Hz van elk der zijbanden kan doorloopen om alle uitgezonden muziek te kunnen beluisteren.

W. — Maar een breederen frequentieband mag hij niet doorlaten. Anders ontstaat er storing tusschen uitzendingen met aangrenzende draaggolven. En nu ben je gesteld tegenover dat groote probleem, dat de muzikaliteit tegenover de selectiviteit plaatst: hoe minder selectief de ontvanger is, des te beter is zijn muziekweergave.

Vr. — Selectiviteit of zuivere muziekweergave: ik zou het laatste kiezen!

DE BANDFILTER VERZOENT DE TEGENSTANDERS.

W. — Waartoe dient je getrouwe weergave van alle muziekfrequenties, als het aanhooren vergald wordt door het interferentie-gefluit?

Vr. — Maar laat eens zien! Bestaat er geen mogelijkheid om met uitsluiting van iedere andere frequentie één „band” van 9000 Hz door te laten?

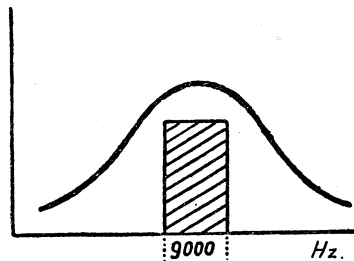


Fig. 110. Gedempte kring. Slechte selectiviteit. Goede muziekweergave.

W. — Ja! Tenminste, men bereikt dat bij benadering. Eén enkele trillingskring maakt het niet mogelijk dat te doen. De resonantie-kromme...

Vr. — Wat is dat nu weer? Daarover heb je me nog nooit gesproken.

W. — Zoo 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 kring minder of meer weerstand heeft voor den hoog-frequenten stroom.

Als de kring slecht, of zooals men zegt, **gedempt** is, is de kromme zeer breed (fig. 110); hij laat dan een breeden band frequenties door,

maar hij is niet selectief genoeg. Als daarentegen de kring zeer weinig gedempt is (fig. 111), laat hij slechts een smallen band door: selectief genoeg, laat hij nu niet de beide zijbanden 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.

W. — Inderdaad. Maar men kan haar benaderen door bandfilters te gebruiken. De eenvoudigste bandfilters bestaan uit twee zwak gedempte trillingskringen, die allebei nabij de frequentie van de draaggolf zijn afgestemd. Door ze lossener of vaster te koppelen, verkrijgt men een min of meer breede resonantie-kromme (fig. 112), waarvan de vorm het ideale benadert.

Vr. — En hoe maakt men de koppeling tusschen de trillingskringen, die een bandfilter vormen?

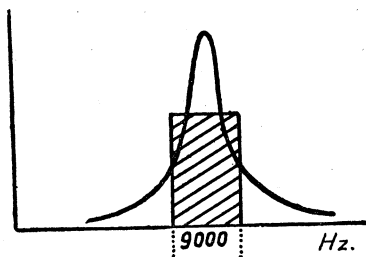


Fig. 111. Kring met weinig demping. Goede selectiviteit. Slechte muziekweergave.

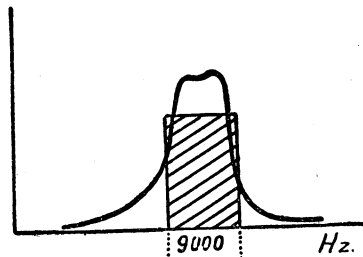


Fig. 112. Bandfilter, die een goede selectiviteit paart aan een goede muziekweergave.

W. — De eenvoudigste manier is ze inductief te koppelen (fig. 113), waardoor een transformator met afgestemde primaire en secundaire wordt gevormd, of door een kleine capaciteit (fig. 114). 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 den eersten kring gaat (fig. 115), wekt in die impedantie een wisselspanning op, die dan terecht komt op den tweeden 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.

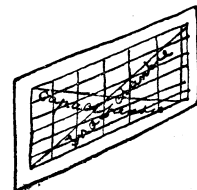
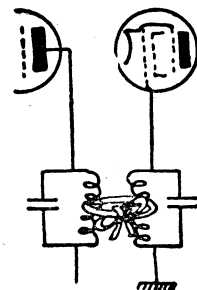
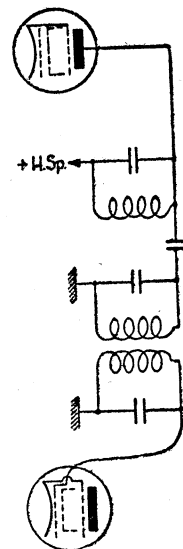
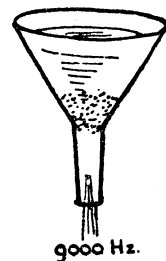
Vr. — Welke soort van impedanties gebruikt men gewoonlijk?

W. — Capacitieve reactanties (fig. 116) of, hoewel minder vaak, koppelende inductieve (fig. 117). Om een kleine capacitieve te krijgen, moet een condensator met een tamelijk hooge waarde gebruikt worden, en wel hoger naarmate de frequentie lager is.

Vr. — Ik herinner me, dat de capacitieve reactantie afneemt, als de capaciteit en de frequentie toenemen. En daar de inductieve reactantie zich op omgekeerde wijze gedraagt, veronderstel ik, dat men in de inductantie-filters, om een losse koppeling te verkrijgen, een spoel met lage zelfinductie moet nemen, en wel lager naarmate de frequentie hoger is.

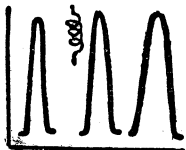
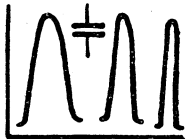
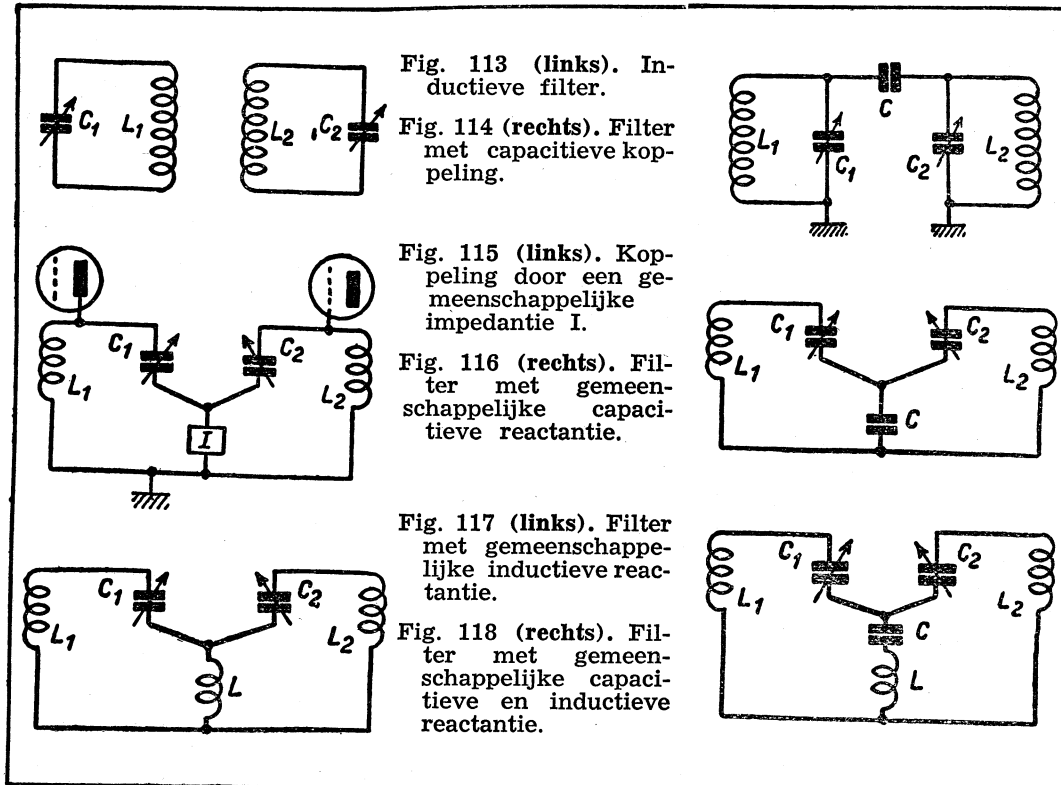
W. — Je begint logisch te redeneeren, vriend. Tracht dus dit kleine probleem eens op te lossen: wij hebben twee filters, de eene met capacitieve koppeling, de andere met inductieve koppeling; wij veranderen de afstemming van hun kringen van een bepaalde lagere frequentie naar een hoogere. Zal de breedte van den band van elk der filters dan constant blijven?

Vr. — Zeker niet! In de capacitef gekoppelden filter verminderd je door de verhooging van de frequentie de capacitieve reactantie; de koppeling vermindert en de bandbreedte wordt kleiner. In den inductief gekoppelden filter wordt de koppeling sterker met de frequentie en bijgevolg wordt de bandbreedte grooter.





W. — Bravo! Merk op, dat het hier om een zeer vervelend verschijnsel gaat. Stel je zoo'n filter met capacatieve reactantie voor, die gebruikt wordt als koppeling tusschen 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 passeeren. Maar als je den ontvanger afstemt op een uitzending met een hogere draaggolf-frequentie, wordt de afgestemde band te smal; nu is de ontvanger te selectief en is de muziekweergave niet goed genoeg meer.



Vr. — Welnu, ik meen, dat er een zeer eenvoudig middel bestaat om de bandbreedte voor alle afstemfrequenties op peil te houden. Het is voldoende de gemeenschappelijke impedantie van den filter samen te stellen uit een capaciteit en een zelfinductie in serie (fig. 118). Hun tegengestelde werkingen wegen tegen elkaar op.

W. — Voordat jij die oplossing gaf, heeft een geleerde, Vreeland genaamd, al met zulke filters geëxperimenteerd. Helaas zijn de dingen niet zoo eenvoudig, want er moet rekening gehouden worden met de phase-verschuivingen van de stroomen 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.-versterkertrappen van de superheterodynes.

Vr. — Wel alle impedanties! Dat is waar! Dáár zijn we altijd op dezelfde frequentie afgestemd en hebben dus geen verandering van de bandbreedte te duchten.

W. — Ik wil er echter de aandacht op vestigen, dat men in de voorselectiekringen van de superheterodynes, die tusschen de antenne en de eerste lamp zijn geplaatst om de „spiegelfrequenties” weg te werken, vaak gebruik maakt van capaciteef gekoppelde bandfilters. Dáár gaat het om het wegwerken van een frequentie, die tamelijk ver van die der afstemming verwijderd ligt. Zonder nadeel kan de bandbreedte dan ook boven de 9000 Hz uit gaan.

VRAAGAL GEEFT DE VOORKEUR AAN DE VARIABELE SELECTIVITEIT.

Vr. — Veronderstel nu eens, Weetal, dat wij een ontvangtoestel hebben met bandfilters, die den band van 9000 Hz doorlaten. Als wij nu naar een verre uitzending willen luisteren, die 9000 Hz van een sterken 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 den naburigen zender. Om een dergelijke ontvangst zonder storingen te ontvangen, heeft men een ontvanger met een buitengewone selectiviteit noodig: de band daarvan moet smaller zijn dan 9000 Hz. Door zoo van de muziekweergave een deel op te offeren, kan men niettemin de uitzending nog wel redelijk ontvangen.

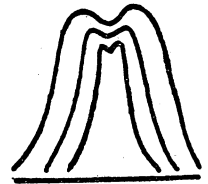
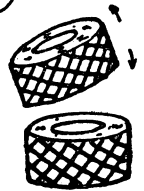
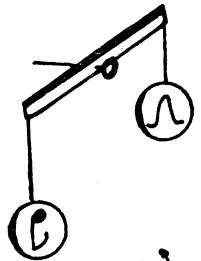
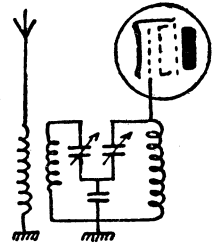
Vr. — Ik zou toch liever sommige uitzendingen niet ontvangen, als door die buitengewone selectiviteit de muziekweergave van den ontvanger bedorven werd.

W. — Gelukkig kan men de in schijn onverenigbare eigenschappen met elkaar verzoenen door de selectiviteit van het toestel variabel te maken. Men gebruikt dan een slechte selectiviteit voor uitzendingen, die geen gevaar loopen om gestoord te worden, d.w.z. voor nabije en sterke zenders. Zij worden dan weergegeven met het maximum van muzikale kwaliteit. Wat de verre en zwakke uitzendingen betreft, die ontvangt men, om interferentie te voorkomen, met een vergroote selectiviteit. In alle gevallen heeft men zoo het maximum van muziekweergave vereenigd met een stovingvrije ontvangst.

Vr. — Dat is kras! Maar hoe verwezenlijkt men die variabele selectiviteit?

W. — Je bent vandaag weer erg op dreef met kinderachtige vragen, Vraagal! Om de bandbreedte van een filter veranderbaar te maken, is het voldoende om de koppeling daarvan veranderbaar 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.

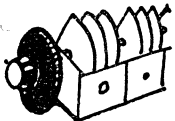
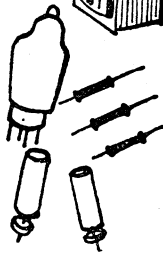
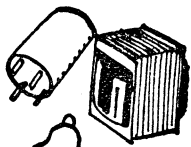
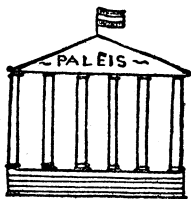
Vr. — Nu, mijn ontvangtoestel zal er een met variabele selectiviteit worden!



TWINTIGSTE GESPREK

Hier zijn we 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 groote trekken. Maar voordat zij u verlaten, gaan Weetal en Vraagal met gebruikmaking van de verworven kennis het schema van een modern ontvanger schetsen en onderzoeken, waarna zij dan den bouw gaan ondernemen.

EN NU: AAN HET WERK!



Vr. — Wel alle pentoden! Wat zie ik daar? Heb je een winkel van radio-onderdeelen 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, zoo vruchtbaar zal blijken, dat...

Vr. — Heb meelij! Verpletter me asjeblijft niet onder dien gezwollen stadhuisstijl... Zeg me liever, waarvoor dient die massa afgeschermdde spoelen, lampen, weerstanden en condensatoren?

W. — Wel, om eindelijk eens te beginnen met het bouwen van het al zoo lang aan mijn tante beloofde toestel. Ik stel het werkelijk zeer op prijs, dat jij nu alles weet, wat er over de werking van ontvangerstoelsten te weten valt, om zonder vrees met den bouw te kunnen beginnen.

Vr. — Ik gevoel me zeer geveleid door dat bewijs van vertrouwen, om ook eens den 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 wenschen maar kenbaar, dan zal ik trachten een schema samen te stellen, geheel en al naar jouw begeeren.

Vr. — Prachtig! Welnu, het moet natuurlijk een superheterodyne zijn. Om te beginnen plaatsen wij aan den ingang een bandfilter („voorselectie”). Omdat het gaat om een tamelijk breeden band, die juist voldoende is om de spiegelfrequenties weg te werken, zouden wij misschien als ingang een filter met gemeenschappelijke capacatieve reactantie kunnen nemen.

W. — Je wenschen worden ingewilligd, Vraagal! (fig. 119). Hier is de filter in kwestie. De antennespoel L_1 wordt inductief gekoppeld met den eersten trillingskring L_2C_1 , die op zijn beurt door de gemeenschappelijke capacatieve reactantie van den condensator C_3 gekoppeld is met den tweeden kring L_3C_2 .

Vr. — Dank je. Nu zou het goed zijn een trap hoogfrequent-voorversterking te maken met behulp van een pentode.

W. — Niets eenvoudiger dan dat. Wij geven het eerste rooster negatieve spanning door den weerstand R_1 (door C_4 ontkoppeld) en bepalen de potentiaal van het schermrooster met behulp van R_2 en R_3 (door C_5 ontkoppeld). De koppeling met de volgende lamp wordt verzekerd door een H.F.-transformator L_4L_5 met door C_7 afgestemde secundaire. Tenslotte wordt de plaatkring ontkoppeld door R_4 en R_6 .

Vr. — Dat is goed. Ik denk, dat het nuttig zal zijn een octode achter de pentode te plaatsen om de frequentie van den versterkten stroom om te vormen (of te „mengen”).

W. — Dat is ook mijn meening. De octode krijgt door R_5 negatieve spanning. De trillingskring van den generator wordt gevormd door L_6 en C_8 en de terugkoppelspoel wordt vertegenwoordigd door L_7 . De kring L_6C_8 is aan het eerste rooster verbonden via C_{10} . De potentiaal van dat rooster wordt door R_6 bepaald. De hoogfrequente trilling wordt van den kring L_5C_7

doorgegeven naar het door de beide schermroosters beschermde rooster. De potentiaal van dit laatste wordt door R_7 en R_8 bepaald.

Vr. — Als je dat allemaal zoo van nabij bekijkt, is het niet zóó moeilijk en ingewikkeld meer. Ik zou nu het principe der variabele selectiviteit willen toepassen.

W. — Dat kan natuurlijk. Wij plaatsen aan den ingang en aan den uitgang van de M.F.-pentode twee bandfilters Tr 1 en Tr 2 met variabele inductieve koppeling. En wat nu...?

Vr. — Nu gaan we onze middenfrequenten stroom gelijkrichten. Zullen wij daarvoor een diode, gecombineerd met een triode, gebruiken, zoodat wij aan deze laatste de L.F.-voorversterking kunnen toevertrouwen?

W. — Aangenomen! De weerstand R_{15} en de condensator C_{18} zullen het ons mogelijk maken de laagfrequente spanningen over te brengen, die door de diode-detectie worden opgewekt. Voor deze gelegenheid is R_{15} een potentiometer, zoodat een grooter of kleiner gedeelte van die spanning via den koppelcondensator C_{17} op het rooster van de triode zal komen, waarvan de negatieve roosterspanning via R_{16} wordt aangelegd. Die spanning is negatief ten opzichte

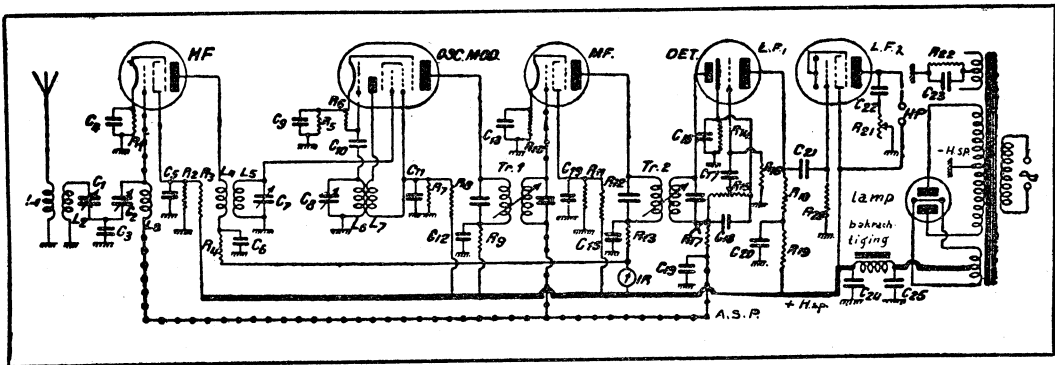
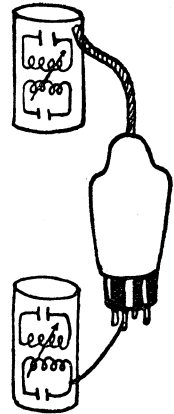


Fig. 119. En hier is nu na vele wijzigingen het definitieve schema voor het ontvangoestel, waarvan Vraagal den bouw gaat ondernemen.

van die van de kathode, welke meer positief is dan massa, door de aanwezigheid van den voorspanningsweerstand R_{14} .

Vr. — Als wij een modern ontvangoestel willen bouwen, Weetal, moeten wij het voorzien van een sluierscompensatie: een automatische sterkte-regelaar. Zou je daartoe geen gebruik kunnen maken van de spanningen, die ontstaan aan het uiteinde X van den detectie-weerstand R_{15} ?

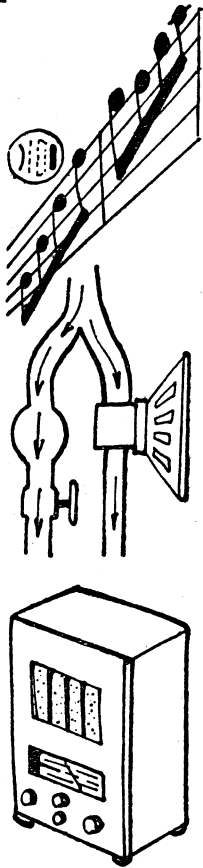
W. — Natuurlijk. Wij geven die spanningen via het vertragingssysteem R_{17} en C_{19} aan de roosters der H.F.- en M.F.-pentoden.

Vr. — Zou het, nu we daar een automatische sterkte-regelaar hebben, moeilijk zijn om er een zichtbaren afstem-indicator in te plaatsen?

W. — Niets eenvoudiger dan dat! In plaats van de ontkoppelweerstand R_4 en R_{13} van de plaatkringen van onze beide aan de werking der sluierscompensatie gewijde pentoden direct aan de + H-sp. aan te sluiten, schakelen wij tusschen deze en de + H-sp. een milli-ampèremeter IR. Als deze de maximale vermindering van den stroom aangeeft, duidt hij precies den stand voor de juiste afstemming aan.

Vr. — Ik ben je zeer dankbaar dat je zoo aan mijn met moeite geformuleerde wenschen voldoet. Als je niet dat aankomende snorretje had, dan zou ik je voor een goede fee hebben aangezien... Maar laten wij verder gaan met het samenstellen van onze toekomstigen ontvanger. Er blijven nu nog over de





eindlamp en de voeding. Voor de koppeling van de eindlamp overweeg ik het systeem van een weerstand en een capaciteit.

W. — Zoo zij het! Laten wij in den plaatkring van den voorversterker R_{18} plaatsen en door R_{19} en C_{20} ontkoppelen. De condensator C_{21} zal voor de koppeling zorgen. De negatieve potentiaal van het rooster van de eindlamp wordt via R_{20} aangelegd. En daar het een direct verhitte lamp is, geven wij haar negatieve voorspanning door een weerstand R_{22} tusschen het middelpunt van de gloeistroomwikkeling en de —H-sp (massa) te plaatsen. Wat de voeding betreft, die zal onder alle omstandigheden de klassieke zijn. De stroom, waarvan de beide fasen door een dubbele gelijkrichterlamp gelijkgericht worden, wordt afgevlakt met een filter, bestaande uit twee groote condensatoren C_{22} en C_{25} en de zelf-inductie van de bekrachtigingsspoel van den electro-dynamischen luidspreker.

Vr. — Ik merk echter tusschen de plaat van de eindlamp en massa de ongebruikelijke aanwezigheid van een condensator C_{22} op, die in serie staat met een veranderbaren weerstand R_{21} . Waartoe dienen zij?

W. — Om van den luidspreker de hooge frequenties van den 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 bevoordeelen. Om te voorkomen, dat het ten gehoor gebrachte schel gaat klinken, verzwakt men de sterkte der hooge frequenties door ze gedeeltelijk af te voeren via C_{22} en C_{21} . Hoe hooger nu de frequentie der stroomen is, des te gemakkelijker passeeren zij een condensator, zooals je weet. Om de hoeveelheid van den zoo door afleiding van den luidspreker weggevoerden stroom te regelen, maakt men den weg van het „lek” meer of minder gemakkelijk door den weerstand R_{21} naar verkiezing te regelen. Op die manier verkrijgen wij een klank- of timbre-regelaar, die het mogelijk maakt de sterkte der hooge tonen eenigszins te verzwakken.

Vr. — Behalve den afstemknop van de groep variabele condensatoren (C_1 , C_2 , C_7 en C_8) zal ons toestel dus nog een regelknop hebben voor de sterkte (R_{15}) en een voor den toon (R_{21}).

W. — Je vergeet den knop van den omschakelaar der golfbereiken... 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 den loop van de twintig avonden, die wij zoo 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 onderdeelen, die je volkomen kent. Tijd en ondervinding zullen je met één oogopslag die elementen leeren 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 den stroom in de verschillende kringen te volgen, vooral in de kathode-anode-kringen van de lampen. Vergeet niet, dat de electronenstroom, als hij de kathode heeft verlaten, daar tenslotte moet terugkeeren. Oefen je dan ook zoo 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 den bouw tot een goed einde brengen... Vergeet evenmin, dat de radiotechniek een jonge wetenschap is, nog in volle

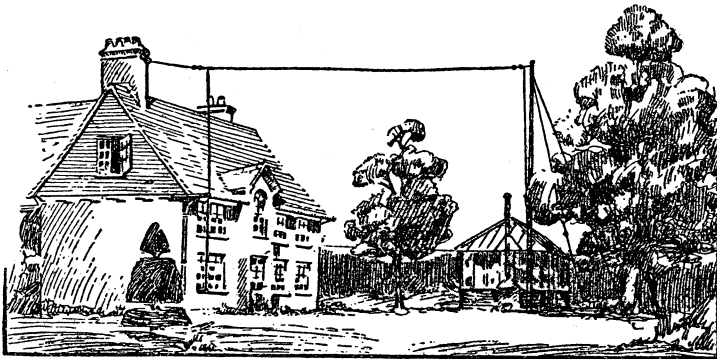


ontwikkeling en dat alleen het lezen van goede vakboeken en vaktijdschriften je op de hoogte kan houden van de vorderingen der techniek.

Je hebt me in den loop van onze gesprekken zooveel vragen gesteld, dat ik meen op mijn beurt ze alle te mogen samenvatten in één vraag: Ben je nog altijd van meening, dat de radio „zoo 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:

Zóó.... werkt de radio!



Toelichtingen

EEN WAARSCHUWING GAAT VOORAF.....!

Het is heelemaal niet verboden om zich voor te stellen, dat de „Toelichtingen” gevloeid zijn uit de pen van Weetals oom, ir. Radiolus, die hem vroeger de eerste beginselen van de radiotechniek heeft bijgebracht. Waaruit bestaan nu deze nadere beschouwingen?

Sommige zijn niets anders dan samenvattingen van de bijbehorende gesprekken, in dien vorm echter, dat zij het behandelde onderwerp gemakkelijker doen begrijpen. Bovendien zal, volgens de oude stelling, dat **herhaling de moeder van alle studie is**, deze wijze van herbestudeering zeker nuttig zijn.

In sommige gevallen zijn nadere verklaringen toegevoegd, om de grootte van de onderdelen te bepalen, die in deze of gene schakeling voorkomen. Soms zijn ook, zonder een beroep te doen op een wiskundige kennis, die de eerste grondbeginselen van de algebra zou overschrijden, eenige formules gegeven, om bepaalde betrekkingen tusschen de elektrische grootheden te verklaren. Het is den lezer op die manier mogelijk, eenige zeer eenvoudige berekeningen te maken.

Hier en daar zijn vragen betreffende de constructie van toestellen uitvoeriger behandeld dan zulks binnen het kader van de vraaggesprekken mogelijk was. Tenslotte hebben verscheidene kwesties, waaraan op de bijeenkomsten tusschen Weetal en Vraagal stilzwijgend voorbijgegaan is en waarvan het, hoewel ze niet onmisbaar zijn, toch nuttig is, er kennis van te nemen, hun aangewezen plaats gevonden in de Toelichtingen. Dit is o.a. het geval met de balansversterking, de verschillende versterkingsregelingen voor de L.F., de voeding van universeele ontvangers, de fadingcompensatie (=vertraagde automatische sterkteregeling), de tegenkoppeling, de eenknopsafstemming, enz. enz.

Aldus aangevuld en in overeenstemming gebracht met de jongste vorderingen, vormt het boek een duidelijken en uitvoerigen leergang. Indien de stof op een dorre manier behandeld was, had het boek getiteld kunnen zijn „Elementaire verhandeling over de radio-electriciteit”. Maar waarvoor is het noodig een onderwerp, dat heelemaal niet vervelend is, op een vervelende manier te behandelen.....?

Men dient er op te letten, dat de figuuraanduiding in Arabische cijfers verwijst naar teekeningen in het deel „Gesprekken”. De Romeinsche cijfers verwijzen naar de illustraties in de „Toelichtingen”.

TOELICHTING BIJ HET EERSTE GESPREK.
--

Potentiaal, Geleiders en Niet-geleiders (Isolatoren).

In het eerste gesprek is Weetal er in geslaagd, Vraagal een aantal grondbegrippen bij te brengen, die onmisbaar zijn bij de bestudeering van de electriciteit. Wij zullen ze hier samenvatten:

De atomen van alle stoffen bestaan uit een bepaald aantal **electronen** en **protonen**. De eerste vormen de elementaire negatieve elektrische lading, de protonen de elementaire positieve lading. De verhouding tusschen die twee bepaalt het electrisch vermogen of de **potentiaal** van het atoom. Dit is neutraal, als het atoom evenveel protonen als electronen bevat. Het is negatief, als het aantal electronen grooter is dan het aantal protonen en positief in het omgekeerde geval.

Men dient te onthouden, dat het aantal protonen in een gegeven atoom steeds gelijk blijft; sommige electronen kunnen echter van het eene atoom naar het andere trekken, als zij ontsnappen aan de aantrekkingskracht, die er tusschen protonen en electronen bestaat. Zulke „vrije” electronen komen echter alleen voor in bepaalde stoffen, die wij geleiders noemen. Stoffen, waarvan de atomen geen vrije electronen bevatten, behooren tot de groep der **niet-geleiders** of **isolatoren**.

ELECTRISCHE STROOM.

Wanneer er tusschen de atomen van een geleider verschil in electrisch vermogen of **potentiaalverschil** bestaat, wordt het evenwicht hersteld door den overgang van het teveel aan electronen aan het negatieve uiteinde (of de **negatieve pool**) naar het positieve uiteinde (de positieve pool) van den geleider, waar er te weinig zijn. Dit zich verplaatsen van electronen van de negatieve pool naar de positieve, vormt den **electrischen stroom**.

De bewegingsrichting der electronen is tegengesteld aan de overeengekomen richting van den electrischen stroom (van positief naar negatief), welke willekeurig is gekozen in een tijd, toen men nog niet bekend was met de electronentheorie.

We dienen hierbij op te merken, dat de beweging van de electronen door den geheelen geleider minder eenvoudig geschiedt, dan de uiteenzettingen van Weetal doen veronderstellen. Het is niet hetzelfde electron, dat den geleider van het eene einde naar het andere doorloopt. Meestal doet het niets anders dan overstappen van het eene atoom naar het naburige, waaruit op zijn beurt, een ander electron overspringt op het volgende atoom enz. De eigen snelheid van het electron is betrekkelijk gering, maar de algemeene beweging plant zich voort met een constante snelheid van ongeveer 300 000 km per seconde, wat dan de snelheid is van den electrischen stroom.

Als er niets gebeurt om aan de uiteinden van den geleider het potentiaalverschil (of de spanning) te onderhouden, houdt de stroom op, zoodra het evenwicht is hersteld. Teneinde den stroom zonder onderbreking te doen doorgaan, moeten er voortdurend electronen toegevoegd worden aan de atomen van de negatieve pool en onttrokken worden aan de atomen van de positieve

112 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 thermo-electrische batterij (waarbij warmte in electriciteit wordt omgezet) of een dynamo, geplaatst in een elektrische centrale, welke laatste de mechanische energie van een motor transformeert in elektrische energie.

VOLT, AMPÈRE, OHM.

Het potentiaalverschil of de **spanning**, die indien het werkzaam is in een gesloten kring, een electronenverplaatsing (electrischen stroom) ten gevolge zal hebben, wordt gemeten en uitgedrukt in **volts**.

Het aantal electronen, dat de doorsnede van een geleider in één seconde passeert kan meer of minder groot zijn. Dat aantal bepaalt de sterkte van den stroom, gemeten in **ampères**.

Al naar gelang de lengte, de doorsnede en den aard van het materiaal zelf, biedt de geleider een zekeren weerstand aan den passerenden stroom. Dezen weerstand meet men in **ohms**.

Hoe langer de geleider, hoe grooter de weerstand. Daarentegen: hoe grooter de doorsnede, hoe kleiner de weerstand.

DE WET VAN OHM.

Als wij de spanning, die er bestaat tusschen de beide uiteinden van een bepaalde geleider, verhoogen, vergrooten wij in dezelfde mate het aantal electronen, dat dan in beweging komt, d.w.z. de sterkte van den stroom. Op die manier constateeren 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 grooteren weerstand een zwakkeren stroom doorlaten. Daarom zegt men, dat **de stroomsterkte omgekeerd evenredig is met den 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 den weerstand**.

Dus, als men de spanning (in volts) weet, die gegeven is aan de uiteinden van een geleider met bekenden weerstand (uitgedrukt in ohms) en de eerste waarde deelt door de tweede, krijgt men de sterkte van den stroom (in ampères), die dien 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 DRIE SCHIJFWIJZEN VAN DE WET VAN OHM.

Daar in de formule van de Wet van Ohm:

$$I = \frac{E}{R}$$

de spanning E 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 product van quotiënt en noemer, dezelfde wet ook in een nieuwe formule uitdrukken:

$$E = I \times R.$$

Dit wil dus zeggen, dat **de spanning gelijk is aan het product van stroomsterkte en weerstand**.

Dus, als wij de sterkte van den 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 product (E), gedeeld door een der factoren (I) gelijk is aan den anderen factor (R) ook schrijven: 113

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

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 uiteinden van een geleider en den stroom, dien zij opwekt, krijgen wij, als we de eerstgenoemde waarde deelen door de tweede, de waarde van den weerstand van dien geleider. Op deze wet zijn de zg. „ohmmeters” gebaseerd, dit zijn instrumenten, die dienen om den 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 aangesloten wordt op den te meten weerstand, wijst de ampèremeter de sterkte van den veroorzaakten stroom aan. Men kan dan dus volstaan met de spanning van het element te deelen door de stroomsterkte, die de ampèremeter aangeeft, om de waarde van den gemeten weerstand te bepalen.

TOELICHTING BIJ HET TWEEDE GESPREK.

WISSELSTROOM.

In het eerste gesprek is Weetal er in geslaagd, de fundamenteele eigenschappen te verklaren van den **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 bestudeering van den **wisselstroom**. Deze wordt opgewekt door een wisselende spanning, dit is een spanning, die zoodanig varieert, dat het eene einde van een geleider ten opzichte van het andere afwisselend positief en negatief is; de spanning doorloopt daarbij alle tusschenliggende potentiaalverschillen (o.a. het nulpunt). Het resultaat is een stroom, die voortdurend van richting verandert: gaande in de eene richting neemt hij toe, bereikt zijn maximum (amplitudo genaamd), neemt af, verdwijnt een oogenblik, neemt daarna weer toe, maar..... in tegengestelde richting, bereikt daar weer zijn hoogste waarde, neemt vervolgens weer af om het nulpunt opnieuw te doorloopen om daarna in dezelfde volgorde dezelfde veranderingen weer te ondergaan.

De tijd, die noodig is om één reeks van dergelijke veranderingen te doorloopen tot het moment, waarop dezelfde veranderingen zich weer gaan herhalen, noemt men een **periode** van den wisselstroom. Het aantal perioden van den stroom per seconde noemt men de **frequentie** van den stroom. Men kan nu gemakkelijk vaststellen, dat, **hoe korter de periode is** (hoe meer er dus per seconde zijn), **hoe hooger de frequentie**.

In het meerendeel van de stroomnetten der steden en van het platteland 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.

114 ELECTRO-MAGNETISCHE GOLVEN.

Deze „industriefrequenties” zijn voor een radiotechnicus uiterst laag. Want, in de radiotechniek maakt men om golven, geschikt voor radio-uitzendingen te verkrijgen, gebruik van wisselstroom van een **hooge frequentie**, van minstens 10 000 per/sec, anders gezegd van stroomen met een periode, gelijk aan of korter dan 0,0001 sec. Iedere periode van een dergelijken stroom, die een verticalen draad doorloopt (de **zendantenne**) veroorzaakt een electro-magnetische golf, die zich in de ruimte voortplant als een steeds wijder wordende kring rondom de antenne. Dat wijder worden geschiedt met een zeer hooge snelheid, waardoor de golf zich 300 000 000 meter per seconde van de zendantenne verwijderd, dat is dus met de snelheid van het licht. Dit feit behoeft ons niet te verbazen, want de radiogolven en de lichtgolven zijn van gelijken aard: in beide gevallen betreft het electro-magnetische golven. Alleen de frequenties verschillen, daar die van de lichtgolven veel hooger zijn.

De afstand tusschen twee na elkaar uitgezonden golven heet **golflengte**. Hoe korter de periode (of hoe hooger de frequentie) des te kleiner de afstand; de golven volgen elkaar dan met kortere tusschenpoozen op. Men onderscheidt in de radio verschillende „golfbanden”:

De **lange golven**: boven 800 meter.

De **middengolven**: tusschen 200 en 800 meter.

De **korte golven**: van 10 tot 200 meter.

De **ultrakorte 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 noteeren, dat de uitdrukking „periode per seconde” vervangen wordt door **hertz**. (Afgeleid van den naam van den natuurkundige, die proefondervindelijk het bestaan van de electro-magnetische golven heeft aangetoond. Deze golven worden soms ook „hertzgolven” genoemd.) Daar men in de radio veelal te doen heeft met zeer hooge 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).

HET MAGNETISCHE VELD.

Het opwekken van electro-magnetische golven door een electrischen stroom is een der vele blijken van nauwe verwantschap — om het nog niet sterker te zeggen — die er bestaan tusschen de electrische en de magnetische verschijnselen. Iedere electronenverplaatsing heeft ook in de omgeving bepaalde invloeden. De ruimte, waarin deze invloeden zijn waar te nemen, noemt men het electro-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 den geleider te gaan staan. Als men de stroomrichting omkeert, beschrijft de naald een halven cirkel, hetgeen aantoonde, dat de richting van het magnetische veld wordt bepaald door de richting van den electrischen stroom.

Het magnetische veld van een geleider kan versterkt worden door dien geleider (een metalen draad) op te rollen in den vorm van een spoel (zooals 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 dergelijken magneet zal nog versterkt worden door binnen in de spoel een ijzeren staaf te plaatsen. Het ijzer biedt den magnetischen velden een grootere **permeabiliteit** (= doordringbaarheid) dan de lucht. Boven-

dien wordt het magnetische veld dichter in de aldus gevormde **magnetische kern**. Zoo verkrijgen we een **electro-magneet**. Als de kern van week ijzer is, verliest zij haar magnetische kracht, zoodra de stroom verbroken is (of bevaart 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.

Zooals veranderingen van den electrischen stroom overeenkomstige veranderingen veroorzaken in het opgewekte magnetische veld, veroorzaken omgekeerd de variaties van een magnetisch veld veranderingen in den 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 dien magneet, d.w.z. dan de verandering van het veld.

In plaats van een magneet kan men een electro-magneet, 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 veranderlijken stroom doorvoeren; deze veroorzaakt dan een veranderlijk magnetisch veld, dat, op zijn beurt, in de tweede spoel een veranderlijken 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** tusschen de twee spoelen, die tezamen een **electrischen transformator vormen**. Later zullen wij een nadere verklaring van dezen naam geven.

TOELICHTING BIJ HET DERDE GESPREK.

DE WET VAN LENTZ.

Bij het voortzetten van de bestudeering 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 den induceerden stroom. Als deze laatste toeneemt, werkt de geïnduceerde spanning in tegengestelde richting. Neemt de induceerende stroom af, dan werkt de geïnduceerde spanning in dezelfde richting.

De inductieverschijnselen gehoorzamen, zooals wij zien, aan een zeer algemeene natuurwet: de wet van actie en reactie.

De grootte der inductiespanning is afhankelijk van de snelheid der variaties van den induceerenden stroom.

ZELFINDUCTIE.

Als de in een spoel rondgaande stroom spanningen 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 spanning wordt geïnduceerd. Dit **zelfinductieverschijnsel** is aan dezelfde wetten onderworpen als die, welke de inductie regeeren. Dus, als de sterkte

116 van een in een spoel circuleerenden stroom toeneemt, ontstaat een tegenwerkende invloed (spanning), die een stroom in tegengestelde richting tracht te sturen. 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 zekere spanning aansluit, niet onmiddellijk zijn normale sterkte bereiken, zooals deze volgens de Wet van Ohm wordt bepaald. Daarvoor is een zekere tijd noodig, die des te langer is, naarmate de zelfinductie van de spoel grooter is. Eveneens zal, als wij de spanning aan de uiteinden van de spoel trapsgewijze verhoogen, de stroomsterkte deze toeneming met eenige vertraging volgen, daar ten gevolge van de zelfinductie het toenemen van den 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 zelfinductiestroom dan in dezelfde richting loopt als de induceerende stroom en dezen in zeker opzicht langer doet duren. In het uiterste geval zal, als men een plotselinge onderbreking van de aangelegde spanning veroorzaakt (bv. door het omschakelen van een schakelaar), de zeer snelle verandering van den induceerenden stroom een geïnduceerde spanning opwekken, die zeer hoog kan zijn en aanleiding kan geven tot een vonk, die overspringt tusschen de beide contacten van den afsluiter.

INDUCTIEVE REACTANTIE.

Als een wisselspanning wordt aangesloten op een zelfinductiespoel, onderhoudt de daardoor ontstane wisselstroom een afwisselend magnetisch veld, dat op zijn beurt een zelfinductiespanning doet ontstaan, die zich voortdurend verzet tegen de veranderingen in den induceerenden stroom en dezen om die reden belet, de maximum-sterkte te bereiken, die hij behaald zou hebben bij afwezigheid van de zelfinductie. We moeten hierbij bedenken, dat de wisselspanning bepaalde stroomveranderingen voorschrijft. Deze stroomveranderingen worden door de zelfinductie voortdurend tegengewerkt, het toenemen zoowel als het afnemen. Het lijkt dus, alsof aan den normalen weerstand (den zg. „Ohmschen weerstand”) van den geleider nog een andere weerstand ten gevolge van de zelfinductie toegevoegd moet worden. Deze weerstand van de zelfinductie of **inductieve reactantie** is des te grooter naarmate de stroomfrequentie hooger en de eigen zelfinductie grooter is (omdat de snellere variaties van den induceerenden stroom grootere zelfinductiespanningen veroorzaken).

De zelfinductie van een spoel is uitsluitend afhankelijk van de afmetingen van de spoel: aantal en diameter van de windingen (de bewikkelde lengte). Zij neemt snel toe met de toename 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** of in onderdeelen van deze eenheid: **millihenry** (mH), het duizendste deel van 1 henry, de **microhenry** (μ H), het millioenste 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 reactantie ondervinden van $6,28 \times L \times f$ ohms. (Merk op, dat hier bij benadering 6,28 is genomen voor de waarde van 2π .)

DE CONDENSATOR.

Nadat zij zoo de voornaamste inductie- en zelfinductieverschijnselen de revue hebben laten passeeren, hebben Weetal en Vraagal zich vervolgens blindelings geworpen op de bestudeering der **condensatoren**, die de **capaciteit** hebben

117
electrische ladingen op te zamelen. De condensator bestaat uit twee geleiders (de **bekleedsels** of de **platen**), van elkaar gescheiden door een isoleerende stof, of in technische taal: door het **diëlectricum**. Als men de beide bekleedsels verbindt met een electrische krachtbron, zullen er zich electronen opzamelen in die, welke verbonden is met de negatieve klem, terwijl ze de andere bekleding (verbonden met de positieve klem) zullen verlaten. Deze **lading** wordt versterkt door het verschijnsel van afstooting tusschen de electrische ladingen van twee dicht bij elkaar geplaatste bekleedingen. Als dezelfde bekleedingen zich verder van elkaar verwijderd zouden bevinden, zouden ze niet dezelfde electrische ladingen kunnen bevatten.

Op het oogenblik dat de krachtbron met den condensator wordt verbonden, ontstaat een **laadstroom**, eerst sterk, daarna steeds zwakker, naarmate de bekleedingen 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 „electriciteit” die een condensator kan bevatten, grooter of kleiner is bij een bepaalde spanning, zegt men, dat de capaciteit grooter of kleiner is. De capaciteit wordt gemeten in **farads** of in onderdeelen van die eenheid: **microfarad** (μ F), 0,000 001 F, **milli-microfarad** ($m \mu$ F) gelijk aan 0,000 000 001 F en zelfs de **micro-microfarad** of **picofarad** ($\mu \mu$ F) gelijk aan 0,000 000 000 001 F.

De capaciteit is klaarblijkelijk afhankelijk van de oppervlakte van de betreffende bekleedingen en neemt in verhouding met deze toe. Zij is des te hooger 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 hooge spanning („de condensator slaat door” wordt dit genoemd in het jargon van den technicus). Tenslotte is de capaciteit ook nog afhankelijk van den aard van het diëlectricum. De minst goede doch tevens goedkoopste middenstof is droge lucht. Als men deze vervangt door welk ander diëlectricum ook, neemt de capaciteit van den condensator toe.

Merk daarentegen op, dat de capaciteit onafhankelijk is van den aard en de dikte der bekleedingen.

TOELICHTING BIJ HET VIERDE GESPREK.

De wisselstroom „gaat door een condensator heen”.

In het vorige gesprek hebben we onzen condensator geladen achtergelaten. Door hem van de electriciteitsbron af te koppelen en de bekleedingen te verbinden met een weerstand, veroorzaken wij de **ontlading**. De overtollige electronen op de negatieve bekleding komen, door den weerstand heen, het tekort aanvullen van de positieve bekleding. De ontladingstroom, aanvankelijk sterk, wordt zwakker naarmate het potentiaalverschil tusschen de bekleedingen afneemt, en houdt heelemaal op, als de beide bekleedingen dezelfde potentiaal hebben.

Men kan een ononderbroken reeks ladingen en ontladingen van een condensator veroorzaken, door hem te verbinden met een wisselstroombron. De be-

118 kleedingen worden dan geladen, ontladen en weer geladen in het rythme van de frequentie der wisselspanning en zoo ontstaat in den kring (dat is het geheel van onderdeelen, door een stroom doorloopen) een volledige wisselstroom. Dit maakt het mogelijk te zeggen, dat de condensator **stroomvoerend** is voor den wisselstroom, zonder dat echter de electronen daarvoor dóór het diëlectricum gaan van de eene bekleeding naar de andere.

CAPACITIEVE REACTANTIE.

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 goeden geleider; de condensator biedt den stroom een zekeren „capacitieven” weerstand, dien men **capacitieve reactantie** noemt. Deze is zwakker, naarmate de capaciteit grooter en de stroomfrequentie hooger is, want hoe meer veranderingen er per seconde zijn, des te grooter is het aantal electronen, dat in één seconde een deel van de geleiders van den kring doorloopt. Als C de capaciteit (in farads) voorstelt van een condensator, waarbij een stroom met frequentie f optreedt, dan is de capacitieve reactantie:

$$\frac{1}{6,28.C.f} \text{ ohm.}$$

Bij vergelijking zal men zien, dat de capacitieve en inductieve reactanties juist tegengestelde eigenschappen bezitten: terwijl de inductieve reactantie aangroeit met de zelfinductie en de frequentie, neemt daarentegen de capacitieve reactantie af, als de capaciteit of de frequentie toeneemt.

PHASEVERSCHUIVING.

De tegenstelling tusschen 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. Deze verschuiving tusschen stroom en spanning draagt den naam **phaseverschuiving**. Men zegt ook wel, dat stroom en spanning „niet in phase zijn”.

Bij de bestudeering van den wisselstroom in een keten, die een condensator bevat (fig. 12), zal men opmerken, dat de electronenbeweging ophoudt (dus de stroom nul wordt) op het moment, waarop de spanning maximaal is; daarna stijgt — bij afname 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, naar mate de condensator weer geladen wordt (d.w.z. als de spanning in de andere richting stijgt), om tot nul te dalen op het oogenblik, 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 den gemiddelden stand van den zuiger. (Het membraan is dan plat.) Wij zien, dat hier de stroomveranderingen **voorijlen** bij de spanningsveranderingen, want als de spanning nog nul is, is de stroom al maximaal. Wij hebben hier, evenals bij de zelfinductie, met een phaseverschuiving te doen, maar in tegengestelde richting.

Als de keten alleen een zuivere zelfinductie of een zuivere capaciteit bevat, bedraagt de phaseverschuiving hoogstens een kwart periode. Dit geval wordt graphisch voorgesteld in de figuren 16 en 17, die in verband met het volgende ten zeerste de aandacht van den lezer verdienen.

In werkelijkheid komt de zelfinductie of de capaciteit niet in „zuiveren” toe-

stand voor. Het is vanzelfsprekend, dat de stroomketen eveneens een zekeren Ohmschen weerstand bevat. De phaseverschuiving bereikt dan ook nooit de maximum-waarde van $\frac{1}{4}$ periode, waarop zij volgens de theorie recht heeft. 119

SCHAKELING VAN REACTANTIES.

Een nauwkeurig onderzoek brengt in iederen stroomkring de aanwezigheid van drie impedanties aan het licht, nl. de inductieve en capacatieve reactantie en den Ohmschen weerstand. Laten we niet vergeten, dat zelfs een rechtlijnige geleider nog een zekere zelfinductie bezit en tusschen de verschillende punten er van een zekere capacatieve werking geconstateerd kan worden. In de practijk houdt men echter alleen rekening met de doorslaggevende waarden; zoo zal men in een wikkeling, die aan een stroom met gegeven frequentie een inductieven weerstand biedt van 10 000 ohm graag dien Ohmschen weerstand van 10 ohm verwaarloozen. (Als echter aan de wikkeling een gelijkspanning wordt aangelegd, zijn juist die 10 ohm de eenige, die in aanmerking komen, daar de zelfinductie alleen bij veranderlijke stroomen 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 gelijktijdig 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.** Inductieve- en capacatieve weerstanden in serie worden op gelijke wijze bij elkaar gevoegd, maar niet op de eenvoudige manier, zooals Vraagal dat veronderstelt. Als men denkt aan de tegengestelde uitwerking, die zelfinductie en capaciteit op den 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 inductieve en capacatieve reactantie afzonderlijk beschouwd. De eenvoudige, zuivere optelling der reactanties is alleen geldig, als de kring uitsluitend uit Ohmsche weerstanden in serie geschakeld bestaat, of alleen uit capacatieve of inductieve reactanties. In dit laatste geval is het dan echter nog noodzakelijk, dat er geen onderlinge inductiewerking tusschen de verschillende wikkelingen (spoelen) bestaat.

REACTANTIES IN SERIE.

Daar de inductieve reactanties in serie bij elkaar worden opgeteld, moet daaruit geconcludeerd worden, dat de coëfficiënten van zelfinductie (waarmee ze, laten we dat niet vergeten, evenredig zijn) eveneens opgeteld moeten worden. Of anders gezegd: **Eenige spoelen in serie geplaatst, zijn door hun electriche werking gelijk aan één enkele spoel, waarvan de coëfficiënt van zelfinductie gelijk is aan de som der afzonderlijke coëfficiënten.**

Zou het met de condensatoren net zoo zijn? Het is duidelijk, dat dit niet het geval is, want de capacatieve reactanties zijn omgekeerd evenredig met de capaciteiten. En daar de capacatieve weerstanden van eenige 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 eenige in serie geplaatste condensatoren, C_1 , C_2 , C_3 enz. noemen, kan de capaciteit C van den eenigen 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 samenstellende capaciteiten. Dat was overigens te voorzien, daar dit de voorwaarde is voor de toeneming van de capacitieve reactantie, ontstaan door het in serie schakelen der verschillende condensatoren.

PARALLEL GESCHAKELDE REACTANTIES.

Nu moeten we nog de gedragingen bestudeeren van de **parallel geschakelde reactanties**. Op deze wijze geschakeld bieden zij den stroom verschillende wegen in plaats van één enkelen en zij maken den doortocht voor den stroom gemakkelijker. In tegenstelling met wat er bij serieschakeling gebeurt, worden nu niet meer hun weerstanden, maar hun geleidingsvermogens opgeteld. Het geleidingsvermogen (of de geleidbaarheid), is, hetgeen gemakkelijk is in te zien, het omgekeerde van den weerstand. Als dus verschillende Ohmsche weerstanden 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 elken afzonderlijken weerstand

$$\left(R_1 = R_2, \quad \text{dus } R = \frac{R_1 \times R_1}{2 R_1} = \frac{1}{2} R_1 \right).$$

Een gelijksoortige redeneering stelt ons in de gelegenheid dezelfde resultaten te bereiken voor de inductieve reactanties en voor de coëfficiënten van zelf-inductie 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 capacitieve reactantie gelijk is aan de som der omgekeerden van de samenstellende capacitieve reactanties. 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 capacitieve reactantie omgekeerd evenredig is met de capaciteit. Zonder moeite kunnen wij dan ook concludeeren, dat, als de omgekeerden van de capacitieve weerstanden 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 den eenen kant en hun respectievelijke reactanties aan den anderen kant eenige verwarring scheppen in het brein van den lezer, en dat is wel te verontschuldigen. Maar Weetal zorgt er voor orde te scheppen vanaf het

TOELICHTING BIJ HET VIJFDE GESPREK.

ELECTRISCHE RESONANTIE.

Vooruitlopende op de uiteenzettingen van Weetal hebben wij in onze toelichtingen het begrip „phaseverschuiving” verklaard en wij hebben aangetoond, dat de stroom bij het passeeren van een zelfinductie na-ijlt bij de spanning, terwijl hij voorijlt bij het passeeren van een capaciteit. Voorts hebben wij, steunend op het feit, dat zelfinductie en capaciteit tegengestelde eigenschappen bezitten, gezegd, dat de inductieve en capacatieve reactanties 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 inductieve reactantie kleiner is dan de capacatieve, heeft het effect der capaciteit de overhand: de stroom zal vooruitjlen bij de spanning en de impedantie van de schakeling zal gelijk zijn aan de capacatieve reactantie minus de inductieve (bij verwaarloozing van den Ohmschen weerstand).

Wij verhoogen nu geleidelijk de frequentie. Wat zal er dan gebeuren? De frequentieverhooging zal de waarde van de inductieve reactantie vergrooten en die van de capacatieve verkleinen. Er zal dus een oogenblik komen, waarop voor een bepaalde frequentie de inductieve reactantie gelijk is aan de capacatieve. Deze twee gelijke waarden, die elkaar tegenwerken, maken, dat de impedantie van de geheele schakeling nul wordt. Ook de phaseverschuiving zal nul zijn, d.w.z. de stroom zal in phase 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 zekeren Ohmschen weerstand, zoodat de impedantie niet geheel nul kan worden en de stroom om die reden een meetbare waarde behoudt.

Als wij voortgaan met de frequentieverhooging, zal de inductieve reactantie grooter worden dan de capacatieve, de stroom zal na-ijlen bij de spanning en de impedantie zal opnieuw aangroeien. Wij zien, dat er één enkele frequentie is, waarvoor de impedantie nul, althans zoo klein mogelijk, en de stroom maximaal wordt. Dat is de **resonantiefrequentie**. Men zegt ook wel, dat bij die frequentie de keten **in resonantie** is.

OSCILLEERENDE ONTLADING.

Men kan datzelfde resonantieverschijnsel waarnemen, als men een spoel verbindt met de bekleedingen van een geladen condensator (fig. 19). Terwijl, indien de bekleedsels door middel van een Ohmschen weerstand verbonden waren, de condensator zich via dien weerstand in korten tijd zou ontladen, dus bij ontladen condensator de stroom zou ophouden te bestaan, zien wij hier een „oscilleerende ontlading”. Men herinnert zich, dat een zelfinductie zich verzet tegen de vermindering van den stroom, door hem als het ware

122 te verlengen met een zelfinductiestroom, die in dezelfde richting loopt. Die stroom laadt den condensator in tegengestelden zin weer op. De condensator kan zich daarna opnieuw ontladen (de stroom gaat nu in de tegengestelde richting), daarna weer laden door den invloed van de zelfinductie enz. Een wisselstroom doorloopt onzen kring zonder eenige toevoeging van energie van buitenaf en er zou geen enkele reden zijn om dien stroom te laten ophouden..... als onze kring geen gewonen 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. Zoo ontstaan de **gedempte trillingen** (fig. 21A), vroeger in de radio-telegrafie gebruikt, terwijl iedere heroplading van den condensator veroorzaakt door het overspringen van een vonk. In plaats van deze oorspronkelijke gedempte golven te bezigen is later het gebruik van **ongedempte golven** gekomen (fig. 21B). De stroom, die deze golven veroorzaakt, is een wisselstroom, die ontstaat in den **trillingskring**, zooals men den kring noemt, die bestaat uit een condensator, verbonden aan de klemmen van een spoel. Om de toenemende verzwakking van de trillingen te vermijden, zooals dat bij de gedempte trillingen gebeurt, is het voldoende die energieverliezen aan te vullen door van buitenaf aan den trillingskring hoeveelheden energie toe te voegen, die noodzakelijk en toereikend zijn om de trillingsamplitudo constant te houden.

Die toevoeging van energie, de „herbevoorrading”, moet in hetzelfde tempo geschieden als de eigen trillingen van den kring, die, dat spreekt vanzelf, plaats vinden op de resonantiefrequentie, waarbij de impedantie het kleinst is. Als die stroomstooten in den 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 den kring geen wisselstroom met constante amplitudo.

RESONANTIE „IN SERIE” EN „PARALLEL”.

De wisselstroombron, die tot taak heeft den 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 Ohmsche weerstand en andere oorzaken van verlies zoo 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 de trillingskring gedempt is, des te minder energie verbruikt hij van de keten, waardoor hij gevoed wordt.** Wij staan hier voor een schijnbaar tegenstrijdige situatie. Terwijl binnen in den trillingskring de wisselstroom een groote sterkte bereikt (des te grooter naarmate de kring minder gedempt is) is in den buitensten kring (in fig. 22b in dunne lijnen geteekend) 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 den trillingskring is zeer klein voor den stroom, die binnenin circuleert, maar aan den stroom van den buitensten kring biedt hij een zeer hooge 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 den 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 noodig om het water op het kookpunt te houden. Dat is dan de sterk gedempte trillingskring.

DE IMPEDANTIE VAN EEN TRILLINGSKRING.

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 zwakken stroom passeeren; maar die zwakke stroom is voldoende om in den trillingskring zelf een stroom van groote sterkte te onderhouden.

Men begrijpt, dat, als men dit laatste geval onderzoekt, de spanningen met andere frequenties dan de resonantiefrequentie niet meer dezelfde gevolgen hebben. De gedwongen trillingen, die zij in den 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 grooter 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 gevaarlijke experimenten te wagen.

Wij hebben gezien, dat de resonantie optreedt, als de inductieve reactantie gelijk wordt aan de capacitieve voor een bepaalde frequentie. Laten wij probeeren die frequentie te bepalen door de juist genoemde gelijkheid aan te nemen.

De inductieve reactantie is, zooals reeds is gezegd, gelijk aan $6,28.f.L$, waarbij f de frequentie en L de coëfficiënt van zelfinductie (in henrys) is.

Voorts is de capacitieve reactantie gelijk aan: $\frac{1}{6,28.f.C}$, waarbij C de capaciteit (in farads) is.

Onze vergelijking kan nu als volgt geschreven worden:

$$6,28.f.L = \frac{1}{6,28.f.C}$$

Nu is het niet moeilijk meer, de waarde van f — de frequentie, die wij zoeken — te bepalen. Daartoe vermenigvuldigen wij de beide termen (zoo noemen in een vergelijking het deel voor of achter het = teeken) met f en deelen ze door $6,28 L$. Wij krijgen dan:

$$f^2 = \frac{1}{6,28^2 L C}$$

Daarna trekken we den vierkantswortel uit beide termen:

$$f = \frac{1}{6,28 \sqrt{L C}}$$

Daar de periode of de trillingstijd T het omgekeerde is van de frequentie f , kunnen wij ook schrijven:

$$T = 6,28 \sqrt{L \times C}.$$

Dit is dan de **formule van Thomson**, bepaald volgens alle regelen van de wiskunde!..... d.w.z. bijna. Want wij hebben den Ohmschen weerstand verwaarloosd, die toch tusschenbeide komt, vooral als hij een betrekkelijk hooge waarde heeft. In de voor radiotechniek gebruikte trillingskringen tracht men echter den Ohmschen weerstand tot een minimum te beperken. De formule, die wij zoojuist 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 zoo groot maken, de periode of trillingstijd slechts respectievelijk 2, 3, 4 of 5 maal zoo groot zal worden (en de frequentie wordt evenveel malen kleiner).

SELECTIVITEIT.

Het resonantieverschijnsel biedt in de radio die praktische mogelijkheid, uit de talloze uitzendingen, die op verschillende frequenties plaats hebben, diegene te **selecteren** (= uit te kiezen), die wij willen hooren.

Dank zij hun **selectiviteit** geven de ontvangtoestellen niet gelijktijdig alle uitzendingen weer, waarvan de golven den aether in beroering brengen en die hoogfrequente spanningen in de ontvangantenne opwekken.

Een grooter 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 gewenschten zender door te laten met uitsluiting van alle andere.

Zoo zal een trillingskring, bestaande uit een parallelschakeling van spoel en condensator, die in de antenne is geplaatst, gemakkelijk alle stroomen van verschillende frequenties naar de aarde doorlaten, met uitzondering van die met zijn resonantiefrequentie. Doordat hij hiervoor een hooge impedantie vormt, ontstaat aan de klemmen van den kring een wisselspanning, die overgebracht wordt naar de reeks van kringen in den ontvanger.

Als de trillingskring, zooals in fig. 23, inductief aan de antenne is gekoppeld, zullen alleen de stroomen van de resonantiefrequentie een belangrijken stroom in den trillingskring opwekken en een wisselspanning tusschen 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, zooals 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 der kringen geschiedt door de waarde van een der samenstellende deelen te veranderen: de zelfinductie of de capaciteit. Om den geheelen frequentieband zonder eenige onderbreking te doorloopen, 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 condensatoren**, bestaande uit een vaste en een beweegbare (draaibare) beklee-

ding. Elk dier bekleedingen bestaat uit een aantal platen (**lamellen** genaamd). De beweegbare platen zijn op een as gemonteerd en tusschen de vaste geplaatst. Door de as te draaien, komen de beweegbare platen meer of minder tusschen de vaste, waardoor het oppervlak van de bekleedingen ten opzichte van elkaar toe- of afneemt en eveneens de capaciteit van den condensator. Teneinde de afstemming met groote nauwkeurigheid te doen plaats hebben, wordt de beweging van den stelknop vertraagd met behulp van een vertraging-inrichting, zoodat enkele omwentelingen van den knop noodig zijn om de beweegbare platen hun heele baan te laten doorloopen. Men noemt dit de **fijnregeling**. De as van den variabelen 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 den uitersten stand, als de beweegbare lamellen geheel buiten de vaste liggen, blijft er toch nog een zekere capaciteit tusschen de bekleedingen over. Men noemt dat de „nul-capaciteit”. 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, zooals de capaciteit, maar met sprongen en die veranderingen dienen om van den eenen golfband op den anderen over te gaan.

TOELICHTING BIJ HET ZEVENDE GESPREK.

ELECTRONENBUIZEN OF RADIOBUIZEN *)

Tot nu toe hebben onze jonge vrienden op hun gemak door het terrein van de electriciteit 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 bestudeering van de radio. Bij den aanvang van de studie over de electronen- of radiobuizen zitten onze vrienden nu plotseling midden in het gebied van de eigenlijke radiotechniek, want de geheele 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.

Waaruit bestaat nu zulk een **electronen- of radiobuis**? Van buiten gezien is het een glazen ballon, bevestigd aan een isoleerende buis, voet of huls, die voorzien is van eenige contactpennen, of soms klemmen. De ballon zelf is van glas, ofschoon de modernste buizen stalen ballons hebben. De voornaamste eisch is, dat de ballon volkomen luchtdicht is, want binnenin moet hij zooveel mogelijk luchtledig zijn. Dat luchtledige is onmisbaar om aan de electronen binnen in de buis een zoo gemakkelijk mogelijken doortocht te verschaffen. Bij

*) In plaats van den ouden en populairen naam **radiolamp** gebruikt de vakman tegenwoordig de termen **radiobuis** en **versterkerbuis**. (Noot v. d. vert.)

126 aanwezigheid van lucht zouden de electronen voortdurend tegen de moleculen botsen, hun baan zou onderbroken worden en wat nog belangrijker is, de luchtmoleculen zouden uit die botsingen electrisch geladen te voorschijn komen (zg. „geïoniseerd”) en op die manier zou de normale werking der buizen verstoord worden. In de ballon vinden wij een min of meer samengesteld systeem van **electroden**. Hoe het ook zij, minstens twee electroden zijn noodig om de electronen te laten circuleeren: de **kathode** en de **anode**.

KATHODE EN VERHITTING.

De taak van de kathode is electronen in de ruimte te werpen. Die **electronen-uitzending** of electronenemissie wordt verkregen door een lichaam op hoogen temperatuur te brengen. Niet alle lichamen bezitten in gelijke mate dat emissievermogen. De eene 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**) loopt, soortgelijk aan de gloeidraden in de verlichtingslampen. De kathode, bestaande uit een nikkelen buisje, bedekt met een oxydenmengsel, omringt den gloeidraad. De isolatie tusschen kathode en gloeidraad wordt verzekerd door een laagje van een isoleerende, vuurvaste stof. (In de oudste typen was dat een porceleinen buisje.)

Dit is de vrij gecompliceerde samenstelling van de indirect verhitte kathode. De functies van verhitter (gloeidraad) en electronenleverancier (de eigenlijke kathode) kunnen samengevoegd worden in den gloeidraad zelf, mits deze behoorlijk geschikt gemaakt is en die emitteerende 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 eenige taak is, de warmte op te wekken, die het de kathode mogelijk maakt electronen te emitteeren. 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. Zoo bestaat in de foto-electrische cellen, die nu bij de televisie worden gebruikt, de kathode uit een laag alkalisch metaal en zendt electronen 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 noodig is.

DE DIODE.

Het effect van de electronenemissie, door Edison ontdekt, zou geen groote gevolgen hebben gehad, als Fleming in 1904 niet op het idee was gekomen, een tweede electrode vlak bij de kathode te plaatsen: de **anode** of de **plaat**, positief ten opzichte van de kathode. De electronen, die door de kathode in de ruimte worden geslingerd, worden dan door de anode aangetrokken. Als dan een gelijkspanningsbron de anode positief houdt t.o.v. de kathode, ontstaat er een stroom, **anode- of plaatstroom** genaamd. Na de kathode verlaten te hebben, doorloopen de electronen het luchtledige van de buis en bereiken dan de anode; daarna keeren de electronen door den anodekring, waarin de spanningsbron zich bevindt, naar de kathode terug (fig. 26). Voor den eersten keer stelt deze buis (**diode** geheeten) ons in staat den electrischen stroom in zuiveren toestand te „zien” en wij stellen vast, dat de electronen van negatief naar positief gaan, tegengesteld dus aan de vroeger overeengekomen richting voor den electrischen stroom.

Merk op, dat de electronenstroom 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 electronen zullen door de anode worden teruggestooten en daar deze laatste koud is, zendt zij geen electronen uit, die geschikt zijn om door de kathode aangetrokken te worden. Onze diode is dus een echt ventiel. Men begrijpt nu wel, dat een wisselspanning, aangelegd tusschen die twee electoden, 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 den wisselstroom „gelijk te richten”, wordt, zooals wij later zullen zien, gebruikt bij de detectie en de voeding der wisselstroom-ontvangtoestellen. Zooals in iederen weerstand, hangt de sterkte van den anodestroom in de diode af van de aangelegde spanning tusschen 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 den stroom meer, daar **alle** door de kathode geëmitteerde electronen reeds deelnemen aan den anodestroom. Men zegt, dat wij dan den **verzadigingsstroom** hebben bereikt.

TRIODE.

Twee jaar na de uitvinding van de diode is Lee de Forest op het idee gekomen om tusschen de kathode en de anode nog een derde electrode te plaatsen: het **rooster**. Dit bestaat uit een tralierooster of uit een cilindervormige spiraal, die de kathode omringt. In onze drie-electrodenbuis of **triode** is het rooster dus geplaatst in de baan van de electronen, waardoor het mogelijk is de beweging daarvan te regelen. Inderdaad hangt nu de sterkte van den electronenstroom 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 den loop der electronen 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 electron passeeren: de stroom is nul. Als wij het rooster langzamerhand minder negatief maken, zien wij een stroom ontstaan, die aangroeit met de toename 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 den anodestroom wordt uitgeoefend veel sterker is dan de invloed van de plaatspanning. Een geringe verandering van de roosterpotentiaal is voldoende om een groote verandering van den plaatstroom te veroorzaken. Als wij de roosterpotentiaal constant laten en toch dezelfde stroomverandering willen opwekken door de plaatspanning te wijzigen, dan moeten wij laatstgenoemde in veel sterker 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 versterkingsvermogen van de buis gebaseerd.

STEILHEID.

De verhouding tusschen de plaatstroomverandering en de roosterspanningverandering, die de plaatstroomverandering veroorzaakt, bij constant gehouden plaatspanning, noemt men de **steilheid** van de buis. Zij wordt uitgedrukt in milliampères per volt (mA/V). De steilheid toont derhalve aan, met hoeveel milliampères de plaatstroom toe- of afneemt, als wij de roosterpotentiaal met 1 V verhoogen of verlagen. De meest gebruikelijke buizen hebben een steilheid, die ligt tusschen 1 en 15 mA/V.

Als wij de verandering van den anodestroom dI_a en die van de rooster-

128 potentiaal $d E_g$ noemen, vinden wij de steilheid S in de onderstaande formule:

$$S = \frac{d I_a}{d E_g}$$

VERSTERKINGSFACTOR.

Wij hebben zoeven gezegd, dat, om dezelfde verandering in den plaatstroom te brengen, de plaatspanning meer veranderd moet worden dan de spanning van het rooster. De verhouding tusschen die twee spanningen heet de **versterkingsfactor**. Als men bv. een versterking van den stroom van 1 milli-ampère kan bereiken door óf de anodespanning met 24 V, óf de roosterspanning met 2 V te verhoogen, is de versterking $24:2 = 12$.

De versterkingsfactor van trioden gaat zelden boven 100, maar in de buizen met meer dan drie electroden bereikt hij vaak een waarde van eenige duizenden. Als $d E_a$ de verandering van de plaatspanning voorstelt, vinden wij den versterkingsfactor K als volgt:

$$K = \frac{d E_a}{d E_g}$$

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 tusschen spanning en stroomsterkte. Het mag ons dan ook niet verbazen, als wij hooren, dat de inwendige weerstand van een buis wordt bepaald door de verhouding tusschen de verandering in de anodespanning en de verandering, die deze veroorzaakt in de sterkte van den anodestroom. Als wij den inwendigen weerstand aangeven met ρ (de Griekse letter rho), krijgen wij dus:

$$\rho = \frac{d E_a}{d I_a}$$

De inwendige weerstand wordt uitgedrukt in ohms. Voor de trioden varieert de waarde tusschen eenige honderdtallen en eenige tienduizenden. Voor de buizen met meer dan drie electroden kan hij honderdduizenden ohms bedragen.

HET VERBAND TUSSCHEN S , K , en ρ .

Hier zij opgemerkt, dat de steilheid en de inwendige weerstand van een bepaalde buis tusschen zekere grenzen kunnen varieeren al naar gelang de potentiaal van het rooster; de versterkingsfactor daarentegen blijft practisch onafhankelijk van de spanningen der electroden, daar hij bepaald wordt door hun plaats en hun afmetingen.

Hoewel het niet de bedoeling is hier diepgaande wiskundige verhandelingen te houden, zullen we wel het wiskundige verband vastleggen tusschen S , K en ρ . Het is namelijk zeer eenvoudig het verband aan te toonen, dat deze drie grootheden bijeenhoudt: Als wij S met ρ vermenigvuldigen, krijgen we:

$$S \times \rho = \frac{d I_a}{d E_g} \times \frac{d E_a}{d I_a} = \frac{d E_a}{d E_g} = K$$

Wij zien nu, dat de **versterkingsfactor gelijk is aan het product van steilheid en inwendige weerstand**. Als de steilheid wordt weergegeven in mA/V, moet de inwendige weerstand in duizendtallen ohms 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 $K = 3 \times 80 = 240$. 129

TOELICHTING BIJ HET ACHTSTE GESPREK.

DE KARAKTERISTIEK VAN EEN BUIS.

In de triode is de sterkte van den plaatstroom, zooals wij hebben gezien, afhankelijk van de roosterspanning en, hoewel niet in gelijke mate, van de plaatspanning. De invloed van de eerste is grooter dan die van de tweede. Men kan grafisch weergeven, hoe de sterkte van den plaatstroom I_a verandert al naar gelang de waarden, die de roosterspanning E_g of de anodespanning E_a aanneemt. Om de kromme voor I_a te teekenen afhankelijk van E_g , houden wij de plaatspanning E_a op een constante waarde en als wij nu aan de roosterspanning E_g een serie verschillende waarden geven (in een stijgende of dalende reeks), kunnen wij de overeenkomstige waarden van den anodestroom I_a noteeren.

Vervolgens teekenen 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 den 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 E_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 geteekend te hebben, verbinden wij ze door een lijn, die de karakteristiek van den plaatstroom vormt onder invloed van de roosterspanning. 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, ten gevolge van de optredende verzadiging.

ANDERE KARAKTERISTIEKEN.

Men zou op dezelfde manier een tweede karakteristiek kunnen teekenen, door de plaatspanning op een hogere waarde in te stellen. In dat geval zal de stroom grooter zijn. De kromme verschuift dan naar links. Om een buis goed te karakteriseren is het noodig een heele groep (of „bundel”) karakteristieken te bepalen, die elk overeenkomen met een gegeven plaatspanning. We moeten hierbij wel bedenken, dat er nog een andere groep karakteristieken geschetst kan worden, als men van een eenigszins ander standpunt uitgaat. Men neemt dan een vaste waarde voor de roosterspanning en laat nu de anodespanning

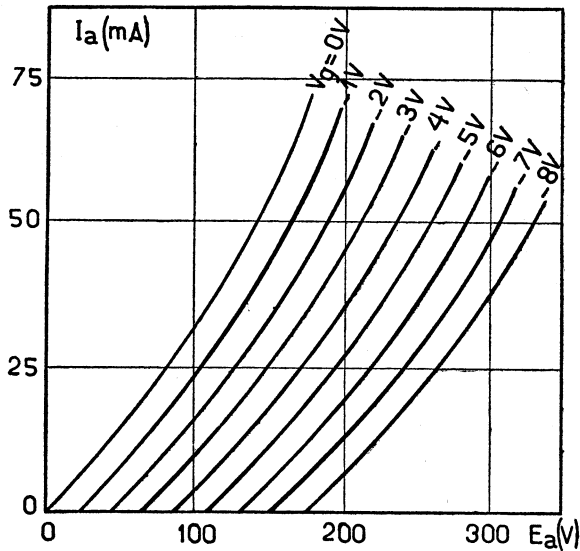


Fig. I. Krommen van een triode, die de veranderingen van den plaatstroom weergeven onder invloed van de veranderingen in de plaatspanning. Iedere kromme is geteekend voor een gegeven roosterspanning.

veranderen, waarna weer de corresponderende waarden van den plaatstroom genoteerd worden. Op de horizontale as geeft men nu de waarden van E_a , op de verticale die van I_a aan en zoo krijgen wij dan de karakteristiek van den plaatstroom afhankelijk van de plaatspanning (fig. I en II).

Zoo kunnen wij dus nog een bundel karakteristieken opstellen, elk overeenkomend met een bepaalde roosterspanning. Door een betrekkelijk eenvoudige

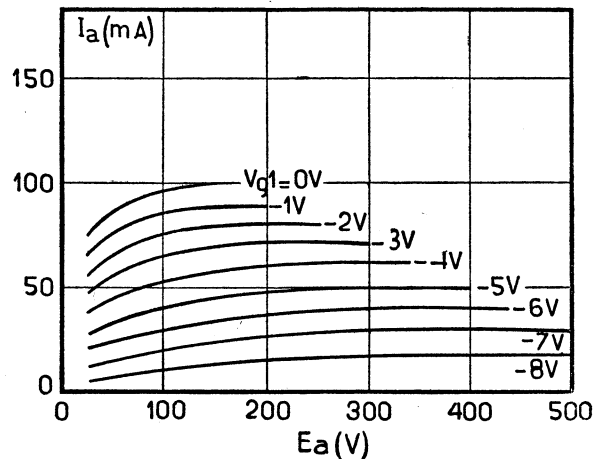


Fig. II. Dezelfde krommen als in fig. I, maar nu bepaald voor een penthode.

bewerking, die wij hier echter niet zullen aangeven, kan men van het eene systeem in het andere overgaan.

De karakteristieken van een buis geven den radiotechnicus de noodige 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 bestudeering van de karakteristieken ons in de gelegenheid stelt, de steilheid, den versterkingsfactor en den inwendigen weerstand te bepalen.

GRAFISCHE BEPALING VAN S , K en ρ .

De steilheid, dat herinneren wij ons, toont aan, hoeveel de plaatstroom verandert, als wij de roosterspanning met 1 V wijzigen. Laten wij nu uit den karakteristiekenbundel van figuur III er eens een nemen, bv. die, welke overeenkomt met $E_a = 160$ 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 verhoogen, hebben wij den 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 tusschen BC en AC. Hoe steiler de kromme..... hoe grooter de steilheid! Dit verklaart het gebruik van het woord „steilheid” door de radiotechnici. Laten wij nog noteeren, dat, terwijl de steilheid gelijk blijft in het geheele 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 den versterkingsfactor, die de verhouding weergeeft tusschen de veranderingen in de plaat- en in de roosterspanning, waardoor dezelfde wijziging van den 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 denzelfden plaatstroom. Als we nu van Q naar P gaan, wat doen we dan? Aan den eenen kant verhoogen wij de roosterspanning met 1,5 V (want zij gaat van -3 naar $-1,5$ V), wat een vergrooting van den plaatstroom zou moeten veroorzaken. Deze blijft echter onveranderd, want de uitwerking van de verandering in de roosterspanning wordt geneutraliseerd door de afname van de plaatspanning: deze wordt met 40 V verminderd, daar wij van de kromme $E_a = 200$ V zijn overgegaan op de kromme $E_a = 160$ V. Een plaatsspanningsvariatie van 40 V heeft dus op den plaatstroom dezelfde uitwerking als een verandering van 1,5 V in de roosterspanning. De versterkingsfactor (d.i. de verhouding tusschen die twee spanningen) is nu gelijk aan $40 : 1,5 = 26,7$.

Tenslotte zullen wij nog trachten uit de karakteristieken de waarde van den inwendigen weerstand af te leiden. Dat is, zooals wij al gezegd hebben, de verhouding tusschen de verandering in de anodespanning en de verandering in den 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 controleeren, of de formule $K = S \times \rho$ juist is, want, als wij rekenen, dat $\rho = 8,9 \times 1000$ ohm, kunnen wij schrijven:

$$S \times \rho = 3 \times 8,9 = 26,7$$

132 Welnu, wij vonden reeds, dat $K = 26,7$, hetgeen bewijst, dat er op radiogebied orde heerscht.

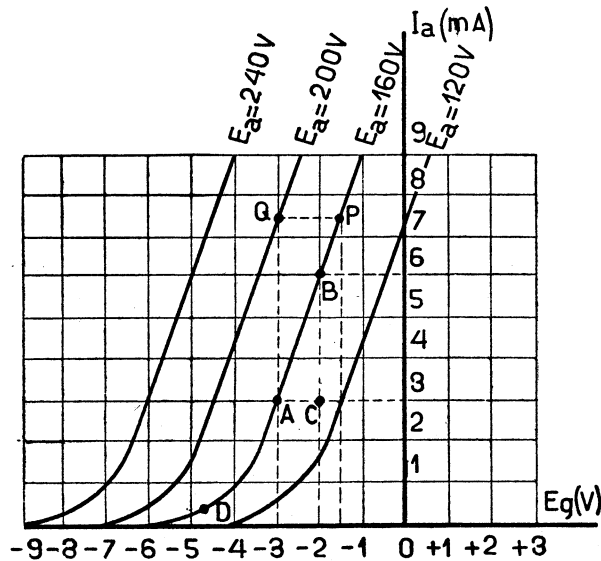


Fig. III. De karakteristieken voor de plaatstroomverandering onder invloed van de roosterspanning maken het mogelijk de steilheid, den versterkingsfactor en den inwendigen weerstand van de buis te bepalen.

INGANG EN UITGANG VAN EEN BUIS.

Om voordeel te trekken uit het versterkingsvermogen van een buis wordt de wisselspanning voor de versterking aangelegd tusschen het rooster en de kathode. Door de potentiaal van het rooster t.o.v. de kathode te veranderen, veroorzaken wij belangrijke veranderingen in de sterkte van den plaatstroom. (Zij zijn $K \times$ zoo sterk als in het geval, dat de spanning aangelegd zou worden tusschen anode en kathode.) Die variaties in den plaatstroom, die weer plaatspanningsveranderingen ten gevolge hebben, kunnen op hun beurt weer versterkt worden door een tweede buis, zooals wij later zullen zien.

De spanning, die versterkt moet worden, wordt dus aangelegd aan wat wij in het vervolg de **ingangszijde** van de buis (rooster-kathode) zullen noemen, de **uitgang** bevindt zich dan in den anodekring.

De wisselspanningen aan den ingang zijn betrekkelijk zwak, de eerste buis, bestemd om de zeer zwakke spanning, welke wordt opgewekt door de trillingen in den afgestemden antennekring, te versterken, zal aan den ingang een spanning krijgen van de grootte van eenige microvolts of eenige tientallen microvolts (een nabije en sterke zender kan evenwel spanningen veroorzaken van eenige millivolts). De laatste buizen van een versterkingsketen in een ontvangtoestel zullen daarentegen te maken hebben met ingangsspanningen, die zeer versterkt zijn en die enkele volts of zelfs tientallen volts kunnen bedragen.

Behalve de wisselspanning, die wordt aangelegd tusschen rooster en kathode, moeten wij eveneens de **gemiddelde roosterspanning** in beschouwing nemen, d.w.z. de gelijkspanning, die gebracht wordt tusschen het rooster en de kathode bij afwezigheid van wisselspanningen (bv. gedurende een pauze in de uitzending). Die spanning (**negatieve voorspanning** genaamd) kan verzorgd worden met behulp van een batterij B_g (fig. 33), die tusschen rooster en kathode wordt geplaatst. Daarna wordt op de buiskarakteristiek het **werkpunt** bepaald. Zoo is in figuur III, 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. Zoo zullen, als wij aannemen, dat de gemiddelde spanning -3 V bedraagt en de amplitudo van de wisselspanning 2 V is, de oogenblikswaarden van de roosterspanning varieren tusschen -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 mogelijkheden dienen vermeden te worden op straffe van vervormingen van het geluid. (**Distorsie** zeggen de technici met een vreemd woord.) Aan den eenen kant moeten de veranderingen in den plaatstroom evenredig zijn met de veranderingen van de roosterspanning. Aan die voorwaarde zal voldaan zijn, als de oogenblikswaarden van de roosterspanning niet buiten het rechte deel van de karakteristiek gaan. Vervormingen in de onderste bocht van de kromme noemt men „niet-lineaire” vervormingen.

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 electronen aan, die door den roosterkring gaan loopen 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, waarmede de electronen door de kathode worden uitgezonden. De roosterstroom veroorzaakt ernstige storingen. Zijn instandhouding eischt een belangrijk energieverbruik, hetgeen te leveren is door den roosterkring, waarin een dergelijk energieverlies vermeden moet worden.

Samenvattend zien wij dus, dat de oogenbliksspanningen 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 zoo te kiezen, dat het werkpunt zich bevindt in het midden van het rechte deel, links van de verticale as. Als de amplitudo 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 bestudeering van de eerste onderdeelen van de keten der radio-electrische geluidsoverbrenging.

134 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 20 000 per/sec (voor de hoogste tonen) worden met behulp van een microfoon omgezet in overeenkomstige veranderingen van een electrischen stroom.

De koolmicrofoon, door Weetal beschreven, die functioneert door veranderingen in den weerstand, is zeer gevoelig, zelfs voor betrekkelijk zwakke geluiden, maar zij heeft een paar hinderlijke gebreken, die onzuiverheid van de weergave ten gevolge heeft. Er bestaan andere microfoonssystemen, minder vervorming veroorzakend, maar minder gevoelig (hetgeen er weinig op aan komt, daar men altijd met behulp van buizen de te zwakke microfoonstroom kan versterken). Dat zijn bijvoorbeeld de **electro-dynamische microfoons**, waarin een lichte spoel trilt door de inwerking der geluidsgolven, in het veld van een magneet; wij weten, dat er onder die voorwaarden in de spoel geïnduceerde spanningen ontstaan.

De microfoonstroom, een zuiver electrisch beeld der geluidsgolven, is van een te lage frequentie om voldoende voortplanting van electrische golven te kunnen bewerkstelligen. Om die laagfrequente trillingen te kunnen vervoeren door de ruimte, die de zendantenne scheidt van de ontvangantenne, moeten zij samengevoegd worden met een hoogfrequente trilling, die wel het vermogen bezit voortplanting over grooten afstand te doen ontstaan.

MODULATIE.

Op welke manier brengt men de laagfrequenttrilling in de hoogfrequenttrilling? Of in meer technische termen: hoe **moduleert** men de hoge frequentie met de lage?

In zuiveren toestand, als hij dus niet gemoduleerd is, komt de hoogfrequente stroom voor in de gedaante van een klassieken wisselstroom, zooals wij dien 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 oogenblikswaarden van de laagfrequente trilling, zoodat, als men de toppen van alle halve perioden verbindt, men een lijn krijgt — de stippellijn in figuur 38c — die den vorm heeft van den microfoonstroom.

Die ongelijkheid der amplituden van de hoogfrequente trilling verbergt de laagfrequente trilling. Een stroom moduleeren beteekent, tot op zekere hoogte hem vormen.

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, tusschen rooster en kathode geschakeld en inductief gekoppeld met een spoel, die opgenomen is in den plaatkring. De afwisselende ladingen en ontladingen van den condensator uit den trillingskring brengen den hoogfrequenten stroom voort, die teniet zou gaan na verloop van een zeker aantal perioden (zooals in figuur 21A), als op de juiste oogenblikken de plaatspoel niet de noodige energie inductief in de spoel van den 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 amplitudo en met een frequentie, die gelijk is aan de resonantiefrequentie van den trillingskring.

Het is dus per slot van rekening de door de bron van den anodestroom geleverde energie, die de trillingen van de heterodyne onderhoudt.

In een zender worden de tamelijk zwakke trillingen van de heterodyne versterkt door een krachtigen hoogfrequenten 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 den microfoonstroom. Deze laatste is meestal te zwak om de hoogfrequente trilling te kunnen moduleeren. Men versterkt hem dan ook in een modulatieversterker alvorens hem aan de modulatortrap door te geven. En zoo ziet dan het principe-schema van een radiozender er uit: figuur IV.

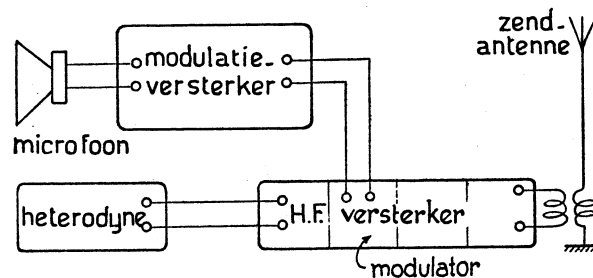


Fig. IV. Samenstelling van een radiozender.

TOELICHTING BIJ HET TIENDE GESPREK.

DE TELEFOON.

Terwijl de keten der draadlooze 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. V) bestaat uit een electro-magneet 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 laagfrequente stroomen, die de wikkelingen van den electro-magneet doorloopen, vergrooten en verkleinen afwisselend den 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 zoo teweeggebrachte trillingen worden overgebracht op de omringende luchtlagen, waarna zij zich in den vorm van geluidsgolven voortplanten. Als geen der talloze bewerkingen, die de stroom tusschen de microfoon van den zender en de telefoon van den ontvanger heeft ondergaan, hem vervormd heeft, zal het door de telefoon weergegeven geluid gelijk zijn aan dat, wat aan de microfoon werd medegedeeld.

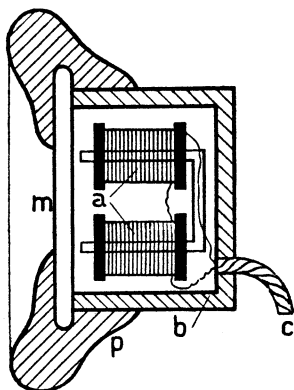


Fig. V. Samenstelling van een telefoon. a = electro-magneet; m = membraan; p = oorschelp; b = telefoon-huis; c = snoer.

DETECTIE.

Het is juist de laagfrequente stroom, die de telefoon moet doorloopen. Het zou nergens toe dienen te trachten, een gemoduleerden hoogfrequenten stroom te beluisteren. Het te trage membraan zou weigeren op een zoo hoge frequentie te gaan trillen. Als het dat, als door een wonder, toch zou doen, zou het voortgebrachte „geluid” een zoo hoge frequentie hebben, dat ons oor het niet kon waarnemen Maar voor alles, de hoogfrequente stroom kan niet door de wikkelingen van de telefoon loopen, die er een te hoge inductieve reactantie voor vormen. Drie redenen, elk op zichzelf reeds voldoende, brengen ons er dus toe den omgekeerden weg van de modulatie te volgen: wij dienen uit den gemoduleerden hoogfrequenten stroom het laagfrequente bijmengsel te halen. Die operatie draagt den naam: **detectie**.

Om den laagfrequenten component (= het samenstellend deel) van een gemoduleerde trilling vrij te kunnen maken, is het voldoende dien stroom **gelijk te richten**, d.w.z. alle halve perioden in één richting te onderdrukken. Men krijgt dan stroomstooten in dezelfde richting, die elkaar op de maat van de hoge frequentie opvolgen en waarvan de amplitudo varieert volgens de waarden van de laagfrequente trilling (fig. 41B). Het is voldoende die stroomstooten op te zamelen op de bekleedingen van een condensator met geringe capaciteit, zoodat deze bij ontlading door een telefoon (of iedere andere impedantie) heen, daarin een laagfrequenten stroom veroorzaakt (fig. 41C). Zoo is het algemeene beeld van de detectie. Wij zullen nu van naderbij bekijken, hoe dit in practijk wordt gebracht.

DETECTOREN.

Het gelijkrichten van den stroom gebeurt met behulp van een eenrichting-geleider. Een dergelijke geleider biedt den stroom een betrekkelijk geringen weerstand in één richting, maar een veel grooteren (of zelfs oneindig grooten) weerstand in de tegengestelde richting. De diode is een goed voorbeeld van een dergelijken detector met oneindig grooten weerstand voor de „verboden richting”, want de electronenstroom kan niet loopen 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 den stroom veel gemakkelijker in de eene richting door dan in de andere. Weetal heeft gelijk, als hij zegt, dat iedere ongelijkheid (hetzij natuurkundig, scheikundig of meetkundig) tusschen twee met elkaar in contact zijnde

lichamen een ongelijke geleidbaarheid 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 ongewenscht verschijnsel. Vandaar het gevaar der slecht gemaakte contacten en de noodzakelijkheid bij het bouwen van een radiotoestel te zorgen voor volkomen contacten tusschen de verbindingen door middel van met zorg uitgevoerd soldeerwerk.

Ofschoon de kristaldetector op de diode voor heeft, dat er geen gloeistroom noodig is, kan hij daarentegen slechts zeer zwakke stroomen 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 streekuitzendingen 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 stooten-in-één-richting van den gelijkgerichten stroom op te zamelen, moet een tamelijk geringe capaciteit hebben teneinde voor den laagfrequenten stroom een hoogen weerstand te vormen; anders zou deze er doorheen gaan. De gebruikelijke waarde is 2000 pF.

PLAATDETECTIE.

De roosterbuis maakt het mogelijk gelijktijdig te zorgen voor de detectie en de versterking van de gemoduleerde trilling. Te dien einde wordt de gelijk te richten trilling aangelegd tusschen 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 den plaatstroom, terwijl de positieve halve perioden aanleiding geven tot een groote toename van den plaatstroom. Dit zal dus opnieuw het beeld geven van de serie eenzijdige hoogfrequente stroomstooten met een ongelijke amplitudo. Een in den plaatkring geschakelde condensator, die door deze stroomstooten wordt geladen, zal ze afstaan aan de telefoon (of een andere impedantie) in den vorm van een laagfrequenten stroom. Op die wijze werkt **de detectie door middel van instelling in de onderste bocht van de karakteristiek**. Verder heeft zij nog een versterking van het signaal ten gevolge, terwijl bij zeer zwakke signalen een hinderlijke vervorming kan optreden.

TOELICHTING BIJ HET ELFDE GESPREK.

HOOGFREQUENT- EN LAAGFREQUENTVERSTERKING.

In de meeste ontvangtoestellen vindt de versterking zoowel voor als na de detectie plaats. De hoogfrequente trillingen moeten versterkt worden, opdat de aan den 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 den detector aangelegde spanning om de een of andere reden (bv. als de zender te zwak is of te veraf ligt) beneden die drempelspanning

138 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 hooren; zij dient bovendien voor het vergrooten van de **gevoeligheid** van het toestel. Bovendien richt men het zoo in, dat de verbindingskringen tusschen de H.F.-versterkerbuizen bijdragen tot de toename van de selectiviteit van het ontvangtoestel.

De gelijkgerichte spanning is gewoonlijk te zwak om onmiddellijk aan een luidspreker te worden doorgegeven. Deze eischt een vrij groote energie, hetgeen er toe leidt den laagfrequenten stroom na de detectie te versterken. Een triode versterkt met hetzelfde gemak de H.F.- als de L.F.-spanningen. Aangelegd aan den ingang van de buis (tusschen rooster en kathode) veroorzaakt een veranderlijke spanning variaties in den anodestroom. Indien wij den versterkten stroom nogmaals een versterking willen doen ondergaan in een tweede buis, moeten wij eerst den veranderlijken stroom in een veranderlijke spanning omzetten (transformeeren).

TRANSFORMATOR.

Die bewerking kan op verschillende manieren geschieden. Een der gebruikelijkste is, haar toe te vertrouwen aan een **transformator**. Laten we ons herinneren, dat een transformator niets anders is dan een geheel van twee door inductie gekoppelde spoelen. Als wij een veranderlijke spanning aan een der spoelen (of wikkelingen) aanleggen, die wij de **primaire** zullen noemen, zal in de andere spoel (de **secundaire**), een geïnduceerde spanning van denzelfden vorm optreden. Als de twee spoelen 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 zooveel windingen als de primaire, dan zal de spanning daarin het dubbele bedragen van die der 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 tusschen 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 den transformator **spanningsverhooger**, in het tegengestelde geval **spanningsverlager**. De verhouding van het aantal windingen van de secundaire tot dat van de primaire heet de **transformatieverhouding**. Voor een spanningsverhooger ligt deze boven 1, voor een verlager beneden 1.

Aangezien ijzer een hooge magnetische doordringbaarheid (**permeabiliteit**) bezit, bevatten de transformatoren voor laagfrequente trillingen een ijzeren kern. Opdat zich niet te groote inductiestroommen (z.g. **Foucaultsche** stroommen) in de kern zullen ontwikkelen — zij zouden de oorzaak zijn van een ongewenscht energieverlies — is de kern niet massief, doch bestaat uit dunne en 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 ijzer te nemen om groote energieverliezen te voorkomen: men moet de kern samenstellen uit ijzerpoeder, waarbij ieder microscopisch klein korreltje van de omringende korreltjes gescheiden moet worden door een isoleerende stof.

Tenslotte is in transformatoren voor zeer hoge frequenties alle ijzer ver-

*) H.F. = Hoogfrequent, boven ± 20 kHz.
L.F. = Laagfrequent, beneden ± 20 kHz.

boden. 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 electrisch veld zijn geplaatst).

TRANSFORMATORKOPPELINGEN.

Om als koppeling tusschen twee buizen te dienen wordt de transformator als volgt geschakeld: de primaire aan den uitgang van de eerste buis, (tusschen de anode en de positieve klem van de bron der anodespanning), de secundaire aan den ingang van de tweede buis (tusschen rooster en kathode). Alzoo veroorzaken de veranderingen in de sterkte van den anodestroom in de primaire, veranderlijke spanningen in de secundaire, die dus werkzaam zijn aan den ingang van de volgende buis.

AUTOMATISCHE NEGATIEVE ROOSTERSPANNING.

Een gemeenschappelijke bron van de anodespanning dient voor de voeding van alle buizen in het ontvangtoestel. Wat de negatieve voorspanning van de roosters betreft, deze wordt verkregen door den **spanningsval**, dien de anodestroom veroorzaakt in een weerstand, ingeschakeld tusschen de kathode van iedere buis en de negatieve klem van de anodespanningsbron.

„Spanningsval” is de spanning, die verkregen wordt tusschen de uiteinden van een weerstand, door den stroom, die er doorheen loopt. Volgens de Wet van Ohm is die spanningsval gelijk aan het product van stroomsterkte (in amp.) en weerstand (in ohms) $E = I \times R$. Schakelen wij dus tusschen de kathode en de negatieve klem van de plaatspanning een weerstand van 2000 Ω , dan zal een anodestroom van 0,003 A daarin een spanningsval veroorzaken van $0,003 \times 2000 = 6$ V.

De stroomrichting wijst aan, dat het uiteinde van den weerstand, dat aan de negatieve klem van de plaatspanning is verbonden, aldus negatief wordt t.o.v. de kathode. En juist aan dat eind verbinden wij den roosterkring, zoodat ook het rooster negatief wordt ten opzichte van de kathode.

Nu ontstaat er echter een nieuwe moeilijkheid. Terwijl de negatieve rooster-voorspanning een zoo constant mogelijke waarde moet hebben, is de anodestroom, die den spanningsval tot stand brengt, veranderlijk, tenminste als een veranderlijke spanning aan den ingang van de buis wordt aangelegd. Dus, onder die omstandigheden wordt ook de spanningsval, die voor de roostervoorspanning moet zorgen, veranderlijk. Hoe daarmee te handelen?

SCHEIDING VAN DE COMPONENTEN.

Gaan wij nu den vorm van den plaatstroom nader onderzoeken, dan zien wij, dat, terwijl hij slechts in één richting kan loopen — daar de electronenstroom in de buis alleen van de kathode naar de anode kan gaan — zijn sterkte varieert overeenkomstig de variaties van de roosterspanning. Bij meer nauwkeurige beschouwing kan men aannemen, dat de plaatstroom uit twee afzonderlijke stroomen 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 den plaatstroom varieren rondom de waarde van den gelijkstroomcomponent; de positieve halve perioden worden er bijgeteld, de negatieve er afgetrokken.

Het beeld, dat onze geest zich kan vormen over de samenstelling van den 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-

140 einde deze constant te houden is het echter voldoende, dat de spanningsval uitsluitend samenhangt met den gelijkstroomcomponent van den anodestroom. Wat den wisselstroomcomponent aangaat, wij zullen hem beletten den kathode-weerstand te doorloopen, door hem af te leiden via een condensator. Wanneer deze een tamelijk groote capaciteit heeft, biedt hij den 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 den condensator des te hooger moet zijn, naarmate de frequentie lager is, opdat de capacitive reactantie, die hij voor den wisselstroomcomponent vormt, niet te groot is. Aan den anderen kant: hoe lager de kathodeweerstand is, des te grooter moet de capaciteit zijn, opdat de wisselstroomcomponent er werkelijk belang bij heeft, zich van den weg door den condensator te bedienen. Zoo zou Weetal het tenminste uitdrukken.....

L.F.- EN H.F.-TRANSFORMATOREN.

Na deze uiteenzetting over de voedingsproblemen keeren wij tot onzen transformator terug. Wanneer hij voor de lage frequentie bestemd is, bevat hij een groot aantal windingen (enkele duizendtallen) in iedere spoel. Tusschen de windingen vormen zich capaciteiten, evenals tusschen de beide wikkelingen. Er worden verliezen geleden ten gevolge van Foucaultsche stroomen en door andere oorzaken. Dat alles maakt, dat niet alle frequenties in dezelfde mate worden overgebracht: de transformator bewerkstelligt een zekere vormverandering. Hij moet van een zeer goede kwaliteit zijn, opdat die vervorming zoo gering mogelijk blijft. Het zou ideaal zijn, als alle geluidsfrequenties op gelijke wijze werden overgebracht; maar dat is slechts een ideaal.....

Een dergelijke eisch voor den L.F.-transformator zou ontoelaatbaar zijn voor den H.F.-transformator, waar men er naar streeft één enkele frequentie te bevoordeelen, nl. die van den gewenschten zender, met onderdrukking van alle andere. De hoogfrequenttransformatoren moeten dus selectief zijn. Te dien einde stemt men af met behulp van variabele condensatoren, hetzij één der wikkelingen (primaire of secundaire), hetzij beide.

BALANSSCHAKELING.

Tot besluit van het hoofdstuk over de versterking door transformatoren blijft er nog één schakeling ter bestudeering over. Weetal is hieraan stilzwijgend voorbijgegaan, ofschoon die schakeling zeer bekend is en dat ook verdient te zijn. Het betreft hier de zg. symmetrische of balansversterking.

In deze schakelwijze (fig. VI) beïnvloedt de eerste buis L_1 door den transformator TR_1 gelijktijdig de beide buizen L_2 en L_3 , die den eigenlijken balans-trap vormen. De teekening geeft duidelijk de volkomen symmetrie van de schakeling weer, waarvan wij nu de werking zullen onderzoeken.

De twee buizen L_2 en L_3 zijn doorlopend onderhevig aan tegengestelde rooster-spanningen, want als tijdens de eene halve periode de electronen 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 eene toe, dan neemt de andere af. Om de anodestroom met tegengestelde veranderingen nuttig te gebruiken, wendt men een tweeden transformator TR_2 aan met een aftakking middenin de primaire. De stroom van elke buis doorloopt dus slechts

één helft van de primaire. Hoewel die stroomen in tegengestelde richting de beide helften van de primaire doorlopen, maar aan den anderen kant ook hun veranderingen tegengesteld zijn, zullen hun invloeden in de secundaire 141

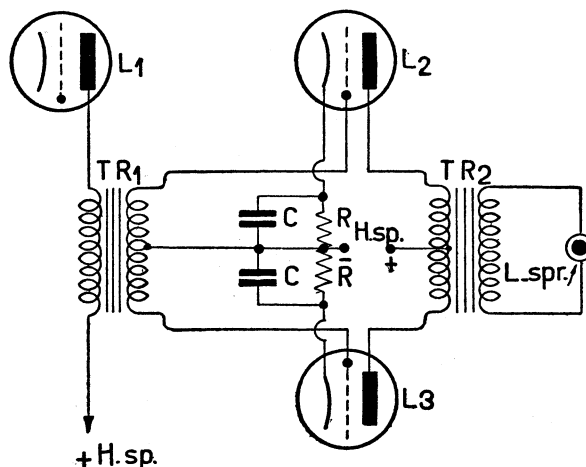


Fig. VI. Schema van de balansschakeling.

van TR₂ elkaar ondersteunen en zij kunnen dus bij elkaar worden opgeteld. Zoo induceeren de beide wisselstroomcomponenten in de primaire door samenwerking in de secundaire een spanning, die een stroom door den luidspreker (L.spr.) ten gevolge heeft.

Terwijl de wisselstroomcomponenten der anodestroomen 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 voordeelen van de balansschakeling. Door de afwezigheid van een gelijkstroomveld werkt de kern van den transformator onder de gunstigste voorwaarden, het geheele magnetische vermogen is uitsluitend van de wisselstroomcomponenten afkomstig. De doordringbaarheid van het ijzer, die afneemt als de veldsterkte toeneemt, is hier veel grooter dan bij aanwezigheid van een constant veld, opgewekt door den gelijkstroomcomponent.

En zoo kunnen wij nog andere voordeelen opsommen. Dank zij de tegengestelde werking der twee buizen worden bv. bepaalde vervormingen ten gevolge van de bocht in de karakteristiek (niet-lineaire vervormingen) genutraliseerd.

DIVERSE VERSTERKINGSSYSTEMEN.

Bij deze schakeling 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 versterkingsbuizen, die wij hiervoor hebben onderzocht, gebedigd werd. In dit geval geven alleen de positieve halve perioden van de roosterspanning aanleiding tot overeenkomstige veranderingen van den anodestroom. De beide buizen werken dan om de beurt. In den uitgangstransformator TR₂ zullen echter de complete variaties weer samengesteld worden, want

142 de halve perioden volgen elkaar daar elk met haar eigen richting op. Bij deze werkwijze (in klasse B) kan men aan de roosters wisselspanningen aanleggen met een veel hogere amplitudo — ongeveer het dubbele — dan bij

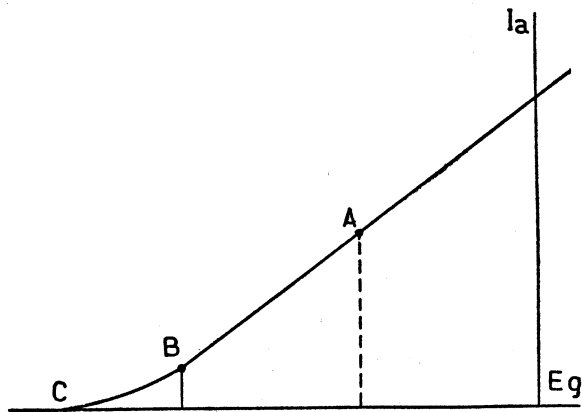


Fig. VII. De werkpunten van versterkingsbuizen in de klassen A, B en C.

klasse A, d.w.z. in het gebruikelijke versterkingssysteem, waarbij het werkpunt bepaald dient te worden middenin het rechtlijnige deel van de karakteristiek. Bij een balansversterking in klasse B worden de buizen ten volle gebruikt en men werkt dan met een grootter rendement dan bij klasse A. Natuurlijk kan het werkpunt van de buizen in een balansschakeling in elk ander punt tusschen A en B worden gekozen. Men zegt dan, dat de buizen werken in de klasse A/B (fig. VII).

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 zenders of in meetapparaten.

TOELICHTING BIJ HET TWAALFDE GESPREK.

IMPEDANTIEKOPPELINGEN.

In dit gesprek hebben onze vrienden de tweede groep koppelingen tusschen de buizen besproken: de impedantiekoppelingen.

Het principe is eenvoudig: In den anodekring van de eerste buis wordt een impedantie geplaatst. De anodestroom veroorzaakt daarover, zooals wij weten, een veranderlijken spanningsval, omdat de stroom zelf een veranderlijken 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, dat veranderd wordt met de oogenblikswaarden van het signaal) bepaald met

behulp van een lekweerstand, die verbonden is aan de negatieve klem van de hoogspanningsbrou (— H.sp.) 143

De waarde van den koppelcondensator, die geplaatst wordt tusschen de anode van de eerste buis en het rooster van de volgende buis, moet voldoende zijn om den wisselcomponent zonder moeite te laten passeeren. Voor de hoogfrequenttrilling is 500 pF voldoende, maar voor de laagfrequenttrilling, 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 Ω is een der meest gebruikelijke waarden.

WEERSTANDSVERSTERKERS.

Wat de impedantie van den anodekring betreft, het eenvoudigst is, die te maken van een Ohmschen weerstand. Die oplossing wordt algemeen toegepast voor L.F.-versterking in de tegenwoordige toestellen. Voor H.F. is zij onaanvaardbaar, daar zij voor de selectiviteit in het geheel geen voordeelen biedt. Voor 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 den plaatkringweerstand is van verschillende factoren afhankelijk, vooral van den inwendigen weerstand van de buis. Al naar gelang het type van de toegepaste buis bedraagt de weerstand eenige tienduizenden of honderdduizenden ohms.

Wij moeten vooral niet vergeten, dat ook de gelijkstroomcomponent van den plaatstroom een spanningsval in dezen weerstand teweegbrengt en zulks ten koste van de werkzame spanning tusschen anode en kathode. Als dus de hoogspanningsbron er een van 250 V is, de plaatweerstand 150 000 Ω bedraagt en als de gemiddelde anodestroom 0,6 mA (= 0,0006 A) is, zal de spanningsval $0,0006 \times 150\,000 = 90$ V zijn.

Tusschen anode en kathode blijft dan slechts $250 - 90 = 160$ V over.

L.F.-SMOORSPOELVERSTERKING OF VERSTERKING DOOR EEN INDUCTIEVE REACTANTIE.

Het gebruik van een inductieve reactantie in plaats van een Ohmschen weerstand maakt het mogelijk het gelijkspanningsverlies zeer belangrijk te verminderen, waardoor deze oplossing bijzonder geschikt wordt, wanneer men beschikt over een betrekkelijk zwakke bron voor den anodestroom.

T.o.v. den weerstandsversterker heeft de versterking door een inductieve reactantie echter het nadeel de hoge tonen te begunstigen ten koste van de lage. Doordat de inductieve reactantie evenredig is met de frequentie, ontwikkelen de hoogste frequenties in de inductieve reactantie verhoudingsgewijs hoge spanningen, derhalve groote versterking van de hoge tonen. In de practijk hebben vakkundig gemaakte L.F.-spoelen de besproken fout slechts in geringe mate; men behoeft daarom de versterking door een inductieve reactantie niet te verwerpen, omdat zij de oorzaak zou zijn van ontoelaatbare vervormingen.

ANDERE IMPEDANTIESCHAKELINGEN.

In H.F.-kringen wordt de versterking door een inductieve reactantie 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 het signaal afgestemden trillingskring. Wij hebben hier dan te doen met een koppeling door middel van een afgestemden kring (fig. 57) met kleinen Ohmschen weerstand maar met een groote impedantie voor de wisselstroom met de resonantiefrequentie. Geen noemenswaardige gelijkspanningsval, toegenomen selectiviteit, een goede versterking, ziedaar de

144 voornaamste eigenschappen, die voor deze schakeling pleiten, welke men wel eens „sperkringen” noemt.

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, zooals die van figuur VIII. In deze schakeling vertakken de twee componenten van den anodestroom zich bij den uitgang van de buis. Terwijl de gelijkstroomcomponent gebruik maakt van den weg door den weerstand R, doorkruist de veranderlijke component den koppelcondensator C en de primaire van transformator T en wekt alzoo in de secundaire de veranderlijke spanningen op, die tusschen rooster en kathode van de volgende buis komen. Het voordeel van deze werkwijze is gelegen in het feit, dat door den transformator geen gelijkstroom loopt en dus de kern onder de gunstigste voorwaarden werkt. (Dat is ook, zooals men zich zal herinneren, een der

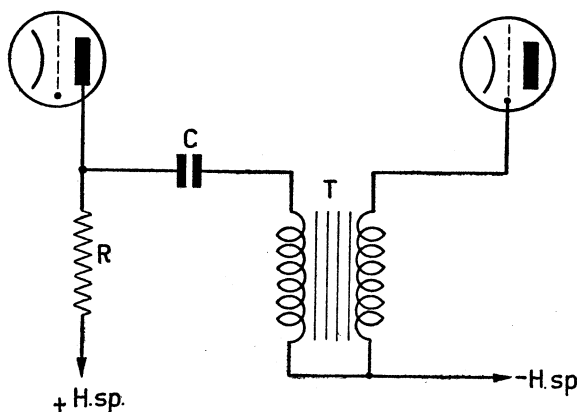


Fig. VIII. Gemengde koppeling met parallel geschakelde weerstand en transformator.

voordeelen van de balansschakeling.)

Tot nu toe hebben wij bij de bestudeering van de verschillende koppelingssystemen tusschen 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 met meer dan drie electroden, zooals wij die later zullen onderzoeken. Het geval van de diode dient echter apart bekeken te worden.

KOPPELING DOOR EEN DIODE.

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 den detector een of meer buizen voor de laagfrequentversterking.

De verbinding tusschen de diode en de volgende buizen geschiedt met behulp van een weerstand, die in den kring wordt geschakeld op de plaats van de telefoon (vergelijk de figuren 39 en 58). 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

denzelfden bol en met een gemeenschappelijke kathode een diode en een triode bevatten, welke dienen als eerste laagfrequentversterker. (Er bestaan zelfs buizen, die twee dioden en één penthode bevatten, zooals wij later zullen zien.)

De schakeling van een gecombineerde detector-versterkerbuis is dezelfde als in het geval, dat men twee afzonderlijke buizen gebruikt (vergelijk fig. 58 en 59). Daar de versterker behoefte heeft aan negatieve voorspanning, wordt de lekweerstand R_2 verbonden aan het negatieve einde van den kathodeweerstand R_3 . Maar de anode van de diode moet niet op een negatieve potentiaal gebracht worden; ook de diodeweerstand R_1 is rechtstreeks aan de kathode gekoppeld.

„ROOSTERDETECTIE.”

In plaats van de laagfrequentspanning naar het rooster te voeren door den koppelcondensator C_2 heen, kan men het rooster en de plaat van de diode samenvoegen in een enkele electrode. Men krijgt dan een triode **voor roosterdetectie**, geschakeld zooals figuur 60 of de gelijkwaardige varianten in figuren 61 en 61a ons dat laten zien. Die combinatie van detectie en versterking, vroeger erg in trek, wordt ook tegenwoordig nog vaak toegepast. Zij biedt voordeelen, zowel door haar eenvoud als door haar gevoeligheid. Zij is echter niet heelemaal vrij van vervorming, alleen al door het feit, dat het rooster geen onveranderlijke negatieve voorspanning kan krijgen, hetgeen wenschelijk zou zijn voor de werking als versterker.

Merk nog op, dat bij deze schakeling de gebruikelijke waarden voor de detectoronderdeelen zijn: R_1 van de grootte van 1 megohm, C_1 van 50 tot 150 pF.

HET AANTAL L.F.-TRAPPEN.

Een buis met de plaatkringimpedantie vormt een **trap** van een ontvangtoestel. In de balansversterking vormen de beide buizen met den 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 laagfrequentbuis** genaamd en door een eindtrap, die de **eindbuis** wordt genoemd; de rol van deze buis (of van beide buizen, in geval van balansschakeling), is het afgeven van voldoende energie om den luidspreker in werking te brengen. Soms wordt maar één laagfrequenttrap gebruikt, gevormd door een buis, die dan zorgt voor voldoende versterking en energie.

TOELICHTING BIJ HET DERTIENDE GESPREK.

TERUGKOPPELING.

In het negende gesprek hebben wij al gelegenheid gehad de uitwerking te onderzoeken van een koppeling tusschen den plaat- en den roosterkring van dezelfde buis. Dank zij een dergelijke verbinding, **terugkoppeling** genaamd, beïnvloedt de plaatkring den roosterkring door daarin bij iedere verandering van den anodestroom een inductiespanning op te wekken. Die spanning kan het signaal, dat in den roosterkring aanwezig is, ondersteunen; om zoo'n fasegelijkheid te krijgen is het voldoende, dat door de windingen van een

146 dergelijke terugkoppelspoel de anodestroom in de juiste richting loopt.

Als de koppeling tusschen de beide kringen vast genoeg is, is de in den roosterkring door den plaatkring teruggebrachte energie voldoende om de verliezen te vergoeden, die daar geleden worden en om de trillingen te onderhouden, die van deze schakeling een waren zender maken.

Maar wanneer de koppeling tamelijk los is, zal de **terugkoppeling** ontoereikend zijn om bij te dragen aan het ongedempt houden der trillingen. Toch zal, doordat zij een grooter of kleiner deel van de verliezen in den roosterkring vergoedt, de terugkoppeling het mogelijk maken de demping in dien kring te verminderen. De veranderlijke spanningen, die daarin opgewekt worden door een voorafgaande buis of door den antennestroom, zullen nu dus een hogere waarde bereiken dan bij afwezigheid van de terugkoppeling.

Doordat de roosterspanning den plaatstroom beïnvloedt en deze weer terugwerkt op den 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.-versterkingstrappen.

DETECTOREN MET TERUGKOPPELING = TERUGGEKOPPELDE DETECTOREN.

De klassieke toepassing van de terugkoppeling wordt voorgesteld door den teruggekoppelden detector, eventueel gevolgd door één of meer trappen laagfrequentversterking. 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, waar de buis zelf trillingen zou gaan opwekken. De heele kunst van 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 verhoogen van de gevoeligheid, de geluidswaergave opgeofferd wordt, want op de genereergrens wordt de kring te selectief, hetgeen leidt tot verzwakking der hoogste tonen (later zullen wij de oorzaak daarvan wel zien). Maar ja, wat doet een beginnend amateur al niet om Honoloeloe eens te hooren.....?

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 één der beide spoelen beweegbaar 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 den hoogfrequenten stroom, die de terugkoppelspoel doorloopt. Te dien einde deelt men den weg van den anodestroom in tweeën door in een der leidingen de terugkoppelspoel te plaatsen in serie met een variablen condensator. Deze laatste zal niet alleen den gelijkstroomcomponent van dien anodestroom tegenhouden, maar ook, als hij van geringe capaciteit is, den laagfrequenten component. De tweede aftakking zal dezen 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 passeeren van den H.F.-component, terwijl de L.F.-component vrij doorgang zal vinden. De variabele condensator in serie met de terugkoppelspoel maakt het mogelijk de sterkte van den hoogfrequenten stroom, die er door 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 algemeene 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 tusschen twee spoelen: de rol van den condensator beperkt zich tot die van een kraan, die de grootte van den hoogfrequenten stroom regelt.

Men kan ook de werkelijke capacitieve terugkoppeling onder het oog zien, als men een variablen condensator tusschen 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. 66), waarbij het rooster en de plaat, zoowel door de capaciteit van den afstemcondensator zijn gekoppeld, als door de inductie van de helft van de afstemspoel op de heele spoel. De regeling van de terugkoppeling wordt daarbij verzorgd door een variablen condensator C_1 .

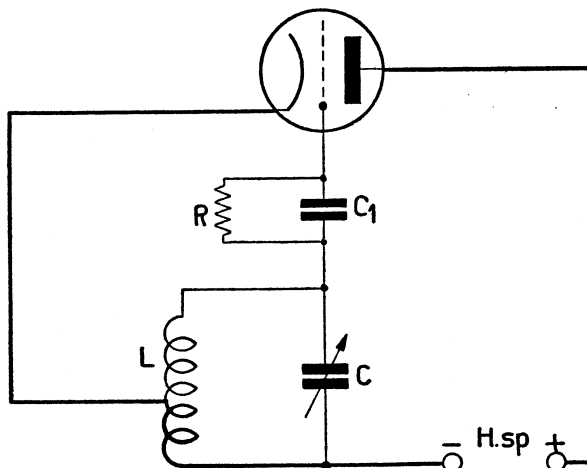


Fig IX. Schema van den E.C.O. Het traject van den plaatstroom is met dikkere lijnen aangegeven.

Met het Hartley-schema kan men dat van den oscillator met elektronenkoppeling vergelijken (fig. IX). Gewoonlijk wordt deze schakeling naar het Engelsch de **Electron Coupled Oscillator** of kortweg **ECO***) 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 geteekende spoelgedeelte wordt door den geheelen H.F.-component doorloopen. Zeker, het effect van de terugkoppeling zou regelbaar worden, als men de aftakking aan de spoel veranderlijk maakte, zoodat men het aantal windingen, waardoor de stroom van de terugkoppeling loopt, kon veranderen.

*) Men komt hier meer op het terrein van de zendtechniek, waar Amerika den toon aangeeft, zoodat men vaak Engelsche benamingen zal aantreffen. (Vert.)

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 ongewenschte koppelingen kunnen in drie groepen worden ondergebracht: inductieve, capacitieve en die door een gemeenschappelijken weerstand. De laatste categorie zal het onderwerp voor het volgende gesprek van onze vrienden zijn. De koppelingen door een inductie of een capaciteit hebben overal plaats, waar de onderdeelen van den plaatkring van een buis zeer dicht bij de onderdeelen 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 electroden van een buis vormen, ondanks hun geringe afmetingen, onderling capaciteiten en ook tusschen de aangrenzende onderdeelen van de schakeling. Als de aldus ontstane koppelingen van de „goede” richting zijn, d.w.z. van uit de plaat in de roosterkringen spanningen ten gevolge hebben, die in phase zijn met de daar reeds aanwezige, zullen er bij een zekere mate van koppeling ongewenschte, 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 onderdeelen, 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 heele 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 electromagnetische velden onderschept en de storende koppelingen voorkomen. De metalen buizen zijn al afgeschermd doordat de ballons van metaal zijn. 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.

DE TETRODE.

Men gaat zelfs zoover, dat men een afscherming binnen in de buis aanbrengt tusschen rooster en anode. Opdat de electronen echter vrij kunnen passeeren, heeft die afscherming het uiterlijk van een traliewerk, dat men **schermrooster** noemt. Zoo zien dan de buizen met vier electroden of de **tetroden** er uit. Om de electronen 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 den electronenstroom.

Door de aanwezigheid van dit tweede rooster wordt de schadelijke capaciteit tusschen anode en rooster practisch tot niets teruggebracht en zoo vervalt een der hinderlijkste oorzaken van het genereeren. Aan dit voordeel der scherm-

roosterbuizen kunnen wij nog toevoegen den vergrooten versterkingsfactor, die tot 1000 kan stijgen. 149

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 geringen invloed uit op den 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 hooge waarde van K in de oorspronkelijke betrekking $K = \rho \times S$ te voldoen, ook ρ hoog zijn. Inderdaad is dan ook de inwendige weerstand van de tetroden zeer hoog, zelfs wel 1 megohm. Om de schermroosterspanning in te stellen, gebruikt men een „spanningsdeeler” (ook wel potentiometer-schakeling genoemd). Men plaatst dan twee weerstanden in serie tusschen de klemmen van de hoogspanningsbron. Naar gelang van de gezamenlijke waarde van die twee weerstanden zal er een sterkere of zwakkere stroom door loopen, die in elk ervan een spanningsval veroorzaakt in verhouding tot de waarde van den weerstand. (De som der beide spanningsvallen is natuurlijk gelijk aan de spanning van de bron.) Het gemeenschappelijke punt van de beide weerstanden zal zich dus op een gemiddelde spanning bevinden, die men op de gewenschte waarde kan vaststellen door een juiste keuze der weerstanden. Aan dat gemeenschappelijke punt verbinden wij nu het schermrooster. Als dit er in slaagt een aantal electronen 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, tusschen dit rooster en de kathode geplaatst, den veranderlijken component van den stroom direct naar de kathode afleiden.

DE SECUNDAIRE EMISSIE.

Als de electronen aan het eind van hun snelle verplaatsing de anode bereiken, zullen door deze botsing uit de atomen van de plaat electronen weggerukt worden, die dan de ruimte worden ingesmeten. De stroom van die, door de anode ten gevolge van het electronenbombardement uitgezonden, electronen draagt den naam van **secundaire emissie**. De snelheid dezer secundaire electronen is betrekkelijk gering en na een korte reis komen zij bij de anode terug, die, positief zijnde, aantrekkingskracht op hen uitoefent. Zoo 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, zoodat de secundaire electronen in plaats van op de anode terug te keeren, 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 den normalen anodestroom en moet er bijgevolg afgetrokken worden. Een in den plaatkring geplaatste milliampèremeter zal een stroomsterkte aanwijzen, die gelijk is aan het verschil tusschen den normalen plaatstroom en den secundairen 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 den plaatkring is geschakeld. Dus, als de wisselspanning aan het rooster een zekere waarde overschrijdt, kan de amplitudo van de veranderingen in den plaatstroom zoodanig worden, dat de spanningsval in

150 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 zoojuist ontleed hebben.

PENTODE.

Het middel is eenvoudig: tusschen het schermrooster en de anode plaatst men een rooster, dat op de potentiaal van de kathode wordt gebracht. Dit keer- of remrooster zal een remmenden invloed hebben op de primaire electronen tijdens hun snellen rit van de kathode naar de plaat. En omdat zij veel langzamer zijn, zullen de secundaire electronen door dit remrooster worden tegengehouden en zij zullen dan wel zoo wijs zijn weer naar de plaat terug te keeren.

De zoo samengestelde vijfelectrodenbuis of pentode is dus beveiligd tegen het optreden van de secundaire emissie. Afgezien van deze kwestie bezit de pentode dezelfde eigenschappen en voordeelen als de tetrode. De pentode is tegenwoordig de meest gebruikte buis, zoowel bij de H.F.- als de L.F.-versterking. In beide gevallen zorgt zij voor een zeer groote versterking. In de H.F.-versterking biedt zij bovendien nog het voordeel van een zeer geringe capaciteit tusschen rooster en plaat, waardoor het parasitair genereeren 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 algemeener: door impedanties), die sommige kringen gemeen hebben.

Als door dezelfde impedantie (al was het alleen maar de hoogspanningsbron) de veranderlijke stroomen van verschillende buizen loopen, veroorzaakt elk daarover veranderlijke spanningsvallen, die terugwerken op de spanningen van alle electroden in de buizen. Al naar gelang hun phase kunnen dergelijke koppelingen, evenals de hiervoor bestudeerde, leiden tot het ontstaan van spontane trillingen of, juist tegenovergesteld, de versterking belangrijk verminderen.

Het zijn juist de wisselstroomcomponenten, die de toepassing der 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 plaatstroomen, aan wie een passende **ontkoppeling** het gebruik van gemeenschappelijke leidingen onmogelijk maakt, door hun een voor ieder geschikt traject aan te bieden.

ONTKOPPELING.

De eenige taak van den veranderlijken component van den plaatstroom bestaat uit het opwekken van een veranderlijke spanning over de koppelimpedantie. Het eenvoudigste is, hem dan weer zijn punt van uitgang (de kathode) te la-

ten bereiken, hetgeen men kan bewerkstelligen met behulp van een condensator van voldoende capaciteit. Om hem te beletten van denzelfden 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 den plaatstroom**: aan den eenen kant laat een condensator den wisselstroomcomponent passeeren en houdt den gelijkstroom tegen, aan den anderen kant verzet een weerstand of een passende zelfinductiespoel, die den gelijkstroom goed doorlaat, zich tegen den doortocht van den wisselstroom.

Voor de ont koppeling maakt men in de aftakking voor den gelijkstroom gebruik van Ohmsche weerstanden en men gebruikt deze weerstanden tevens, om de plaatspanning van elke buis op de vereischte waarde in te stellen, door middel van den spanningsval, die ontstaat in den ont koppelingsweerstand.

Wat de ont koppelingscondensatoren aangaat, hun waarde moet des te hooger zijn, naarmate de frequentie der te ont koppelen stroomen lager is en naarmate de ont koppelingsweerstand kleiner zijn. Voor H.F.-kringen gebruikt men condensatoren ter grootte van $0,1 \mu F$, hetgeen ruim voldoende is, omdat voor een frequentie van 100 kHz (overeenkomend met een golflengte van 300 m) de capaciteieve weerstand slechts 1,5 ohm is. In L.F.-kringen maakt men gebruik van ont koppelingscondensatoren van $20 \mu F$. Die grootte capaciteit is geen overbodige luxe, want hun capaciteieve reactantie bij 50 per/sec bedraagt 150 ohm.

DE PRACTISCHE UITVOERING DER ONTKOPPELINGEN.

Bij de constructie van het toestel moeten de ont koppelingsonderdeelen zoo dicht mogelijk bij de buis en bij de plaatkringimpedantie worden opgesteld, opdat de wisselstroomcomponenten langs den kortsten weg naar de kathode kunnen terugkeeren. In de practijk liggen de ont koppelingscondensatoren niet altijd vlak bij de kathode, maar bij voorkeur bij de negatieve klem van de hoogspanning, hetgeen den wisselstroomcomponent noodzaakt om o.a. den parallel aan den kathodeweerstand geschakelden condensator te passeeren. Die practijk is echter te veroordeelen, want de gezamenlijke capaciteit der twee condensatoren in serie, die de stroom moet doorloopen om bij de kathode te komen, is kleiner dan de kleinste van beide condensatoren. Maar men handelt zoo, omdat het gemakkelijk is alle verbindingen, die naar de negatieve klem van de hoogspanning loopen, op één leiding bijeen te brengen, die dan gevormd wordt door een dikken draad of door het metalen chassis; de eerste oplossing is overigens te prefereeren. Merk nog op, dat ook de afschermingen van de spoelen, buizen en leidingen verbonden moeten worden met de „aarde”, een term, die dient om de gemeenschappelijke verbinding met de minus-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 phase is, dus versterking levert zonder dat de genereergrens wordt overschreden. Zoo ziet men, dat goedkoope toestellen, waarin om economische redenen de ont koppeling is verwaarloosd een zeer groote gevoeligheid kunnen vertoonen. Die tegenstrijdige ontdekking behoeft ons echter niet aan het nut van de ont koppeling te doen twijfelen, want het is verkieselijker zich meester te maken van de terugkoppeling en ze alleen daar opzettelijk toe te passen waar haar invloed noodig geoordeeld wordt en eventueel naar behoefte geregeld kan worden.

TOELICHTING BIJ HET VIJFTIENDE GESPREK.

VOEDINGSPROBLEMEN.

De voeding van een ontvangtoestel maakt twee stroombronnen noodzakelijk: de hoogspanningsbron levert den anodestroom en de laagspanningsbron den 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 zijn gemaakt, worden verzorgd door gelijk- of door wisselstroom.

Wij hebben al geleerd, hoe de negatieve voorspanning wordt verkregen uit de hoogspanning door den spanningsval over een in den kathodekring geschakelden 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 zwakken stroom (met een spanning van 1,5 à 2 V) gebruiken.

HET LICHTNET HEEFT WISSELSTROOM.

Het meest voorkomende geval is dat van den ontvanger, die door het wisselstroomnet wordt gevoed. Een snoer met contactpennen („stekker”) dient om den stroom van een stopcontact naar de primaire van een voedingstransformator te voeren, na den netschakelaar van het toestel gepasseerd te zijn. Een goede voorzorg is het plaatsen van een zekering in dezen kring, die in geval van kortsluiting, na doorsmelting den 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, teneinde de noodlottige gevolgen van overspanning te voorkomen, den transformator aan te sluiten op de klemmen voor 125 volt. Gewoonlijk bevat de voedingstransformator drie secundairen: verhitting van de buizen, verhitting van den gelijkrichter en de hoogspanning. Alle drie hebben zij een aftakking in het midden, tenminste in veel gebruikte schema's. De gebruikte buizen zijn altijd „dubbele gelijkrichterbuizen”; wil men slechts één halve periode gelijkrichten, dan kan men altijd gebruik maken van de mogelijkheid de beide anoden tot één plaat te vereenigen. De buizen werden voorheen met maximaal 4 volt verhit (de Europeesche buizen), terwijl de Amerikaansche 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 verhitting, 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 den anodestroom opwekt, betreft, de uiteinden daarvan worden aan de platen van den gelijkrichter verbonden en zijn middelpunt vormt de negatieve klem van de hoogspanning. Men moet niet uit het oog verliezen, dat bij iedere halve periode de aan den 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 oogenblik 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 secundairen geleverde spanningen op te geven, maar ook

de stroomsterkten. Men moet zich niet vergissen in de juiste beteekenis 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 verhitting in de geleiders. Hoe dikker de draad is, en bijgevolg minder weerstand heeft, des te meer milliampères kan de door dien 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 den totalen weerstand van den kring, dien zij voedt en dan de Wet van Ohm toe te passen.

AFVLAKKING.

De na gelijkrichting verkregen stroom loopt in één richting zonder beslist gelijkstroom te zijn. Om bruikbaar te zijn moet hij afgevlakt worden. Men kan een dergelijken stroom eigenlijk beschouwen als de resultante van twee samenloopende stroomen: een gelijkstroom en een veranderlijken stroom. Het afvlakkingsprobleem is dan terug te brengen tot het volgende: den gelijkstroomcomponent doorlaten en den 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 den gemakkelijksten weg door middel van een condensator aan den veranderlijken component, terwijl men den anderen stroomweg onmogelijk maakt voor de wisselcomponent door het inschakelen van een impedantie, die den gelijkstroom wel doorlaat. In dit geval neemt men als impedantie een inductieve reactantie met betrekkelijk kleinen Ohmschen weerstand, die men in de stroombaan plaatst. De condensator, die dient om den variabelen component af te leiden, wordt parallel aan den gelijkrichter geschakeld. Ten slotte voltooit een tweede condensator, aan den uitgang van het **afvlakfilter** geplaatst, de samenstelling daarvan en maakt het mogelijk het laatste restje van den wisselstroom, ook wel „rimpel” genaamd, dat door de inductieve reactantie had kunnen heendringen, te verwijderen.

Als men behoefte heeft aan een bijzonder verzorgde afvlakking, kunnen twee filters in serie worden geschakeld; in dat geval kunnen de twee middelste condensatoren vervangen worden door één, dien de beide kringen dan gemeen hebben, en waarvan de capaciteit het dubbele moet zijn van die der buitenste condensatoren. Daar de frequentie van den 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 der beide halve aanleiding geeft tot twee volledige perioden — moeten de zelfinducties en de capaciteiten der filters betrekkelijk hooge waarden hebben. De zelfinducties kunnen enkele tientallen henry's bedragen en zij zullen bestaan uit spoelen met ijzerkern. Wat de condensatoren betreft, daar hun capaciteit eenige microfarads bedraagt, zou het gebruik van een overigens goed diëlectricum, zooals paraffinepapier, tot onoverkomenlijke hindernissen leiden. Men bedient zich hier van een speciaal type: den **electrolytischen condensator**.

ELECTROLYTISCHE CONDENSATOREN.

Deze soort condensatoren (fig. X) bevat een vloeistof of een vulmassa, die men **electrolyt** noemt en die gevormd wordt door een zoutoplossing. In dat electrolyt is een aluminium staaf of electrode gedompeld met tamelijk groot oppervlak. Als er een spanning wordt aangelegd tusschen het electrolyt en het aluminium (dit is op een positieve potentiaal gebracht), veroorzaakt de alzoo ontstane stroom de ontbinding van het electrolyt; als gevolg van deze ontbinding omringt een laag aluin het aluminium en, doordat dit op die manier

154 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 dezen condensator is, waarvan het aluminium en de electrolyt de beide bekleedsels voorstellen.

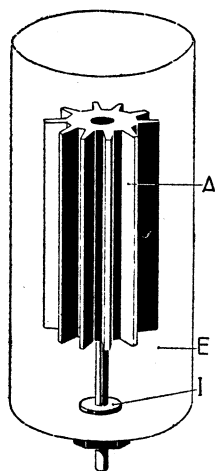


Fig. X. De samenstelling van een electrolytischen condensator. A = geribbelde staaf aluminium; E = electrolyt; I = uitlaatisolator voor de aansluiting van de positieve electrode.

Merk op, dat de electrolytische condensator in tegenstelling met die, welke wij tot nu toe hebben behandeld, gelijkspanning krijgt: het is noodzakelijk de positieve spanning aan de aluminium electrode aan te leggen. Bij omwisseling van de polariteit loopt men gevaar hem te bederven. Aan een dergelijken condensator moet dus geen wisselspanning aangelegd worden (tenzij deze wordt gemengd met een hogere gelijkspanning, die in de goede richting is aangelegd).

Als de electrolytische condensator doorslaat ten gevolge van een te groote oogenbliksspanning (dat wil zeggen, als er tusschen de platen een vonk overspringt), is de condensator nog niet waardeloos, want de aluinlaag herstelt zich onmiddellijk. Van den papiercondensator kan men niet hetzelfde zeggen: het papier verkoolt door de vonk, verliest aldus zijn goede eigenschappen als isolator en er ontstaat tusschen de platen min of meer korsluiting.

De electrolytische condensatoren worden gewoonlijk uitgevoerd in metalen hulzen, die een geleidend geheel vormen met het electrolyt en zoo dienen voor aansluiting aan de negatieve klem. De gebruikelijke waarden van de capaciteit liggen tusschen 8 en 32 μ F.

Men past ze niet alleen in de filters toe maar vooral daar, waar in het laagfrequente gedeelte een ontkoppeling is aangebracht en in de allereerste plaats voor de ontkoppeling van de kathodeweerstanden. In dit verband moeten wij onthouden, dat het meerendeel der eindbuizen (laatste L.F.-trap), die tegenwoordig worden gebruikt, indirect verhit is en zij bijgevolg hun voorspanning betrekken van een in den kathodekring geplaatsten weerstand.

VERHITTING DER 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 oploopen 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 gloeidraadwikkeling van den 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 vereischte waarde, schakelt men de gloeidraden der buizen in serie. (Het is natuurlijk noodzakelijk, dat alle buizen met dezelfde gloei-stroomsterkte 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 geëischt 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 noodig: $4 \times 6,3 + 25 = 50,2$ V.

Heeft het net 110 V, dan moet dus ± 60 V verloren gaan. Als wij aannemen dat de gloeistroom 0,3 A is, hebben wij een „valweerstand”, d.w.z. een voorschakelweerstand noodig 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 den weerstand, hetgeen deze schakeling weinig economisch maakt. Dit is een der oorzaken, waardoor de gelijkstroom minder bruikbaar is. De voorschakelweerstand wordt soms in den 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 den stroom is niettemin noodzakelijk, want wat de electriciteitsbedrijven gelijkstroom noemen, wordt in werkelijkheid vergezeld door een lichte golving, die een goed filter echter zonder veel moeite kan wegwerken.

Daar wij de gelijkspanning niet kunnen verhoogen, moet de spanningsval in de zelfinductie van het filter 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 den gelijkstroom dan ook afvlaksmoorspoelen van tamelijk dik draad (om den Ohmschen 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, electrolytische condensatoren te maken, die meer dan 100 μ .F meten.

„UNIVERSEELE ONTVANGERS.”

Hoewel wij het noodig hebben geoordeeld zoo in onderdeelen de samenstelling te behandelen van toestellen, die door gelijkstroom worden gevoed, is dat niet, omdat deze apparaten zoo algemeen verbreid zijn. Integendeel, het gelijkstroomtoestel wordt zeer zelden vervaardigd. Meer algemeen bekend zijn daarentegen de zg. „universeele ontvangers” (of toestellen met universeele voeding), die aangesloten kunnen worden op gelijk- of wisselstroomnetten met vrijwel hetzelfde gemak als een gewoon electricisch strijkijzer.

De samenstelling van deze toestellen verschilt heel weinig van die, welke wij zoojuist onderzocht hebben in verband met de voeding door gelijkstroom. In de universeelontvangers worden de gloeidraden op geheel overeenkomstige

156 wijze verhit, ofwel in serie geschakeld met tussenplaatsing van een weerstand voor den spanningsval.
 Wat de hoogspanning betreft (fig. XI), alvorens in het filter te komen, door-

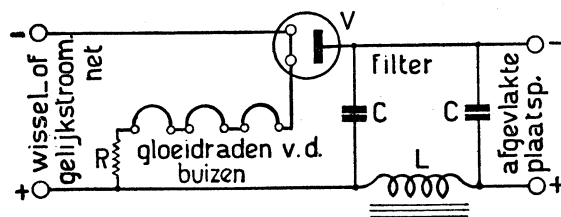


Fig. XI. Het voedingsgedeelte van een z.g. „Universeelontvanger”.

loopt de stroom van het net een gelijkrichterbuis met één plaat, hetgeen men verkrijgt door de beide anoden van een dubbele diode te vereenigen. 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 zoo met de hoogspanning verbonden, dat de gloeidraad van de gelijkrichterbuis aan de positieve zijde geschakeld is en dan zal er geen enkele stroom kunnen doervloeien, waardoor de ontvanger blijft zwijgen, óf wij hebben het toestel op de juiste manier ingeschakeld en nu laten wij den gelijkstroom gemakkelijk passeeren door den 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 tusschen geschakeld. Het net kan echter een vrij hooge potentiaal hebben ten opzichte van de aarde. Men moet de aardleiding dan ook nooit aan zulke ontvangers koppelen zonder tusschenschakeling van een condensator, die een gevaarlijke kortsluiting van de netspanning naar de aarde voorkomt, terwijl de H.F. van de antenne vrijen doorgang heeft.

TOELICHTING BIJ HET ZESTIENDE GESPREK.

DIRECTE VERSTERKING = DIRECTE ONTVANGST.

De tot nu toe bestudeerde ontvangers behooren alle tot de groep ontvangtoestellen met **directe H.F.-versterking**. Gewoonlijk noemt men deze toestellen „directe ontvangers” of „rechtuitontvangers” *). Vóór de detectie 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 ontkop-

*) Vaak ontmoet men den Engelschen naam: **straight set**. (Noot v. d. vert.)

pelings, het parasitair genereeren 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 spontaan genereeren, maar ook ten opzichte van de grootte der versterking zelf. Voor de korte golven bereikt men in het algemeen een minder groote versterking dan voor de langere golven. Bovendien heeft de toeneming 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. De rechthoekontvanger moet slechts gebruikt worden, als men maar een beperkte gevoeligheid eischt. Het systeem is dan ook juist geschikt voor regionale ontvangtoestellen. Het ontvangen van ver 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 den 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 den overgang van den eenen zender op den anderen 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 parasitair genereeren af te wenden.

Daar het principe en de belangrijkste voordeelen van de superheterodyne alzoo omschreven zijn, kunnen wij nu de middelen onderzoeken, die bij de practische uitvoering worden toegepast.

FREQUENTIETRANSFORMATIE MET TWEE BUIZEN.

De verlaging of om nauwkeuriger te zijn, de transformatie van de frequentie is gebaseerd op het „zwevingsverschijnsel”, waarvan de natuurkunde talloze voorbeelden geeft bij de studie over de lichttrillingen (**interferentie**), de acoustische 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 (**superponeeren**) krijgen wij een samengestelde trilling, waarvan de trillingsamplitudo varieert in de frequentie $f_1 - f_2$ (fig. 89); deze laatste frequentie, de **zwevingsfrequentie** genaamd, blijft na detectie 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 hoogfrequentie 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 tusschen de frequentie van de antennetrilling en die van den hulposcillator, en bovendien drager zijn 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 tusschen den afstemkring van de antenne en dien van de heterodyne. Zoo gebeurde het tenminste in de eerste frequentietransformatieschakelingen (fig. 91). Deze wijze van

158 werken heeft echter een ernstig bezwaar: de generator loopt gevaar te „synchroniseeren” met den antennekring, d.w.z. hij begint op de frequentie van laatstgenoemden 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 tusschen den H.F.-afstemkring en den generatorkring onmogelijk gemaakt worden. Men maakt te dien einde gebruik van afscherming en ont koppeling, terwijl de trillingen gesuperponeerd (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 den hulposcillator. Er is dus wel vermeniging en daar de buis de resulterende trilling samenstelt, vinden wij in haar plaatstroom den gezochten M.F.-component (fig. 92).

OSCILLATOR-MENGBUIZEN.

Dezelfde buis kan gelijktijdig de functies vervullen van modulator en oscillator. Het is voldoende, achter het voor de hulptrillingen bestemde rooster een kleine hulpanode te plaatsen, waarvan de stroom door middel van een terug-

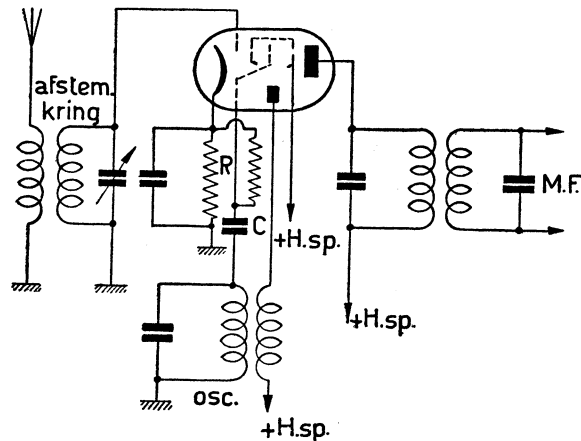


Fig. XII. Frequentie-transformatie door een triode-hexode.

koppelspoel zal dienen voor het instandhouden van de hulptrillingen (fig. 94). Een zoo samengestelde buis zou dus een dubbele triode worden, de eerste triode zou als oscillator, de tweede als modulator- of mengbuis geschakeld worden.

De capaciteiten tusschen de electroden van een dergelijke buis zouden echter voldoende zijn om koppeling tusschen de kringen en diensgevolge meetreeffect te veroorzaken. Men plaatst dan ook om het tweede rooster (het **signaalrooster**) twee schermroosters, die op een hooge positieve potentiaal zijn gebracht en zoo verkrijgt men een buis met zeven electroden: de **heptode**. Om de secundaire emissie van de voornaamste anode te vermijden, kan men tusschen die anode en het tweede schermrooster een keer- of remrooster plaatsen, waardoor het aantal electroden 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 oscilleeren en mengen, die de frequentietransformatie eischt. Zoo kan een buis twee afzonderlijke groepen electroden bevatten, die een gemeenschappelijke kathode hebben, waarvan de eerste dient voor opwekking van de hulptrillingen, terwijl de tweede groep bestemd is voor het mengen. Dit is het geval bij de triode-hexode (fig. XII), waarin de triode als oscillator is geschakeld en de **hexode** (een buis met zes electroden) als mengbuis.

Onthoud nog, dat de hulptrillingen aan het derde rooster van de hexode medegedeeld worden door een zeer korte verbinding, die in de buis zelf is aangebracht.

VERSTERKING VAN DE MIDDENFREQUENTIE.

De hulpgenerator wordt altijd zoo afgestemd, dat het verschil tusschen zijn frequentie en die van het in den afstemkring ontvangen signaal 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 472 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 golfbereiken 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 den koppeltransformator met de mengbuis verbinden en twee, die den versterker met den detector verbinden (want na de M.F.-versterking, wordt de trilling in den detector gelijkgericht en daarna versterkt).

Men kan gemakkelijk begrijpen, hoe aan den eenen 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 onderdeelen, 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 **afregelcondensatoren**. Een zeer practische 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 bekleedingen (de platen). Door het afschrappen van de zilverlaag kan men de capaciteit tot de benodigde waarde terugbrengen. Andere afregelcondensatoren 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.

Soms wordt de afstemming der M.F.-transformatoren 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

160 wij de H.F.-kringen, d.w.z. vóór de mengschakeling, nog niet mee — al bijdraagt tot de vergrooting 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 dit werkje. 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 zg. **eenknopsafstemming** der hoogfrequente kringen. Als het gaat om een ontvangoestel volgens het rechthoek-principe, 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 tusschen de verbindingen) worden gecorrigeerd door afregelcondensatoren 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 den hoogfrequenten kring en den kring van den hulpgenerator op twee afzonderlijke frequenties af te stemmen, terwijl tusschen die twee een constant verschil moet blijven bestaan, dat gelijk is aan de waarde van de M.F., over het heele golfbereik. Dus, in een ontvanger, waarvan de M.F. is afgestemd op 472 kHz, moet de oscillatorfrequentie 472 kHz hoger (of lager) zijn dan de frequentie van den H.F.-afstemkring en wel voor alle standen van den variabele condensator en voor alle golfbereiken. 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 oscillatorkringen ongelijke zelfinducties te gebruiken. Op die manier verkrijgt men een verschil tusschen de afstemfrequenties.

Dit verschil blijft helaas niet constant voor **alle** standen van den 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 den oscillatorkring te veranderen bij verschillende standen van den variabele condensator. Men schakelt parallel aan den variabele condensator C van den oscillator een condensatortje t, een **trimmer**, en met C in serie een anderen afregelcondensator p, met hogere capaciteit. Dit heet de **paddingcondensator**. De schakeling van deze condensatoren kan geschieden op een der drie manieren, die in figuur XIII zijn aangegeven.

Als wij ons de regels over de schakeling van condensatoren in serie of parallel herinneren, zien wij, dat de trimmer de capaciteit van den variabele condensa-

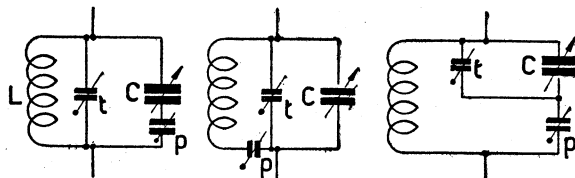


Fig. XIII. Drie schakelmethode betreffende de trimmers t en de paddingcondensatoren p in den afstemkring van den oscillator in verband met de éénknopsafstemming.

tor vergroot, de paddingcondensator, die in serie is geschakeld, verlaagt daarentegen de capaciteit.

Elk dezer afregelcondensatoren functionneert 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 denzelfden stand van C is de rol van den padding vrijwel uitgespeeld, want in serie met de reeds geringe capaciteit van C, kan hij niets anders doen, dan die nog kleiner te maken. In den beginstand van den variabelen condensator C (d.w.z. voor de hoogste frequenties of de kortste golven van een golfbereik) speelt de trimmer dus de voornaamste rol bij de correctie van de afstemcapaciteit.

Geheel anders wordt de situatie, als aan het eind van den draaiingshoek de variabele condensator zijn maximale capaciteit bereikt. Dan kan de capaciteit van den trimmer vergelijkenderwijs worden verwaarloosd. De padding oefent nu op de gezamenlijke capaciteit van het geheel echter een aanmerkelijken invloed uit, doordat hij de capaciteit van C vermindert. Met behulp van de capaciteit der twee afregelcondensatoren (trimmer aan het begin en padding aan het eind van den draaiingshoek) slaagt men er in, eens en voor altijd aan de verandering in de capaciteit van het geheel, verkregen door ronddraaiing van den variabelen condensator, het verloop te geven, dat men noodig heeft. Dienengevolge kan de variabele condensator van den oscillator nu worden geregeld door denzelfden knop als de H.F.-afstemkring.

Het spreekt vanzelf, dat de spoel van ieder golfbereik voorzien moet zijn van een trimmer en een padding-condensator. 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 schaalverdeeling van den afstemcondensator.

TOELICHTING BIJ HET ZEVENTIENDE GESPREK.

SPIEGELFREQUENTIES.

Als in een superheterodyne de middenfrequentie is afgestemd op een frequentie F en de generator 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 tusschen elk dezer frequenties en de generatorfrequentie 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 generator op 750 kHz is afgesteld, zoowel 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 den ingangskring niet voldoende is om één der twee bovengenoemde frequenties uit te bannen, hooren wij de beide zen-

162 ders tegelijkertijd. Om die hinderlijke „spiegelfrequentie” te onderdrukken moet dus de antennetrilling gezeefd worden door uiterst selectieve kringen. Men kan voor dat doel gebruik maken van een hoogfrequente voorversterking op een zoodanige manier, dat de antennetrilling, voordat zij de mengbuis bereikt, niet alleen door den antenne-afstemkring versterkt en uitgefilterd wordt, maar ook door een selectieven afgestemden kring, die geplaatst wordt tusschen de H.F.-versterking en de mengschakeling.

Men kan ook den antenne-afstemkring zóó maken, dat door dezen een ver doorgevoerde selectiviteit wordt verzekerd. Hoe dat geschiedt zullen wij later zien bij de bestudeering der bandfilters.

M.F. MET EEN HOOG WAAARDE.

Het probleem van de uitbanning der spiegelfrequenties wordt echter op drastische wijze opgelost door het gebruik van M.F.-versterkers, die op betrekkelijk hoge frequenties zijn afgestemd, zooals de tegenwoordige standaardfrequentie van 472 kHz. We kunnen vaststellen, dat het verschil tusschen 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 het dubbele van de M.F.

Door voor de M.F. een hoge waarde aan te nemen, verwijderen wij de spiegelfrequenties zoodanig, dat als de ingangskring van den ontvanger maar eenigszins selectief is, de onderdrukking der spiegelfrequentie absoluut is. Als de M.F. 472 kHz bedraagt, is de afstand tusschen de spiegelfrequenties dus 944 kHz. Het ongewenschte station is nu zoo ver van het te ontvangen station verwijderd, dat men er zeker van kan zijn, dat het niet doorgelaten wordt. Bovendien is de afstand van 944 kHz in den langen en korten golfband voldoende om die spiegelfrequentie buiten den golfband te brengen, waardoor zij in een gebied komt, waarin de kans om zelfs een krachtigen zender te ontvangen op genoemde wijze, zeer gering is.

DE ELECTRODYNAMISCHE LUIDSPREKER.

Nu wij overgaan tot de bestudeering der electrodynamische luidsprekers moeten wij beginnen met te onthouden, dat de electro-magnetische luidsprekers tegenwoordig slechts zelden worden toegepast, nl. alleen nog in draagbare batterij-ontvangers of in zeer goedkope toestellen. De meest gebruikte luidspreker is de **electrodynamische**, hetzij met stroombekrachtiging, hetzij met een permanenten magneet van staal met een hoog kobaltgehalte.

De gevoeligheid van den electrodynamischen luidspreker is hoofdzakelijk afhankelijk van de sterkte van het magnetisch veld, waarin het **beweegbare spreekspoeltje** of **trilspoeltje** is geplaatst. Men versterkt het veld door de lichtspleet (dat is de ruimte tusschen de magneetpolen) tot een minimum te verkleinen. Die beweegbare spoel, die zich in een zeer kleine ruimte moet verroeren, moet dan ook goed in den juisten stand worden gehouden om niet met den 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 eene zijde bevestigd is aan de verbinding tusschen membraan en spreekspoel, aan de andere zijde aan den magneet, hetzij aan den binnen- of aan den 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 zijdelingsche 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 bordcarton gemaakt, dat geolied wordt om tegen vocht bestand te zijn. De dikte neemt af van den top naar de basis van den kegel, die het membraan vormt. De kanten zijn gegolfd om zoo een groote bewegingsvrijheid te verzekeren. De uiteinden worden aan een metalen raamwerk bevestigd, dat op den magneet steunt. Vaak wordt de transformator, die dient voor de totstandkoming van de verbinding tusschen de eindbuis in den ontvanger en het spreekspoeltje, aan de buitenzijde van dit raamwerk verbonden. De primaire van dezen 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 groote afmetingen, waarin een gat gezaagd is met denzelfden 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 „acoustische kortsluiting” zou zijn de verdwijning van de lage tonen en de verzwakking van de middelste tonen. Door den 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 den ontvanger vervult. Vandaar de slechte geluidskwaliteit van een groot aantal toestellen, waarvan het electricisch gedeelte echter niets te wenschen overlaat.

Een electro-dynamische luidspreker kan niet volmaakt getrouw den heelen band der geluidsfrequenties weergeven. Die, waarvan het membraan een kleine diameter heeft en dus licht is, geven beter de hooge frequenties (de hooge 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 eenige capaciteiten en zelfinducties scheidt men in den stroom de componenten van de overeenkomstige geluidsfrequenties, zoodat naar elken luidspreker die component wordt doorgelaten, welken hij het best weergeeft.

BEKRACHTIGING VAN DEN LUIDSPREKER.

De bekrachtiging 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 bekrachtigingsspoel doorloopen door den totalen voedingstroom, want zij wordt in serie geschakeld, hetzij in de positieve, of in de negatieve leiding; zij kan overigens als afvlakmoerspoel dienen, een rol, die aan deze spoel meestal wordt toevertrouwd. De stroom veroorzaakt in deze wikkeling natuurlijk een aanmerkelijken spanningsval, waarmee rekening moet worden gehouden bij het bepalen van de grootte der benoodigde hoogspanning. Een universeel-ontvanger, waarbij men over een hoogspanning beschikt, die beperkt blijft tot die van het net, kan een dergelijken spanningsval niet verdragen. Het is gewenscht in die toestellen luidsprekers met een permanenten magneet te gebruiken. Houdt men echter vast aan een electromagneet, dan zal de bekrachtigingsspoel een

TOELICHTING BIJ HET ACHTTIENDE GESPREK.

AUTOMATISCHE STERKTEREGELING.

Het probleem van de regeling der sterkte van het geluid (of zooals men 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 den wensch van den luisteraar en haar vervolgens constant op die sterkte te houden. Een variatie in de sterkte van de door de hertzgolven in de antenne geïnduceerde spanning veroorzaakt namelijk al of niet gewenschte veranderingen van het geluidsvolume.

De **fading** (of **sluiering**) der golven ten gevolge van enkelvoudige of herhaalde terugkaatsingen tegen de bovenste luchtlagen van onzen dampkring is een steeds weerkerende oorzaak van schommelingen in de sterkte van het inkomend signaal. De sterkte der ontvangen signalen kan echter even goed veranderen in een draagbare, verplaatsbare installatie (bv. in een auto-radio) ten gevolge van de verplaatsing van den ontvanger ten opzichte van ijzerconstructies; bv. het passeeren van een ijzeren brug of het rijden tusschen 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 inkomend signaal mogelijk maakt en die men wel eens de fadingcompensatie noemt, verdient echter omschreven te worden met de meer algemeene aanduiding **automatische sterkteregeling**. In vele handboeken duidt men dit kortweg met de afkorting **A.S.R.** aan.

Een ideale regeling moest het mogelijk maken dezelfde geluidsterkte voor alle ontvangen signalen automatisch te verkrijgen. In de practijk zou de automatische sterkteregeling een dergelijke stabiliteit van de geluidsterkte alleen kunnen verzekeren op voorwaarde, dat alle zenders dezelfde **modulatie diepte** hadden.

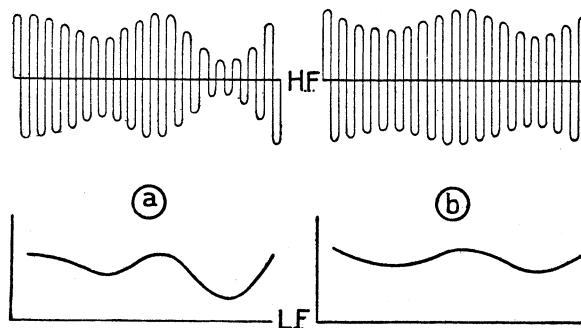


Fig. XIV. De uitzending a is dieper gemoduleerd dan b. In het onderste gedeelte van de teekening zijn de gelijkgerichte stroomden weergegeven.

Wat bedoelt men hiermee? Zooals men in figuur XIV ziet, kan een hoogfrequentie stroom meer of minder diep gemoduleerd worden door een stroom, die geluidsfrequentie bezit. De beide hoogfrequentie stroomen in deze teekening hebben dezelfde maximumamplitudo. Die bij a is echter dieper gemoduleerd dan die bij b. Na de detectie geven de twee gemoduleerde stroomen aanleiding tot de laagfrequentie stroomen, die in het onderste gedeelte van de teekening zijn weergegeven, waarbij men kan zien, dat de stroom bij a, die dieper gemoduleerd is, een sterkeren laagfrequenten 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 den detector aangelegde hoogfrequentie spanning, zoodat de aanwezigheid van zoo'n regeling niet dezelfde geluidsterkte garandeert voor alle stations. Het kan dus gebeuren, en dat komt vaak voor, dat een ver, maar diep gemoduleerd station krachtiger gehoord wordt dan een regionale, zwak gemoduleerde zender.

Het voornaamste doel van de sterkteregeling is het op peil houden van de geluidsterkte van een bepaalde ontvangst tijdens den geheelen luistertijd. De aanwezigheid van zoo'n automatische sterkteregeling sluit dus geenszins de noodzakelijkheid uit van het met de hand regelen der geluidsterkte, waardoor het mogelijk wordt, het geluidsvolume tot den gewenschten omvang op te voeren, welke ook de modulatie diepte is. Daar deze handvolumeregeling in niets de spanningen aan den ingang van den detector mag beïnvloeden, die uitsluitend door de automatische sterkteregeling bepaald worden, moet deze regeling met de hand in het laagfrequentie deel van den 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 grooter of kleiner deel van de beschikbare spanning aan te leggen. Gewoonlijk neemt men reeds van den weerstand van den 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 er van bestudeeren.

Volgens dit principe vindt de regeling plaats, door een door het gelijkgerichte middenfrequentie signaal veroorzaakte spanning mede te deelen aan de roosters der buizen, die aan den detector voorafgaan, zoodanig, dat de versterking afneemt, als de sterkte van het inkomend signaal toeneemt. Een zeer eenvoudige vergelijking met de hydraulica zal ons helpen de beteekenis van deze definitie te begrijpen.

De sterkte der signalen aan den ingang van den ontvanger wordt voorgesteld door het niveau van de vloeistof in een bak A (fig. XV). De vloeistofspiegel in vat D stelt de aan den detector aangelegde spanning voor. Men ziet, dat een buis voor de verbinding zorgt tusschen de beide vaten en dat een kraan V aan de vloeistof gelegenheid geeft uit vat D weg te stroomen.

Als onze installatie beperkt bleef tot de beschreven onderdeelen, zouden niveauveranderingen in A eveneens niveauveranderingen in D tot gevolg hebben (het fading-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, zoodat de vloeistof toevoer afneemt en het niveau in D direct daalt. Men begrijpt, dat het niveau in D practisch constant blijft.

166 In een ontvanger met A.S.R. veroorzaakt een vergroting van het inkomend signaal eveneens een vergroting van den gelijkgerichten middenfrequenten stroom.

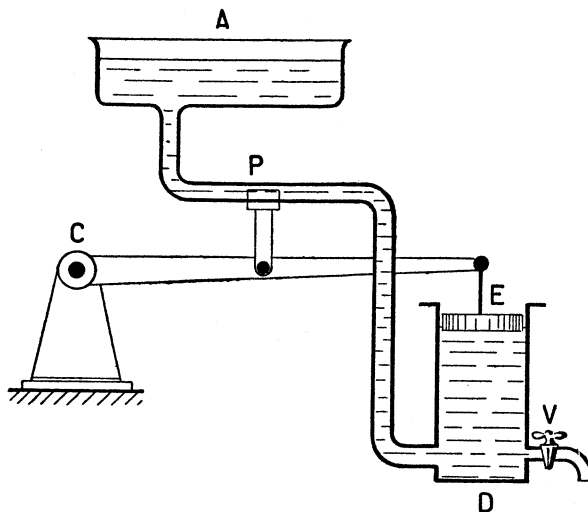


Fig. 15. Een hydraulisch toestel, dat veel overeenkomst vertoont met de automatische sterkte-regeling.

Die stroom veroorzaakt dan weer in een weerstand een spanningsval, die als voorspanning aan de roosters van één of meer voorgaande buizen wordt medegedeeld, teneinde daarin de versterking te verminderen.

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 den 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 passeeren, 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 keeren: 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 den regelknop voor de geluidsterkte, dien wij in het L.F.-deel van ons toestel hebben geplaatst.

Merk nog op, dat de hydraulische reguleerder tenslotte alleen de vermindering van de wegstroomende hoeveelheid vloeistof kan regelen en aldus een niveau-stijging 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 sterktere-geling kan alleen de gevoeligheid van den ontvanger in meerdere of mindere mate reduceeren.** De automatische sterktere-geling veroorzaakt derhalve een ware „nivelleering naar beneden”. Zij moet

alleen toegepast worden in ontvangtoestellen, die beschikken over een behoorlijke reserve in de gevoeligheid. 167
 Het is dus, en daar kunnen wij niet genoeg op wijzen, de spanning zelf, die

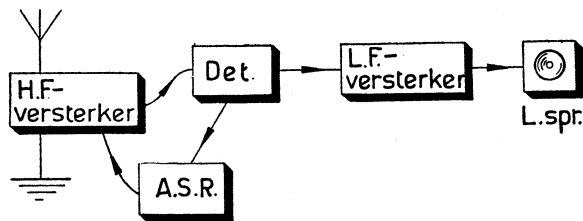


Fig. XVI. Blokschema van een met A.S.R. uitgerust ontvangtoestel.

door de versterkte signalen op den detector wordt opgewekt, welke zorgt voor de automatische sterkteregeling. Die spanning moet constant blijven. Zoodra zij de neiging krijgt te veranderen, hetzij toenemend of afnemend, zal 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 neutraliseeren.

BUIZEN MET VERANDERLIJKE STEILHEID.

Door verandering van de steilheid kan men de versterking wijzigen van de buizen, die vóór den detector zijn geplaatst. De steilheid is, zooals wij hebben geleerd tijdens het onderzoek van de buiskarakteristieken, alleen constant in het rechte deel van de kromme. Zoodra de voorspanning de onderste bocht van de karakteristiek (de „staart”) bereikt, neemt de steilheid af om tenslotte nul te worden op het oogenblik, waarop de plaatstroom zelf tenietgedaan wordt door een groote 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 in toe. De kromme vertoont geen scherpe bocht meer, zoodat over de geheele karakteristiek een klein deel van de kromme gemakkelijk met een rechte lijn vergeleken kan worden. Op die manier zal, wáár ook het werkpunt ligt en zoolang het slechts om geringe amplituden van de roosterspanning gaat, de vervorming ten gevolge van de bocht geen beteekenis hebben.

Hoe hooger de volstrekte 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 variëeren tusschen de hoogste waarde en een zoodanig 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 vericht kunnen worden. bv. door middel van een potentiometer, die de potentiaal van het rooster bepaalt, of, wat op hetzelfde neerkomt, die van de kathode.

168 Bij de A.S.R. wordt die regeling echter verkregen door de noodzakelijke voorspanning vooraf van den detector te betrekken. Men vindt inderdaad in punt X van een diode-detector (fig. 106) een L.F.-spanning, die op elk moment evenredig is aan de gemiddelde sterkte der inkomende signalen.

Die negatieve spanning zal dienen om aan de roosters der eerste buizen negatieve voorspanning te geven, zoodat deze ingeschakeld zijn in de automatische sterkteregeling. Merk nog op, dat de normale negatieve voorspanning van deze buizen verzekerd wordt door het gebruikelijke procédé van een spanningsval in weerstanden, die tusschen 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 zoo, dat de versterking van elke luis in meerdere of mindere mate teruggebracht wordt.

Als door de sluiering de sterkte van de door de antenne opgevangen signalen afneemt, neemt ook de in punt X gelijkgerichte spanning af; de hooge 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 geluidsterkte. 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 tusschen de *pianissimo* en *fortissimo* 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 momenteele veranderingen 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 het circuit voor de onmiddellijke overbrenging van de regelingsspanning een kring op te nemen, die een **tijdconstante bezit**. Deze kring wordt gevormd door een grooten weerstand, dien men in serie met dit circuit 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 tusschen een dergelijke schakeling en het afvlakfilter voor de hoogspanning. Aldus geschakeld besteden een weerstand van R^1 ohms en een condensator van C farads, $R^1 \times C$ seconden om een spanningsverandering door te laten. Bijvoorbeeld: een weerstand van 500 000 Ω en een condensator van $0,1 \mu F$ (dat is 0.000 000 1 F) hebben een tijdconstante van $500\,000 \times 0,000\,000\,1 = 0,05$ of $1/20$ seconde. Alle variaties dus, die sneller zijn dan $1/20$ seconde zullen door die combinatie van weerstand plus condensator worden tegengehouden. De in de radiotoestellen voorkomende geluidsfrequenties liggen echter alle boven de 20 per/sec; de sterktevariaties ten gevolge van sluiering zijn daarentegen, behoudens een enkele uitzondering, veel minder snel. De momenteele spanningen, die ontstaan door de allerlaagste tonen van de muziek, zullen dan ook niet den geringsten invloed hebben op de versterking voor de detectie; de door fading 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 volumeregeling te scheiden. Zooals figuur 107 aanduidt is de bovenste diode voor de detectie bestemd; wat de onderste betreft,

170 buis veroorzaakt in een weerstand R_1 , die tusschen de kathode en de negatieve hoogspanningsbron (— h.sp.) is geplaatst. De spanning e , die optreedt tusschen de kathode en een daartoe dienstig gekozen punt van dien weerstand, maakt de onderste anode negatief ten opzichte van de kathode en wel zoodanig, dat de signalen, die aan de diode lagere spanningen dan e ontwikkelen, geen enkelen stroom zullen opwekken en bijgevolg in het geheel geen spanningsval in R_1 veroorzaken. De detectie 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, hooger zal zijn dan de vertragingsspanning e .

De automatische sterkteregeling treedt op die manier pas voor de sterkere signalen in werking, terwijl de ontvanger ten opzichte van de zwakkere een maximum van gevoeligheid biedt.

Men zal in figuur XVII opmerken, dat de bovenste diode (die bestemd is voor de detectie 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 potentiometer geschakeld en dient voor het met de hand regelen van de geluidsterkte.

GELUIDLOOZE OF STILLE AFSTEMMING.

Wanneer een van een automatische sterkteregeling voorziene ontvanger niet op een of anderen zender is afgestemd, is de gevoeligheid het grootst; hij ontvangt dan met een maximale gevoeligheid alle electricische storingen, welke de aether aanvoert en die het gevolg zijn zoowel van de electriciteit in den dampkring (atmosferische storingen), als van ontelbare electricische toestellen en machines voor de industrie, de huishouding en de geneeskunde. De industrieele storingen ontstaan vooral door vonken in electromotoren, generatoren, electricische bellen e.d. Die storingen veroorzaken in den ontvanger een zeer onaangenaam lawaai, als men den condensatorknop draait op zoek naar een zender en de tusschenruimte tusschen twee zenders passeert.

Om den luisteraars het bezwaar van die hinderlijke geluiden te besparen, heeft men in sommige toestellen een inrichting voor stille afstemming aangebracht, die alle ontvangst uitsluit, zoolang het toestel niet op een zender is afgestemd. Wij zullen hier niet in een onderzoek treden van de verschillende systemen, die hiervoor worden toegepast. De voornaamste zijn gebaseerd op den invloed van de spanning der automatische sterkteregeling op een der L.F.-buisen. Deze wordt tijdens de afwezigheid van signalen „dichtgedrukt” door een bijzonder hooge voorspanning, waardoor de ontvanger niets weergeeft. Wanneer de ontvanger echter op een zender is afgestemd, dient de dan opgewekte spanning van de A.S.R. voor de opheffing van den „dichtgedrukten toestand” der L.F.-buis, daar zij de voorspanning tot op de normale waarde terugbrengt.

Om de waarheid te zeggen is die stille afstemming niet erg vaak toegepast, want de werking voldeed zelden ten volle en was zelfs vaak de aanleiding tot ernstige vervormingen.

DE ZICHTBARE OF VISUEELE AFSTEMINDICATOR.

Wel zeer verbreid zijn daarentegen de zg. **zichtbare afstemindicatoren**, die het mogelijk maken een ontvanger op een bepaalden zender af te stemmen na eerst den knop voor de volumeregeling van het geluid op maximum-geluidsterkte geplaatst te hebben; is de afstemming op die wijze mogelijk, dan regelt men zonder bijgeluid en uitsluitend op het oog — dus niet op het gehoor — de geluidsterkte tot de gewenschte hoogte.

Er bestaan twee soorten van zichtbare afstemindicatoren. Ten eerste de eenvoudige milliampèremeters, 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 op zijn minimum terug. Het is die minimum-sterkte, die, aangegeven door den milliampèremeter, de juiste afstemming nauwkeurig aantoont. 171

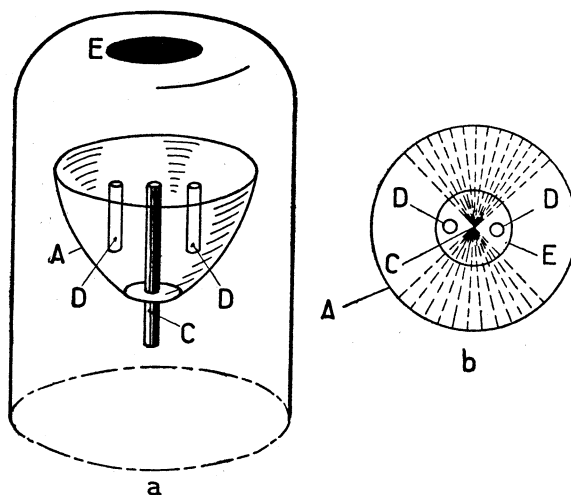


Fig. XVIII. D, kathodestraal-indicator van terzijde (a) en van boven (b) gezien. C = kathode, A = fluoresceerende anode, D = afbuigstaven, E = ondoorzichtig scherm.

De meest verbreide categorie der zichtbare afstemindicatoren is gebaseerd op het beginsel der kathodestraalbuizen, zooals die bij de televisie worden gebruikt. In die kathodestraal-indicatoren (fig. XVIII) hebben wij een kathode C,

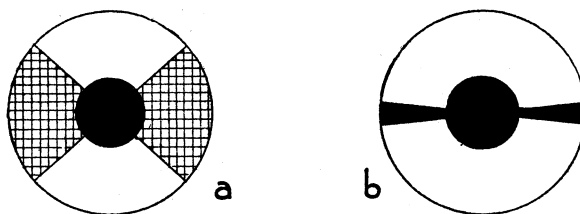


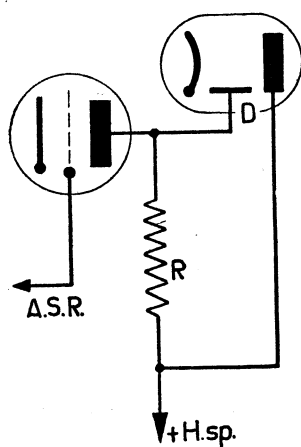
Fig. XIX. a = Schaduwsectoren van een niet afgestemden ontvanger; b = op het oogenblik der juiste afstemming.

die electronen uitzendt en een anode A, die op een positieve potentiaal is gebracht en die den vorm van een halve eierschaal heeft. De binnenwand van de anode is bedekt met een fluoresceerende laag, d.w.z. een stof, die lichtgevend wordt onder de inwerking van een electronenbombardement. Een waarnemer, die voor den top van de buis wordt geplaatst, ziet de oppervlakte van de anode

172 gelijkmatig verlicht; een zwart scherm E verbergt voor hem bovendien het licht, dat afkomstig is van de gloeiende kathode.

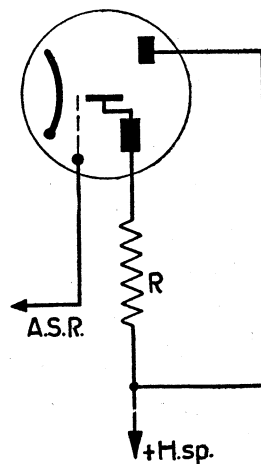
Zoo zou tenminste de voorstelling zijn, als er niet een of meer afwijkings-electroden D (de zg. afbuigplaatjes) in de baan der electronen waren geplaatst, bestaande uit kleine staafjes. Deze afbuigstaven D worden ten opzichte van de anode op een hogere of lagere negatieve potentiaal gebracht, en daardoor verplichten zij de electronen, doordat zij ze afstooten, in meerdere of mindere mate 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 electrode meer of minder negatief wordt ten opzichte van de anode.

Zoo zien wij dan, als er twee staafjes zijn, twee breede schaduwen (fig. XIXa), indien zij sterk negatief ten opzichte van de anode zijn of twee uiterst smalle schaduwen, (fig. XIXb), als de afbuigplaatjes bijna op gelijke potentiaal met de plaat zijn. Dit is nu het principe van de werking van het wonderoog of



YFig. XX (links). De door een triode versterkte spanning van de A.S.R. veroorzaakt tusschen de electroden D en de anode van den afstemindicator de afbuigspanning, die voor de werking van den indicator noodig is.

Fig. XXI (rechts). De praktische schakeling van een zichtbaren afstemindicator, waarbij de beide elektrodenstelsels in denzelfden ballon ondergebracht (vergelijk figuur XX).



tooveroog, ook wel eens kathodestraal-klaverblad genaamd, al naar gelang het aantal veroorzaakte schaduwvlakken.

Men heeft al wel geraden, dat de potentiaal van de afbuigelectroden bepaald wordt door de spanning der A.S.R. Deze wordt eerst door een triode versterkt (fig. XX). De in den plaatweerstand R opgewekte spanning wordt daar aan de afbuigelectrode D van den afstemindicator aangelegd. Op het oogenblik 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 beteekenis meer en de electrode D bevindt zich bijna op dezelfde potentiaal als de fluoresceerende anode. De schaduwvlekken worden smal..... en dan weten wij dat wij de juiste afstemming hebben bereikt.

De schakeling van den versterker en die van den eigenlijken kathodestraal-indicator worden in de practijk in denzelfden ballon ondergebracht, zooals het schema van figuur XXI aangeeft, dat gelijkwaardig is aan dat van figuur XX. De waarde van den weerstand R ligt tusschen 1 en 2 megohm.

Dank zij den zichtbaren afstemindicator kan men voor een uiterst nauwkeurige afstemming zorg dragen, hetgeen een onmisbare voorwaarde is voor een vervormingsvrije weergave van het geluid.

VERSCHILLENDE SOORTEN VAN VERVORMINGEN.

Het doel, waarop sedert vele jaren alle inspanning der technici is gericht, is het verkrijgen van een volmaakt getrouwe geluidsheergave. Ideaal zou het natuurlijk zijn, als wij uit den luidspreker precies dezelfde klanken kregen, als die, welke in de studio van den zender de microfoon bereiken. Zonder dat zulk een volmaakte oplossing bereikt kan worden, naderen de onderzoekers haar meer en meer, doordat zij van dag tot dag de verschillende oorzaken van de vervorming meer en meer wegnemen. Als wij de geluidskwaliteit van de tegenwoordige ontvangtoestellen vergelijken met wat wij een jaar of tien geleden voor een goede weergave hielden, dan 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 weergave der verschillende geluidsfrequenties; in het meerendeel der middelmatige toestellen worden de lage en de hooge tonen verzwakt in verhouding tot de middelste tonen. Aan den anderen 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 tusschen de sterkte en den vorm van de trillingen zelf; die vervorming openbaart zich door het ontstaan van geluiden, die in het oorspronkelijke geluid niet aanwezig waren. Tenslotte kunnen nog andere geluiden van vreemden oorsprong aan het beluisterde worden toegevoegd: **gebrom** van het net wegens onvoldoende afvlakking van de hoogspanning of wegens storende inductie; geruisch ten gevolge van onregelmatigheden in de electronenemissie van de kathoden en ten gevolge van de warmte-ontwikkeling der leidingen; tenslotte zijn er nog de atmosferische en mechanische storingen.

Een diepgaande bestudeering van dit vraagstuk leidt tot de onaangename gewaarwording, dat alle onderdeelen van een ontvanger opgevat moeten worden als oorzaken voor het doen ontstaan van vervormingen; zoowel in het H.F.-gedeelte als in den 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 vrijwel geheel te bewaren.....

MODULATIE-ZIJBANDEN.

De vervormingen in het H.F.-deel (waaronder begrepen de M.F.-versterking in de superheterodynes) kunnen het gevolg zijn van de te groote selectiviteit der afstemkringen.

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 hooge frequentie, die als draagster van de laagfrequente modulatie optreedt. Welnu, een dergelijke al te simpele opvatting komt niet met de werkelijkheid overeen.

Het moduleeren van de H.F. door L.F.-trillingen staat gelijk met frequentie-omvorming, zooals 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 stroomen met frequentie F en f mengen, treedt in den resulterenden stroom niet alleen een component met frequentie $F - f$ op (hetgeen wij al wisten), maar ook een component, waarvan de frequentie

174 $F + f$ is. Indien wij dus een hoogfrequente draagtrilling met frequentie F moduleeren 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 heelen frequentieband, die zich uitstrekt tot 10 000 of 16 000 per/sec. Aldus ontstaan rondom de draagfrequentie F **modulatie-zijbanden**, die de geheele frequentiebreedte bestrijken tusschen $F - f$ en $F + f$, derhalve een breedte van $2f$.

Bijvoorbeeld: een uitzending op 1 000 000 p/s (golflengte 300 m), die gemoduleerd wordt door muziekk frequenties tot 10 000 p/s zal alle frequenties omvatten tusschen 990 000 en 1 010 000 p/s, dus een bandbreedte van 20 000 perioden.

GOEDE GELUIDSWEERGAVE EN SELECTIVITEIT.

De meest nabije draagfrequentie van een anderen zender moet er minstens $2f$ van verwijderd zijn, wil er geen interferentie plaats hebben tusschen 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 per/sec; in het eerste geval gebruikt hij de frequenties tusschen 970 000 en 990 000 p/s; in het tweede geval 1 010 000 tot 1 030 000.

Om een groot aantal zenders te kunnen plaatsen in de voor den radio-omroep gereserveerde frequentiebreedte, heeft een internationale overeenkomst de totale breedte, die de zijbanden van een zender mogen innemen, bepaald op 9000 p/s. Onder deze voorwaarden moeten de geluidsfrequenties dus de 4500 p/s niet te boven gaan. Door deze beperking wordt de radio-ontvangst uit een oogpunt van getrouwe weergave, een armzalig familielid van de gramfoon en van de geluidsfilm, die, niet bedreigd door zulke beperkingen, veel hogere muziekk frequenties kunnen weergeven.

Maar ook met de beschikbare 4500 p/s kan men een goede kwaliteit van de weergave bereiken op voorwaarde, dat er in den 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 smallen 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 is het voldoende verliezen te veroorzaken in een parallel geschakelden weerstand, zoodat de kring daaraan een zekeren 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 den stroom, die in een trillingskring ontstaan, onder invloed van een frequentieverandering van dien stroom. Hoewel klein buiten de resonantiefrequentie, bereikt deze stroom bij de resonantie zijn maximum.

Als we die krommen op een rechthoek plaatsen, die een zender met zijn zijbanden voorstelt zien wij, dat een weinig selectieve kring (fig. 110) zijn resonantiekromme de bandbreedte, die ons interesseert, aanmerkelijk laat overschrijden en derhalve de trillingen van andere zenders evenzoo doorlaat. Als de kring echter te selectief is (fig. 111) „snijdt” hij de hogere frequenties der zijbanden af.

De oplossing wordt gevonden in het gebruik van samengestelde kringen, die den naam van **bandfilters** dragen en waarvan de resonantiekrommen den idealen vorm benaderen, nl. dien van een rechthoek; over hun heele breedte van 9000 perioden ontzien zij de geluidsfrequenties en buigen daarna vrij steil naar beneden om geen aangrenzende zenders te laten passeeren.

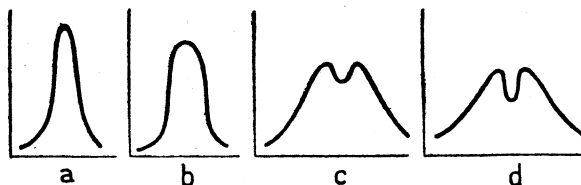


Fig. XXII. Twee afgestemde, gekoppelde kringen geven aanleiding tot een der vier resonantie-krommen, die hier zijn geteekend. a = losse koppeling; b = middelmatig; c = vaste koppeling; d zeer vast.

Een bandfilter bestaat uit twee gekoppelde trillingskringen. Al naar gelang de koppeling los, middelmatig, vast of zeer vast is, zal de resonantiekromme een der vormen van figuur XXII hebben. De dubbele piek, die de vaste of zeer vaste koppeling karakteriseert, treedt pas na een bepaalden graad van koppeling op: de kritieke koppeling. Ongeveer bij dezen graad van koppeling heeft de resonantiekromme van het bandfilter den vorm, waarbij men tot het beste compromis komt tusschen selectiviteit en goede geluidswaergave. De koppeling van beide kringen kan op verschillende manieren worden gemaakt: door inductie tusschen de spoelen (zoo maakt men de M.F.-transformatoren), door een capaciteit, door een combinatie van deze twee methoden of ook door een gemeenschappelijke impedantie (de capaciteieve, de inductieve reactantie of ook die twee tezamen).

De bandfilters worden toegepast als antenne-afstemkringen of als koppeling tusschen H.F.- en M.F.-buizen.

VARIABELE SELECTIVITEIT.

De breedte van den doorgelaten band is afhankelijk van de mate van koppeling. Door deze regelbaar te maken, kunnen wij naar verkiezing de bandbreedte wijzigen van de door het filter doorgelaten frequenties. Op die manier verkrijgt men de **variabele selectiviteit**, die het mogelijk maakt den ontvanger aan te passen aan de meest uiteenlopende voorwaarden voor de ontvangst. Om een verren zender te beluisteren, die gevaar loopt door een sterken 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 een maximale muziekwaergave (door de koppeling vaster te maken), als het beluisteren van een krachtigen en nabij zender slechts een middelmatige selectiviteit noodzakelijk maakt.

VERVORMINGEN IN HET L.F.-GEDEELTE.

De vervormingen, die in het laagfrequentie deel van een ontvanger ontstaan, behoeven 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

176 hebben genoemd. Voor zoover 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 den plaatstroom.

Een diepgaand onderzoek van het verschijnsel toont aan, dat de vormverandering van den plaatstroom zich uit door het optreden van harmonische geluiden, d.w.z. van tonen met het dubbele of drievoudige van de oorspronkelijke toonfrequentie. De zoo 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 den laagfrequenten versterker te onderdrukken of op zijn minst te verzwakken, brengt men er vervormingen in van denzelfden aard als die, welke hij zelf voortbrengt, maar dan in tegengestelde richting, zoodat zij elkaar opheffen.

Waar halen wij nu overeenkomstige vervormingen als die van den versterker zelf vandaan? Het eenvoudigste en veiligste is, ze af te nemen aan den uit-

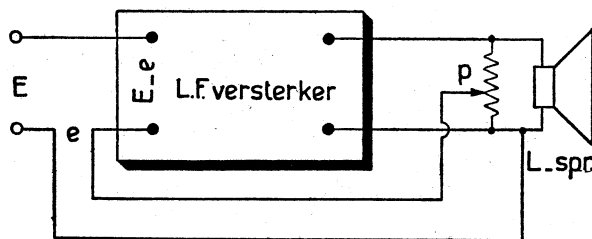


Fig. XXIII. Blokschema van de tegenkoppeling. De benodigde hoeveelheid uitgangsspanning wordt opgenomen met behulp van den potentiometer P.

gang van dien versterker en ze van daaruit aan den ingang mede te deelen, maar in phase tegengesteld aan de spanningen, die de vervormingen, als ze versterkt worden, doen ontstaan.

Zoo zijn wij dan aangekomen bij het principe van de **tegenkoppeling**, want wij doen niets anders dan een tegenkoppeling maken, als wij van den uitgang van een buis (of van een heele versterkingstrap) een deel van de beschikbare spanning nemen en die bij den ingang er weer inbrengen, maar dan met tegengestelde phase.

Het ideaal zou zijn, van den uitgang slechts zooveel 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 van de totale uitgangsspanning naar den ingang van den versterker terug en maken dat in phase tegengesteld aan de spanning E, die daar is aangelegd (fig. XXIII). Wat gebeurt er dan?

Daar zij tegengesteld is, wordt de spanning e van E afgetrokken, zoodat wij aan den ingang van den 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 den versterker ontstaan. Het gevolg is een belangrijke vermindering van de vervorming.

Wij moeten wel direct opmerken, dat de tegenkoppeling het ons niet mogelijk maakt de vervormingen totaal op te heffen, daar wij aan den uitgang een beetje vervorming moeten hebben om dat aan den ingang weer toe te voeren. In de buizen worden zij gecorrigeerd door de tegengestelde vervormingen, zoodat er aan den uitgang maar heel weinig overblijft.

Doordat de spanning E aan den 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, zoodat de eindbuis ondanks die vermindering aan den luidspreker het gewenschte vermogen kan doorgeven.

TEGENKOPPELING IN DE EINDTRAP.

Hoe komt de tegenkoppeling practisch 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. XXIV) met de plaat van den voorversterker L_1 met behulp van een weerstand R van hooge waarde (1 of 2 $M\Omega$).

Door dezen weerstand heen keeren de wisselspanningen, die in de primaire van den uitgangstransformator aanwezig zijn, gedeeltelijk naar het rooster van de eindbuis terug, waarbij zij den koppelcondensator C passeeren.

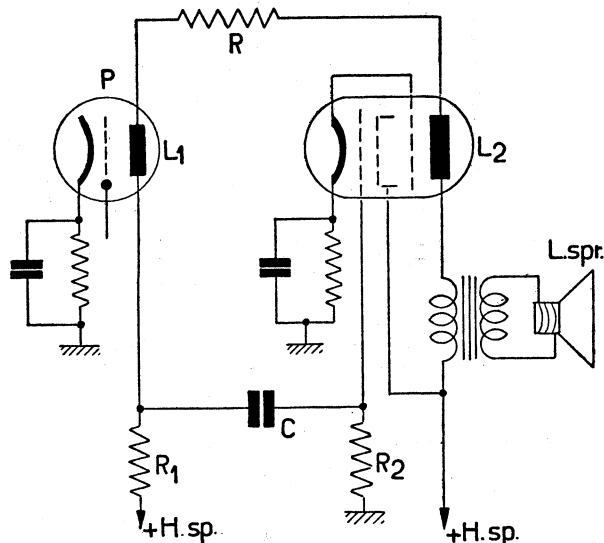


Fig. XXIV. Tegenkoppeling op de eindbuis door middel van een weerstand R .

178 Men moet onthouden, dat wij hier, evenals in het blokschema van figuur XXIII te maken hebben met een potentiometer, die de uitgangsspanning zoodanig verdeelt, dat slechts een deel terugkeert. In figuur XXIV bestaat de potentiometer aan den eenen kant uit den weerstand R, aan den anderen kant uit drie parallel geplaatste weerstanden: den inwendigen weerstand ρ van lamp L_1 en de weerstanden R_1 en R_2 (die drie weerstanden zijn ter eene zijde aan de anode van L_1 gekoppeld en ter andere zijde aan de + of - h.sp., hetgeen van den wisselstroom gezien op hetzelfde neerkomt). Daar de gelijkwaardige weerstand van de parallel geschakelde ρ , 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.

TEGENKOPPELING MET KLANK- OF TIMBREREGELING.

Als men tegenkoppeling wil toepassen op de beide buizen, die tezamen de L.F.-versterker van een ontvangtoestel vormen, is het wenschelijk de benodigde spanning te betrekken van de secundaire van den uitgangstransformator, die, zooals 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 tusschen de kathode en den kathodeweerstand (fig. XXV). De kathode is dan bevorderd tot den rang van stuur-electrode voor de spanning der tegenkoppeling.

Soms maakt men van deze inrichting gebruik om tegelijkertijd de weergave van de hoogste en laagste tonen te verbeteren, die gewoonlijk verzwakt worden ten opzichte van de middelste tonen. Om de hoogste en de laagste tonen

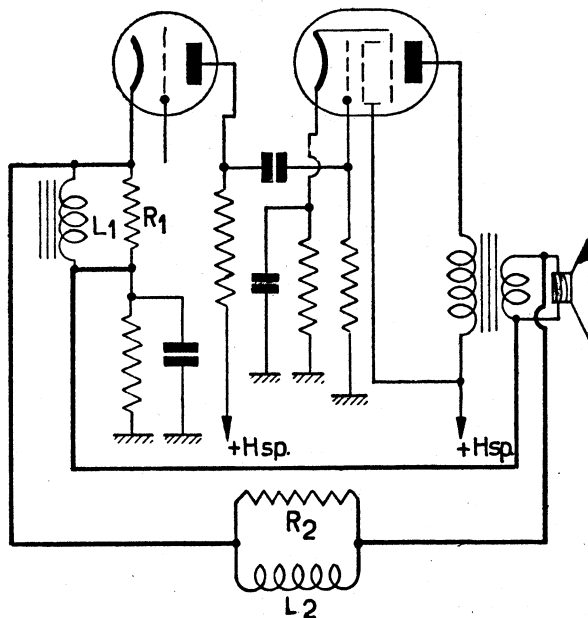


Fig. XXV. Tegenkoppeling op den laagfrequent-versterker met timbreregeling. De weerstand R_1 heeft een waarde van 10 à 20 Ω ; R_2 van 500 Ω . De waarde van L_1 is 25 millihenry, van L_2 15 millihenry.

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 hoogste en laagste noten, die daardoor meer versterkt worden in verhouding tot het middengedeelte.

Een dergelijke „timbreregeling” wordt verwezenlijkt met behulp van twee kleine inductieve reactanties L_1 en L_2 . De eerste, die parallel is geschakeld aan den tegenkoppelingsskring, laat de stroomen des te gemakkelijker passeeren, naar gelang hun frequenties lager zijn en zulks ten koste van den 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 stroomen, naarmate hun frequentie hooger 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 „timbreregeling” van een verleidelijke eenvoud schijnt te zijn, durven wij toch het gebruik er van niet op te hemelen zonder eenige reserves te noemen. Als wij de uitwerking van de tegenkoppeling beperken voor sommige frequenties, vergeten wij eenigszins, 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 harmonische te hoog in den frequentieband stijgen om nog hinderlijk te zijn), kan het daarentegen heel onplezierig tot uiting komen in de lage tonen.

Daar er nog andere methoden bestaan voor de timbreregeling, die niet gebaseerd zijn op de tegenkoppeling, is het verkieselijker, daartoe uw toevlucht te nemen dan gevaar te loopen hinderlijke vervormingen in te voeren bij de bestrijding van andere vervormingen, die soms minder belangrijk waren!

TOELICHTING BIJ HET TWINTIGSTE GESPREK.

STORINGEN DOOR DE INDUSTRIE.

In dit laatste gesprek hebben Weetal en Vraagal in vriendschappelijke samenwerking het schema opgesteld van een uitstekenden ontvanger, dien zij in alle details goed hebben bestudeerd. Stilzwijgend zijn zij echter aan den **golfontvanger**, de **antenne**, voorbijgegaan.

Een dergelijk verzuim is echter te verontschuldigen. De gevoeligheid van een modern radiotoestel, zooals 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 den luidspreker te doen hooren”, zooals de gebruikelijke uitdrukking in reclaimedrukwerken luidt. Aan den anderen 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 chassis is voldoende om als reservoir te dienen voor de electronen, die van of naar de antenne vloeien.

180 Als echter een dergelijke antenne onderhevig is aan den invloed der radio-electrische golven, wordt zij even goed getroffen door storingen ten gevolge van de industrie. Die storingen worden, zooals wij vroeger al hebben gezegd, veroorzaakt door verschillende elektrische installaties, zoowel huishoudelijke, geneeskundige als industrieele. Dat zijn hoogfrequente trillingen, die zich in den vorm van electro-magnetische golven voortplanten en die zeer breede frequentiebanden beslaan, zoodat 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 inrichtingen. In de hoogte verzwakt het veld van die golven eveneens zeer snel boven de daken, zoodat op eenige meters boven de nok de invloed van de storingen vaak zonder beteekenis wordt.

STORINGVRIJE ANTENNES.

Op dit feit is het gebruik gebaseerd van storingvrije of anti-storingsantennes, die men zoodanig aan den paal bevestigt, dat ze gemakkelijk boven den dakrand te brengen zijn. Het komt er weinig op aan, of dergelijke antennes den vorm krijgen van een horizontalen leidingsdraad of van een verticalen geleider, of dat zij bestaan uit een bol of een metalen korf. Het voornaamste 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 verderen tocht naar het ontvangtoestel. Anders gezegd, de storingen moeten

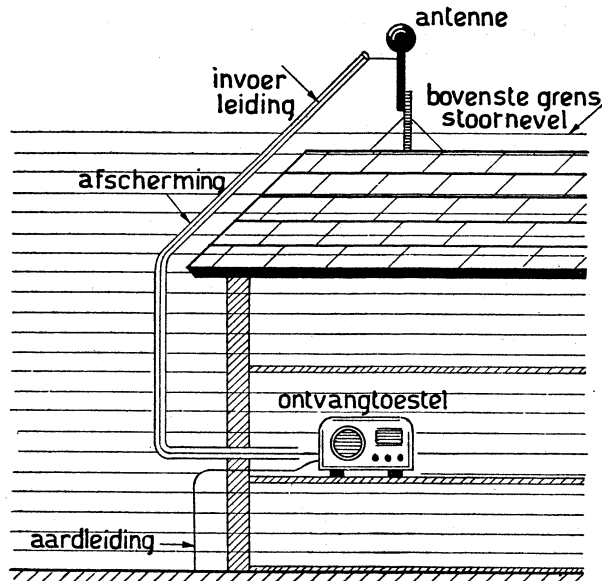


Fig. XXVI. De opstelling van een storingvrije antenne.

niet kunnen inwerken op de antenneleiding, die den ontvanger verbindt met de eigenlijke antenne. Wat voor nut zou het anders hebben, de golven daar op te visschen, 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 den ontvanger.

De afgeschermd invoerleiding wordt gemaakt van koperdraad, dat in een soepelen metalen koker is geplaatst, bv. van gevlochten metaal en met een belangrijk grooteren diameter. De draad wordt in de as van dat omhulsel gehouden met behulp van isolatoren, die met kleine tusschenruimten van elkaar worden geplaatst. De afscherming moet namelijk niet al te dicht bij den invoerdraad komen, anders zou de capaciteit, die dan tusschen die twee ontstond, aanleiding geven tot een ontoelaatbaar verlies van hoogfrequenten stroom. De afscherming wordt, dat spreekt vanzelf, aan de aardleiding verbonden.

Mits goed gemaakt, is een dergelijk systeem zeer doeltreffend tegen storingen van de industrie, maar het beschermt 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 richtingeffect, d.w.z. zij ontvangen alle golven, zonder onderscheid van welke richting zij komen. Maar er bestaan andere golfontvangers, de raamantennes, die een uitgesproken richtingeffect hebben. Wat is zoo'n raamantenne? Het is een spoel met zeer groote middellijn. De golven, die haar windingen snijden, wekken er hoogfrequente spanningen in op. Die spanningen zijn hooger of lager al naar gelang de antenne in de richting van den zender wordt gedraaid. De spanning is maximaal als het vlak van de windingen precies in de richting van den zender is geplaatst; in dezen stand hoort men het station het sterkst. Maar als men het raam een rechten hoek draait, veroorzaakt men een afsterven van het beluisterde, dat in de tusschenliggende standen meer of minder sterk zal zijn.

De raamantenne wordt aan den ontvanger verbonden in de nabijheid van de spoel van den antenne-afstemkring, d.w.z. parallel met den eersten variabelen condensator (die dan voor het afstemmen dient). Het ontvangstvermogen 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 vergrooten, want dat zou aanleiding geven tot een te hooge zelfinductie om een juiste afstemming mogelijk te maken of tot een volkomen ontvangstbelemmering.

In vergelijking met een gewone antenne is het ontvangstvermogen van een raam gering. Rekening houdende met de gevoeligheid van de tegenwoordige superheterodynes, verhindert dit feit echter zelden het gebruik van de raamantenne.

Het richtingeffect 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: 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 den ontvanger bevinden, richt men het

182 raam naar dien zender, welchen men wenschte te beluisteren en zoo verzwakt men dan voldoende den invloed van den ongewenschten zender. Tenslotte maakt het gebruik van raamantennes het mogelijk de plaats van zenders te bepalen, een werkwijze, die bekend is onder den naam **radiogoniometrie** of **radiopeiling**. Om de positie van den 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 maxi-

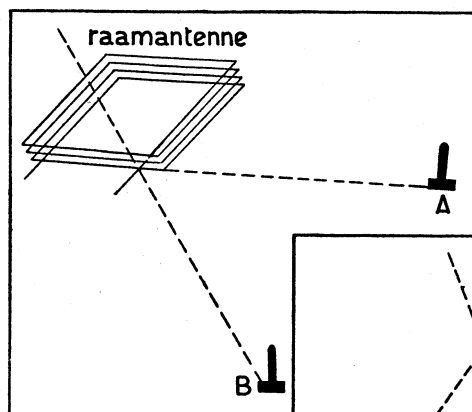


Fig. XXVII

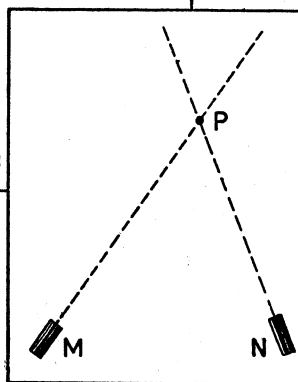


Fig. XXVIII

Fig. XXVII. Het naar den 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. XXVIII. De gelijktijdige ontvangst door de raamantennes M en N, die voldoende van elkaar zijn verwijderd, stelt ons in staat, de positie van den zender te bepalen.

mum aan ontvangststerkte geven; dat zijn, zooals wij gezien hebben, de richtingen, waarin voor ieder punt van ontvangst, de zender zich bevindt. Als men die richtingen uitzet op een kaart, vindt men op het snijpunt van de lijnen de plaats van den zender (fig. XXVIII).

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.

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 de amusementsmuziek, opvoedende praatjes, aangename of onaangename mededeelingen, speciale diensten bewijst, zooals het aangeven van den juisten tijd, het uitzenden van noodseinen, en ook van weerberichten.

Iederen dag ziet men overigens, dat het terrein van de toepassing van de radio wordt uitgebreid. Gisteren nog beperkt tot de overbrenging van Morse-teekens, daarna van muziek en het gesproken woord, brengen de radiogolven nu reeds de levende beelden door middel van de televisie over.

Daar zij tijd en ruimte opheffen, zullen de golven morgen misschien tusschen 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 universeele toenadering? Laten wij het hopen.....



AANHANGSEL.

VOOR HEN, DIE MET EEN EENVOUDIG GOEDKOOP TOESTEL
WILLEN BEGINNEN.

Het is gemakkelijk tegenwoordig een stel onderdelen uit den handel te betrekken en daarvan een „super” te bouwen. Wie echter veel plezier van zijn liefhebberij zou willen hebben, kan beter beginnen met een eenvoudig apparaatje, een kristalontvangertje, waarmede hij dan de eerste tochten in den aether kan afleggen.

Na zoo'n ontvangertje gebouwd te hebben — dat behoeft slechts zeer weinig te kosten, want men heeft er niet veel voor noodig en datgene, wat men gebruiken moet, kost niet veel — en na een beetje met de radio vertrouwd te zijn geraakt, kan men tot eenige uitbreiding overgaan door er wat onderdelen bij te koop; de onderdelen, die men dan al heeft, kan men blijven gebruiken.

In fig. 120 van dit aanhangsel ziet ge het schema van een kristalontvanger, dien ge, na dit boek bestudeerd te hebben, ongetwijfeld gemakkelijk met succes zult kunnen bouwen. En hapert er eens 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 vragenbureaux, die gaarne tot inlichtingen bereid zullen zijn. Maar, zooals boven gezegd, ge zult het best alleen af kunnen!

In het schema zijn P en S de spoelen van een spoelenstel, dat ge kant en klaar in den handel kunt kopen. Met een schakelaar G kunt ge omschakelen van lange golf op korte golf. KD is een kristaldetector, E de telefoon en C_E de daarbij behorende zg. telefooncondensator. De afstemcondensator is met C_d aangegeven, terwijl een andere variabele condensator C_a aanwezig is, waarmede de afstemming beïnvloed kan worden en tevens de selectiviteit en geluidsterkte. Niet dat de sterkte van dezen ontvanger zoo erg groot is, verre van dat, maar ge kunt een en ander nu eens goed onderzoeken en daarvan leeren. De antenne kunt ge óf direct op de eerste spoel P aansluiten, of via den condensator C_a op de tweede spoel S, die met de eerste inductief gekoppeld is.

Als ge spoelen en afstemcondensator koopt, moet ge er op letten, dat ge er later nóg zoo'n stel bij kunt kopen voor het toestel, dat in fig. 121 is geteekend en waarbij hierop is gerekend. Het is echter ook uitvoerbaar met verschillende spoelen en condensatoren, omdat de condensatoren apart 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.

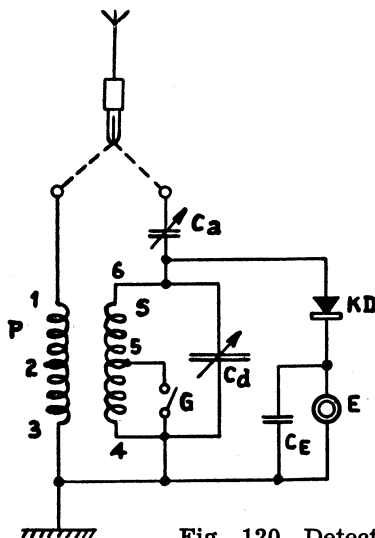


Fig. 120. Detector.

186 lamp voor tweezijdige gelijkrichting met bijpassenden voet, twee veiligheden V (zg. buiszekeringen) voor 60 mA, een smoorspoel Sm en twee condensatoren C₅ en C₆, voor afvlakking van den gelijkgerichten stroom. Deze condensatoren kunnen electrolytische zijn in één huls van 8 mF elk. Zij moeten berekend zijn voor 450—525 V (proefspanning). De condensatoren C₃ en C₄ zijn niet altijd noodig, zij dienen voor ontstoring en zijn elk 0,1 mF met hooge proefspanning, want er staat een tamelijk hooge wisselspanning op, nl. die van den transformator. Deze heeft twee wikkelingen W₃ en W₄, die elk bv. 250 of 300 V wisselspanning kunnen leveren, verder een wikkeling W₂ voor de gloeispanning van den plaatstroomlamp GL en W₁ voor de HF-lamp. Met W₅ is de primaire wikkeling aangegeven, die voor een of meer netspanningen geschikt kan zijn. Oppassen, dat ge de goede aansluitingen met het stop-contact verbindt!!

De opstelling volgt uit het schema zelf, met dien verstande, dat de HF-lamp tusschen de beide spoelenstellen komt te staan en de variabele afstemcondensatoren elk nabij het bijbehorende spoelenstel. De rooster- en anodeverbindingen met de HF-lamp moeten zoo kort mogelijk worden uitgevoerd en uit de buurt van elkander gehouden worden.

Met den condensator C_h stemt ge het eerste spoelenstel af en wel terwijl ge met den condensator C_d tegelijkertijd het andere spoelenstel afstemt. Ge vindt na eenige oefening vanzelf hoe ge dit moet doen. Met C_a kunt ge de primaire wikkeling van het eerste spoelenstel afstemmen.

Veel succes! En als ge ook met dit toestel de noodige ervaring hebt opgedaan, begint dan eens met een laagfrequenttrap er achter; het plaatstroomapparaat is op groote uitbreiding berekend! Ook kunt ge gaan beproeven in de plaats van den kristaldetector eens een roosterdetector — een lamp — te schakelen; leest daartoe het boek nog eens door.

Het veld van prettig en allerleerzaamst experimenteeren ligt voor u open; maakt er gebruik van en weest er gelukkig mede.

Als slot een waarschuwing. Laat uw toestel bij de verdere proeven nooit genereeren (meestal gillen, doch niet altijd), want niet alleen verkrijgt ge daardoor geen goede kwaliteit van de muziek of het gesproken woord, doch bovendien stoort ge er vele burens mede, terwijl het daarenboven wettelijk verboden is. Het plaatstroomapparaat moet ge tegen onwillekeurige aanraking beveiligen, dat zijt ge niet alleen tegenover u zelf, doch ook tegenover uw medemenschen verplicht. Het kost weinig moeite en geld en ge knutselt het gaarne zelf in elkaar! Een omgekeerd bakje van geperforeerd plaatijzer of blik kan voldoende zijn, maar past op voor kortsluiting.

Als ge aan het experimenteeren zijt geslagen en het bevalt u — en daar twifelen wij niet aan — raadt uw vrienden en kennissen dan aan het boek eveneens te koopen of geeft hun er bij gelegenheid een exemplaar van ten geschenke, ge bewijst uw vrienden een dienst er mede, aangezien het voor hen kan beteekenen het vullen van anders misschien vermorsten of verloren tijd.

Stuit ge bij het experimenteeren op vragen, wel, leest het boek nog eens goed door en tien tegen één, dat ge er zelf achter komt, waar de kneep zit.



