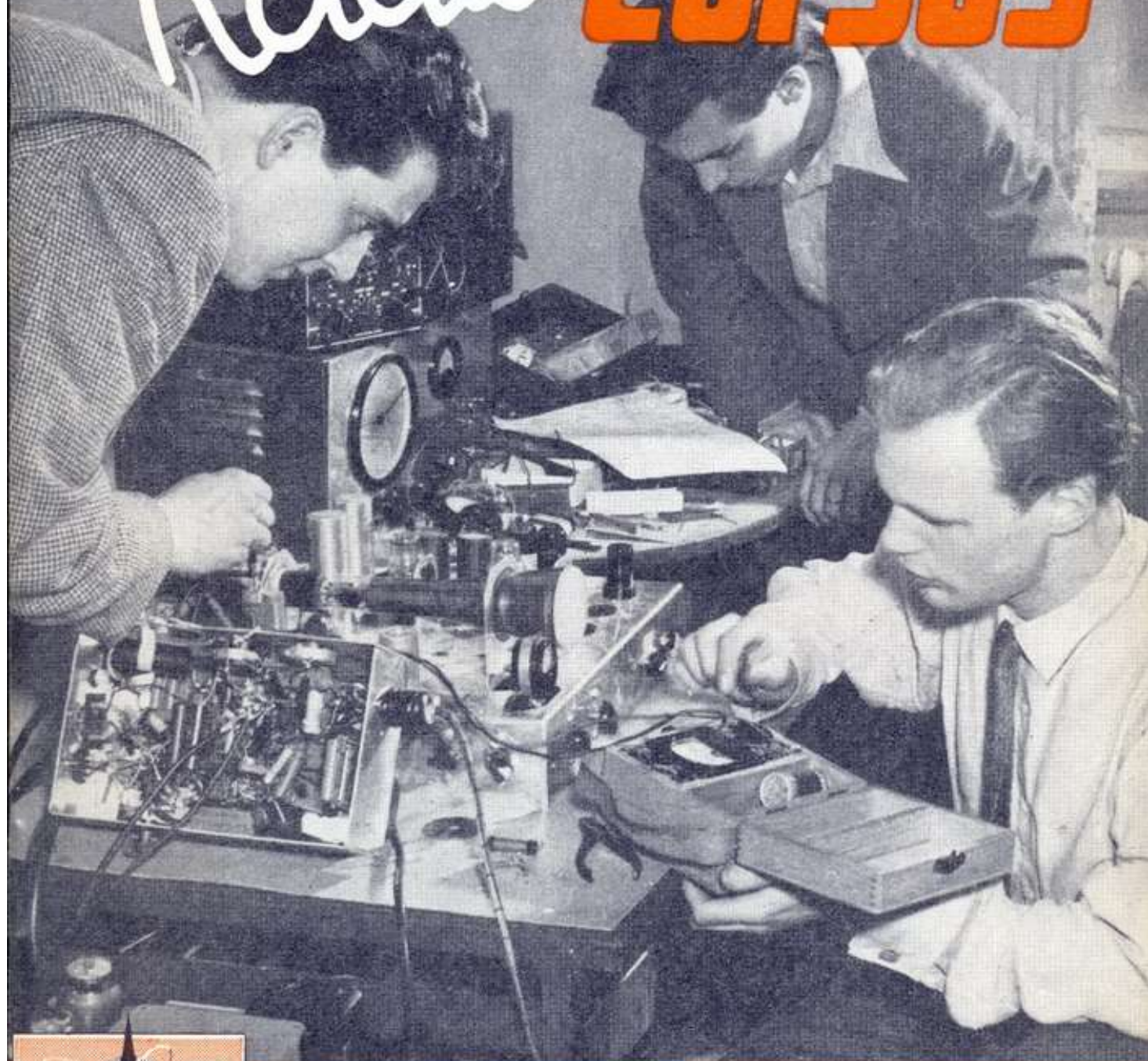


dr. Blan



Radio-CURSUS



vormingscentrum voor radio en electronica

INHOUDSOPGAVE

DRAADLOOS ZENDEN

Uitzending door inductie	3
Frequentie en golflengte	6
Afstemming en resonantie	7
Wisselstroomtheorie	7
Stroomresonantie	9
Spanningsresonantie	13
Uitzendingen van r.f. trillingen	17
Open trillingskring.....	17
Draaggolf	19
Moduleren	19
Gemoduleerde draaggolf	21
Ontvanginrichting	22
Detectie	23
Het bouwen van een kristalontvanger	25
Bedrading.....	27

COPYRIGHT DE MUIDERKRING — BUSSUM — NEDERLAND

NADruk, OOK GEDEELTELIJK, IS VERBODEN

DRAADLOOS ZENDEN

7e LES

In de zes voorafgaande lessen hebben we verschillende onderwerpen behandeld die zo bij Radio te pas komen, maar tot nu toe bleven wij toch „binnenshuis”; slechts de geluidstrillingen van onze krachtluidsprekers kregen wat meer vrijheid van beweging: we lieten ze naar buiten schallen.

Want waar het om gaat, het draadloos uitzenden en ontvangen, bleef nog een gesloten boek.

Voordat we dit boek openen moeten we echter een reeds eerder behandeld onderwerp terugroepen, n.l. de INDUCTIE.

UITZENDING DOOR INDUCTIE

We bespraken n.l. in les 3 de transformator. Hier zijn twee wikkelingen om één ijzerkern gewonden. Loopt er nu een wisselstroom door de primaire wikkeling, dan zal deze stroom in de secundaire wikkeling eveneens een stroom induceren.

We weten echter, dat deze ijzerkern slechts dient om de inductie te vergroten. Hieruit volgt, dat 2 spoelen die niet op een ijzerkern gewonden zijn, toch energie op elkaar kunnen overdragen, doch dat er véél meer windingen nodig zijn, om voldoende wederzijdse inductie (= overdracht) te kunnen bereiken. En als één der beide spoelen wél van een ijzerkern voorzien is en de andere niet, dan zal er toch overdracht plaats vinden van de spoel mèt ijzerkern naar de spoel zónder ijzerkern, omdat die kern een vrij sterk magnetisch veld om zich heen veroorzaakt.

Neem nu eens aan, dat onze buurman een geweldig grote grammofoonversterker heeft staan draaien; gelukkig gebruikt hij inplaats van een luidspreker slechts een koptelefoon, zodat we geen geluidstrillingen via de muren en open ramen kunnen horen. Stel nu ook eens, dat wij eveneens een versterker inschakelen, heel gevoelig, zodat zeer kleine trillingen van b.v. 5 milli-volt nog behoorlijk versterkt kunnen worden tot luidsprekersterkte en vervangen we de microfoon of pickup door een heel gewoon spoeltje van b.v. 500 windingen, dat door een heel lange afgeschermd snoerleiding met de ingang van onze versterker wordt verbonden.

Nu naderen we met ons spoeltje buurmans versterker; als we in de buurt van zijn voedingstransformator komen horen we een enorme bromtoon. Daar was het ons echter niet om begonnen; we zoeken nu zijn uitgangstransformator op en dan horen we uit onze luidspreker zijn grammofoonplaatje, helaas met de bromtoon op de achtergrond.

De spoel in zijn uitgangstransformator induceerde in onze op-pik-spoel dus elektrische spanningen en deze verbinding is nu werkelijk DRAADLOOS (fig. 1).



fig. 1

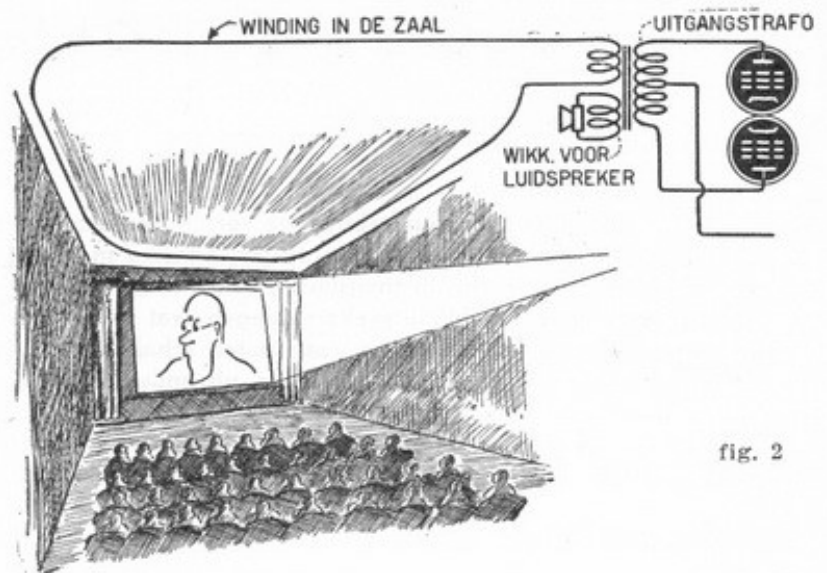


fig. 2

Inderdaad maakt men van deze OMROEPMETHODE gebruik in moderne bioscopen ten behoeve van de slechthorende bezoekers (fig. 2).

Parallel met de spreekspoel van de luidspreker(s) heeft men een gesloten draadlus rondom de gehele zaal gelegd en in het hoor-apparaat, dat in feite niets anders is dan een 3-traps l.f. versterkertje, heeft men vaak zo'n op-pik-spoel*) aangebracht, aangesloten op het rooster van de 1e buis. En dan kan de slechthorende bezoeker overal in de zaal het geluidsprogramma beluisteren; de microfoon schakelt hij tijdens 't luisteren met de spoel uit. De in zijn op-pik-spoel geïnduceerde spanningen zijn wel niet hoog, maar hij beschikt toch wel over voldoende versterking in zijn hoor-apparaat. Als we nu door de zaal-spoel maar voldoende grote stroom laten lopen via de uitgangstransformator, zouden we misschien de gehele stad wel van dat uitgezonden programma kunnen laten profiteren, maar... nu ontdekken we iets erg naars. In een theater, dat maar een klein eindje verder staat, hebben ze óók zo'n installatie aangelegd. Natuurlijk draaien ze daar een andere film en... we horen verschillende programma's dwars door elkaar heen.

Conclusie: deze draadloze laagfrequent uitzending kan nooit als omroep gebezigd worden, want de programma's van de diverse omroepen zijn volstrekt niet te scheiden.

Bovendien wordt de geïnduceerde spanning in onze op-pik-spoel snel zwakker, naarmate we verder van de zend-spoel afkomen.

Toch wordt een dergelijk a.f. omroepsysteem tegenwoordig wel in ziekenhuizen e.d. gebezigd als oproepsysteem voor verschillende personen.

De ontvanger worden daartoe niet alleen van een op-pik-spoel doch tevens van een filter voorzien.

Deze filters nu zijn voor elk ontvanger op verschillende frequenties afgeregeld, b.v. op 1000 Hz, 2000 Hz, enz., volgens een bepaalde afspraak. Door nu via de versterker één van deze bepaalde frequenties uit te zenden begint één der zakontvangers die toon weer te geven. En dit betekent, dat de betrokkene zich via de telefoon met de oproepcentrale in verbinding moet stellen. Men noemt dit paging systemen. Wanneer we dus meer programma's gelijktijdig willen uitzenden

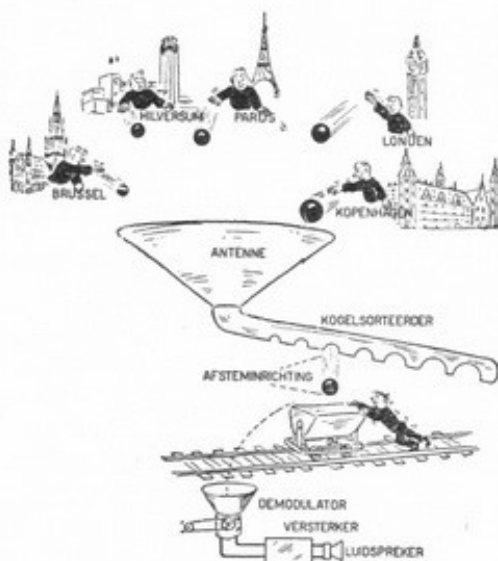


fig. 3

*) De Engelsen noemen dat een pick-up coil.

den, dan zullen we ze in een jasje moeten steken, dat van buitenaf herkend en gekozen kan worden. Ongeveer zoals bij een kogelsorteermachine in de rijwielfabriek: een schuin aflopende goot, waarin gaatjes in opvolgende grootte zijn aangebracht (fig. 3). Gooien we nu ongesorteerde kogeltjes in het reservoir boven aan de goot, dan rollen ze allen naar beneden en ieder rolt door tot het gat waar hij doorheen kan. Het kleinste gat zit boven; het grootste onderaan de baan. En onder ieder gat staat een doosje, dat we met de afstemkringen in onze ontvanger kunnen vergelijken: als we onze ontvanger afstemmen op een station, dan plaatsen we dus het doosje onder het gat, waaruit de gewenste kogels rollen. We kraken dan zo'n kogeltje netjes open en halen het programma van onze smaak er uit; de andere kogels laten wij ongebruikt om ons heen gaan.

Het probleem is dus: we moeten de verschillende omroepzenders in binnen- en buitenland zo ver zien te krijgen, dat ze hun programma's in kogels van verschillende afmeting verpakken en de lucht in slingeren; de luisteraars moeten dan elk voor een behoorlijke opvangtrechter, kogelsorteerder en kogel-kraker zorgen. Het in kogels verpakken noemen we **MODULEREN**; het in de lucht slingeren is **UITZENDEN**; de trechter is de antenne; de kogelsorteerder is onze **AFSTEM-INRICHTING** (het selectie- of kiesorgaan) en de kogelkraker is de **DEMULATOR** (of detector, gelijkrichter).

De oplossing heeft men als volgt gevonden:

Uit de proeven van Heinrich Hertz was gebleken, dat een elektrische trilling op één plaats kon worden opgewekt en uitgezonden en op een andere plaats, enige afstand van de „zender” verwijderd, kon worden ontvangen.

De begrippen golflengte en frequentie waren op dat tijdstip nog niet zo scherp belicht: Er werd slechts hier een elektrische trilling uitgezonden en daar ontvangen. Aan de ontvangst-zijde konden we dus alleen zeggen: „hij zendt wel” of: „hij zendt niet”. Daar het Morse-schrift, dat al sedert omstreeks 1850 bij de draadtelegrafie in gebruik is, slechts een aaneenschakeling is van „wel” en „niet” doorgaan van stroom, kon het draadloos **TELEGRAFEREN** spoedig doorgang vinden met behulp van dat morse-stelsel.

Die uitgezonden trilling had een sinus-vormig verloop zoals dat bij een normale wisselstroom het geval is; de frequentie, dus het aantal malen per seconde dat een „cyclus” zich herhaalt (zie 3-9), was héél groot en lag ver boven de uiterste grens van hoorbaarheid, die, zoals we in les 6 zagen bij ongeveer 15000 per/sec of 15000 Hz ligt. Noemden we die trillingen die in het „hoorbare” gebied liggen, dus beneden 20000 per/sec. laagfrequente- of audio-frequente trillingen, de trillingen die voor radio gebedigd worden noemt men daarentegen **HOOG- OF RADIO-FREQUENTE TRILLINGEN**, afgekort h.f. of r.f. trillingen.

Was men in de tijd van Hertz al gelukkig dat men „zenden” en „ontvangen” kon, toen Marconi tegen het einde der vorige eeuw deze experimenten praktisch ging toepassen, voelde men de noodzaak van een keuze-orgaan, een selectiemiddel, waarmee men in staat zou zijn tegelijkertijd meerdere zenden- en ontvangkanalen te gebruiken zonder wederzijdse storing. En dit is mogelijk door toepassing van afstemkringen. Maar voordat we deze gaan bespreken willen we het eerst eens hebben over het verband tussen frequentie en golflengte.

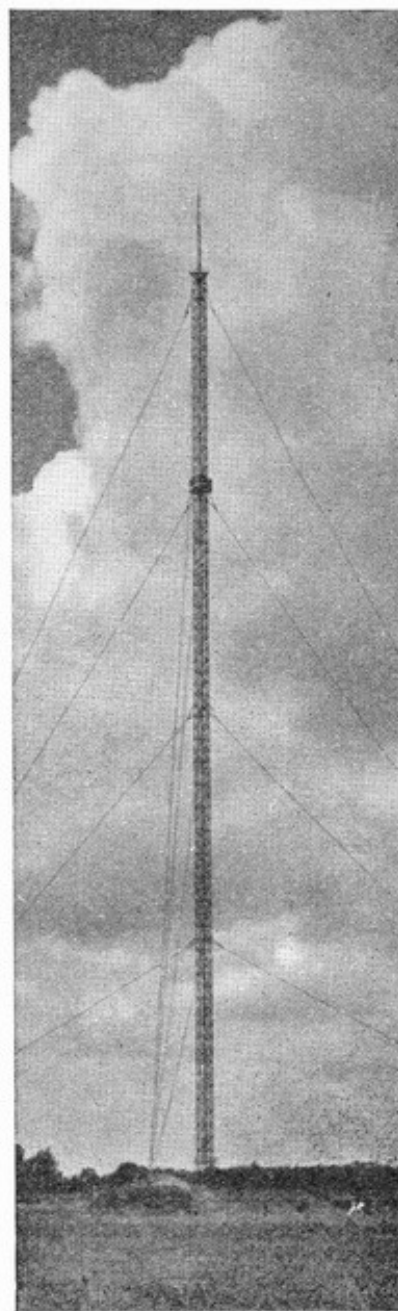


fig. 4
De mast van de zender te Lopik

FREQUENTIE EN GOLFLENGTE

We zullen ter verklaring maar weer een populair voorbeeld nemen: de spoorlijn Amsterdam-Amstelstation - Arnhem. Hoe groot die afstand is, doet er niet toe; om het kwartier gaat er een trein. Men zegt dan: de frequentie, aangeduid met de letter, f is 4 per uur of: 4/u.; diensgevolge duurt een periode in dit geval $\frac{1}{4}$ uur. De snelheid van deze trein, die onderweg nergens stopt, is 100 km/u. Als we nu ergens op een willekeurige plaats aan die lijn gaan zitten, kunnen we duidelijk een golfverschijnsel waarnemen: intense stilte, afgezien van enige hongerige loeiende koeien en fluitende vogels, aanzwellend gerommel van de trein, gedaver tijdens het voorbijrijden, afstervend lawaai en dan weer intense stilte.

En ook aan het eindstation is een dergelijke golfbeweging goed te bespeuren: stilte, de trein komt binnen; plotseling worden veel reizigers uitgebraakt, tenslotte lopen er nog wat reizigers te dreutelen totdat 't perron uitgestorven raakt en dan stormt de nieuwe trein weer binnen, is dus de oude „periode” weer afgelopen en begint een nieuwe. Overal waar we de tijd meten blijkt dit verschijnsel 4 $\times$ per uur voor te komen; de frequentie blijft dus 4/u. Maar hoe „lang” is dat verschijnsel, zo'n periode nu; over welke „weg” strekt zich dit nu uit?

Welnu, de lengte van zo'n golf is de afstand, die de trein in de tijdsduur van 1 periode, een kwartier, aflegt. De snelheid per uur is 100 km, de frequentie van de dienst is 4 en

de golflengte berekenen we aldus: $\frac{100}{4} = 25$ km. Die golf-

beweging staat overigens niet stil, maar gaat eveneens van Amsterdam naar Arnhem; het landschap echter blijft waar het is.

Wanneer de trein een snelheid heeft van 90 km/u. en er ver-

trekken er 6 per uur ($f = 6$), dan is de golflengte $\frac{90}{6} = 15$ km.

Hoe is 't nu bij de elektriciteit? Net zo. Alleen hebben we hier te maken met de snelheid van de elektriciteit, die even groot is als die van 't licht, n.l. 300.000 km/sec. = 300.000.000 m/sec.

Het begrip frequentie, in de elektriciteit: aantal perioden per seconde, kunnen we zonder meer overplaatsen naar deze beschouwing en de golflengte vinden we weer netjes in meters, na deling:

$$\frac{\text{snelheid van de elektriciteit}}{\text{aantal perioden per seconde}} = \text{golflengte} = \lambda$$

λ is de griekse letter lambda, waarmee we het begrip golflengte plegen aan te duiden.

Als we nu b.v. een frequentie van 1.006.711 Hz hebben, hoe groot is dan de golflengte?

De snelheid van de elektriciteit is 300.000.000 m/sec.; de frequentie is 1.006.711 Hz; de gevraagde golflengte λ is dus

hier: $\frac{300.000.000}{1.006.711} = 298$ m. En ziet, dat is onze trouwe Hil-

versumse zender: golflengte is 298 m; $f = 1.006.711$ Hz of

1.006,711 kHz.

$$\text{Dus: } \lambda = \frac{300.000.000}{f} \text{ meter en } f = \frac{300.000.000}{\lambda} \text{ Hz.}$$

Tot dusver gebruikte men steeds het begrip golflengte; het is echter rationeler om met frequenties te werken; worden de getallen te groot, dan spreken we van kHz (kilo = 1000) of MHz (Mega = 1.000.000). Wonderlijk genoeg spreekt men wel weer van metergolven (bij televisie) en centimetergolven (radar), terwijl de Amerikanen niet het begrip Hz doch C/s (cycles per seconde) gebruiken.

Nu we 't toch over golflengten hebben, ook bij geluidstrillingen kan men over golflengten spreken. Doch de snelheid van de geluidsgolven is maar gering: 343 meter per seconde, of: 343 m/sec. Bij een frequentie van 1000 Hz is de golf-

$$\text{lengte dus: } \frac{343}{1000} = 0.343 \text{ m. En als we met wat lagere fre-}$$

quenties (tonen) te maken hebben, b.v. 50 Hz, dan krijgen

$$\text{we } \frac{343}{50} = 6,86 \text{ m!}$$

Hierin zien we meteen, waarom we een klankbord (baffle) nodig hebben voor de lage tonen (6—10); zulke lange golven „grijpen” om een klein klankbord heen, van achteren naar de voorkant en omgekeerd; ze komen elkaar „onderweg” tegen en remmen uiteindelijk de conusbewegingen op die frequenties af (fig. 5).

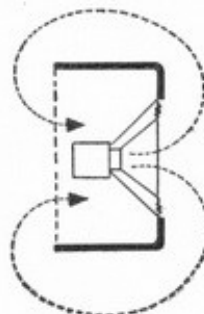


fig. 5

AFSTEMMING EN RESONANTIE

We komen nu aan de afstemming, het wonderlijke natuurkundig verschijnsel dat „radio” mogelijk maakt en die plaats vindt d.m.v. afstemkringen.

Om deze te verklaren maken we gebruik van de z.g.

WISSELSTROOMTHEORIE,

één der moeilijkste onderwerpen uit de elektrotechniek.

In principe kunnen we voor elke denkbare frequentie een afstemkring maken, zowel in het laagfrequente als in het hoogfrequente gebied. Voor het gemak nemen we nu maar 't laagfrequente gebied. We voorzien ons eerst van een z.g. toongenerator: een kastje met een knop en een schaalverdeling (fig. 6). Het is een kleine wisselstroomcentrale, maar niet voor alleen b.v. 50 Hz. Neen, door maar aan de knop te draaien kiezen we elke frequentie van 20 tot 20.000 Hz! Dit apparaat is bestemd voor laboratoria en service-inrichtingen, en daarmee gaan wij nu enige proeven verrichten. De output is een zuiver sinusvormige wisselspanning; de frequentie kunnen we kiezen en ook de amplitude van de spanning kunnen we met een knop instellen, b.v. van 0 tot 100 volt. Wanneer we nu over de uitgangsklemmen een condensator aansluiten, dan zal daardoor een stroom lopen. Met de ampèremeter A is dat direct aantoonbaar; maar al hadden we deze meter niet, dan konden we de impedantie van de condensator R_C toch berekenen met behulp van de formule

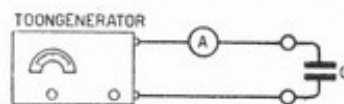


fig. 6

$$\text{van blz. 3-21: } R_C = \frac{1}{2\pi fC}.$$

De stroom door de C is dus altijd te berekenen,

$$(I_C = \frac{E}{R_C}), \text{ wanneer de generatorspanning } E \text{ maar bekend is.}$$

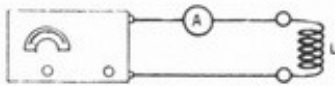


fig. 7

Op dezelfde uitgangsklemmen sluiten we nu eens voor de variatie een spoel aan inplaats van die condensator (fig. 7). Ook nu vindt er stroomdoorgang plaats; dat zien we wel aan de meter; bovendien zouden we daar weer door berekening achter kunnen komen, want we kennen de formule om de impedantie van een spoel voor een bepaalde frequentie te berekenen (3-16), n.l.: $R_L = 2\pi fL$.

Ook in dit geval laat de stroom, ditmaal door de spoel,

$$\text{zich berekenen: } I_L = \frac{E}{R_L}.$$

Verdraaien we de knop, dus veranderen we de frequentie, dan zal, wanneer er een CONDENSATOR staat ingeschakeld, bij hoger wordende frequentie R_C kleiner waarden krijgen en de stroom dus TOENEMEN, terwijl bij lager wordende frequentie R_C groter wordt en de stroom I_C AFNEEMT. Met andere woorden: de capacatieve reactantie van een bepaalde condensator is omgekeerd evenredig met de frequentie.

Verdraaien we echter de frequentieknop wanneer er een SPOEL op de toongenerator aangesloten staat, dan zal bij toenemende frequentie R_L GROTER worden en de stroom I_L KLEINER; bij afnemende frequentie treedt het omgekeerde op. Met andere woorden: de inductieve reactantie van een bepaalde spoel is recht evenredig met de frequentie.

Nu gaan we eens tegelijkertijd een spoel en een condensator op de generator aansluiten en dan zitten we midden in de onverwachte gebeurtenissen.

Want we mogen verwachten, dat de meter A de totale door de generator geleverde stroom I_G zou aanwijzen, dus de som van I_C en I_L (fig. 8).

Om bij een getallenvoorbeeld te blijven: neem maar aan dat bij een bepaalde frequentie de stroom door de spoel (I_L) = 5 A en de stroom door de condensator (I_C) = 3 A. En nu levert de generator niet $5 + 3 = 8$ A, neen, I_G blijkt te zijn: $5 - 3 = 2$ A, dus het verschil van I_L en I_C .

En wanneer bij een andere frequentie de stroom $I_L = 4$ A blijkt te zijn en de stroom door de condensator $I_C = 5$ A, dan wijst de meter A (I_G) aan: 1 A.

Algebraïsch gesproken zou dit — 1 A moeten zijn, want $I_L - I_C = 4 - 5 = -1$, maar helaas kunnen wisselstroommeters nooit negatieve waarden aanwijzen: we lezen 1 A af en daarmee uit. Wanneer we, in 't algemeen gesproken, bij wisselstroom gebruik zouden maken van gelijkstroommeters zouden we de wijzer niet kunnen zien bewegen, want deze kan de snelle fluctuaties niet volgen. Zouden we echter een wisselstroom met een zéér lage frequentie opwekken en tóch gelijkstroommeters in de schakeling van fig. 8 toepassen, dan zouden we op een fotografische momentopname van de 3 meters inderdaad zien, dat I_G steeds gelijk is aan het verschil van I_L en I_C en óók, dat I_G negatief kan zijn. Bij dergelijke

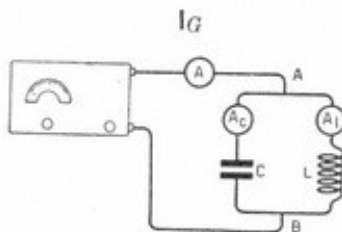


fig. 8

„momentopnamen” meten we de z.g. ogenblikswaarden van stromen of spanningen. Maar we zijn nog lang niet aan 't eind van onze bevindingen: Wanneer we zo de afstemknop van de generator verdraaien, dus de frequentie van de wisselstroom hoger of lager maken, dan blijken we op de schaal één punt tegen te komen, waarbij de generatorstroom I_G plotseling op 0 valt. En inderdaad blijken nu de meters I_L en I_C beide een even hoge stroom aan te wijzen, dus $I_L = I_C$, hetgeen medebrengt: $I_L - I_C = 0 = I_G$.

Dit is een wel zeer bijzondere toestand: I_L en I_C zijn beide gelijk in grootte doch, gezien vanuit de generator, van tegengestelde richting.

Voordat we nu verder gaan met ons betoog moeten we ons even realiseren wat er gebeurt bij dat knop-verdraaien; beginnend bij de lage frequenties is de afgelezen waarde van I_L hoog en van I_C laag. In getallen bijvoorbeeld: $I_L = 6$ A en $I_C = 1$ A; I_G is $6 - 1 = 5$ A. Draaien we nu omhoog, dan wordt I_L steeds kleiner, maar I_C groter, totdat er een frequentie komt, waarvoor ze beide gelijk zijn. $I_L = 3\frac{1}{2}$ A en $I_C =$ ook $3\frac{1}{2}$ A. De stroom die de generator levert, I_G blijkt nul geworden te zijn. Draaien we weer verder naar een nog hogere frequentie, dan wordt I_L nog kleiner en I_C nog groter; b.v. I_L wordt 1 A en I_C wordt 6 A. De totale stroom I_G is $1 - 6 = -5$ A; we lezen echter af: 5 A.

Hoe dat nu met dat negatieve karakter van die stroom door C zit zien we verderop nog, maar overigens moeten we erkennen, dat het afnemen van de stroom door L en het toenemen van de stroom door C bij toenemende frequentie, toch eigenlijk te verwachten was na hetgeen we over toe- en afnemende R_C en R_L , resp. bij af- en toenemende frequentie enige pagina's terug schreven bij de figuren 5 en 6.

Op zichzelf is het dus helemaal zo gek niet, dat er een frequentie moet bestaan waarvoor $I_L = I_C$ en dat dus óók de inductieve weerstand R_L gelijk is aan de capacatieve weerstand R_C .

Opmerkelijk blijft echter het feit, dat op die frequentie de totale stroom I_G nul was en dat de stromen door L en C gelijk en tegengesteld van richting zijn.

De generator levert dus géén stroom en toch loopt er een stroom door L en C!

In fig. 9 geven we, om het zo maar weer te zeggen, een momentopname en wel op het ogenblik, dat de stroom door de spoel van A naar B gericht is en die door de condensator van B naar A. Zoals we zagen is de stroom naar buiten = nul maar in die kring L-C zelf blijkt wel degelijk een stroom te lopen, een wisselstroom wel te verstaan; in fig. 10 geven we wéér een momentopname, maar nu op het ogenblik dat de stroom door de spoel van B naar A en door de condensator van A naar B loopt! De beide in fig. 9 en 10 getekende gebeurtenissen spelen zich dus elk in een halve periode van de wisselstroom af.

We noemen de frequentie, waarbij dit verschijnsel optreedt, de RESONANTIE FREQUENTIE en dit verschijnsel heet hier:

STROOMRESONANTIE.

In de L—C-kring loopt dan een wisselstroom op zijn eigen houtje, doch alleen dán, als de z.g. resonantie optreedt; in fig. 11 loopt hij linksom, in fig. 12 rechtsom.

Omdat men hierin wel een (wat vage) overeenkomst met een vliegwiel ziet, noemt men een dergelijke L—C-kring ook wel een vliegwielkring.

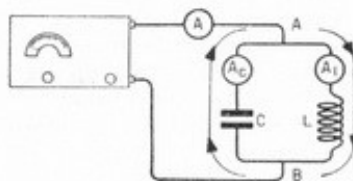


fig. 9

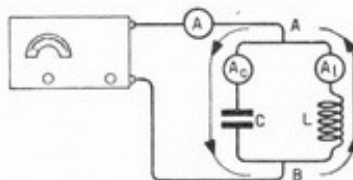


fig. 10

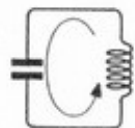


fig. 11

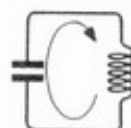


fig. 12

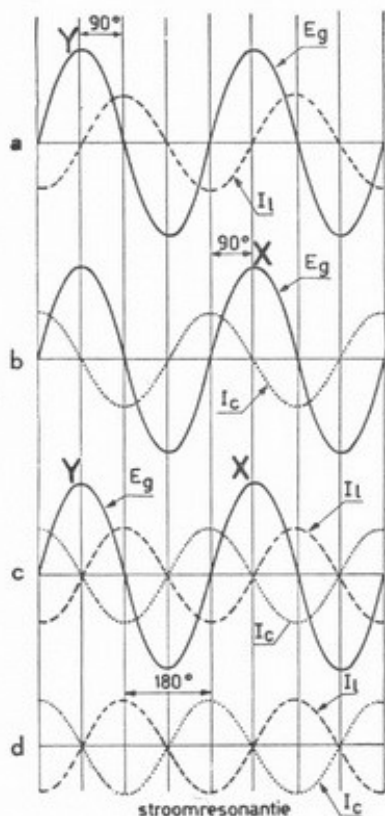


fig. 13

a: de stroom door de spoel ijlt 90° na op de spanning over de L-C kring.

b: de stroom door de condensator ijlt 90° vóór op de spanning over de L-C kring.

c: de stroom door de spoel ijlt 90° na en de stroom door de condensator ijlt 90° vóór op de spanning over de L-C kring.

d: de stroom door de spoel ijlt 180° ($= 2 \times 90^\circ$) na op de stroom door de condensator.

I_C en I_L zijn gelijk en tegengesteld; de inwendig **rondgaande** stroom door de kring $= I_L = I_C$; de uitwendige stroom door de L-C kring, dus $I_g = 0$.



fig. 14

We zullen de zaak nu maar direct uit de doeken doen: het is de **FAZE** van de wisselstroom in de beide kringtakken, die ons gefoet heeft.

Natuurlijk, we weten allemaal wel, dat in de spoeltak de stroom 90° op de spanning na-ijlt; in de condensator-tak ijlt de stroom 90° vóór, komt dus eerder dan de spanning tot zijn maximum. Maar denk er om: we moeten die faze van de stromen door L en C vergelijken ten opzichte van de faze van de spanning zoals die uit de generator komt; die spanning is hier immers gelijk voor zowel L als C en daarom te beschouwen als het enig, bindende ofwel gemeenschappelijke element. We noemen deze generatorspanning ook wel de opgedrukte spanning.

In fig. 13a tekenen we de sinuskrumme van de generatorspanning E_g en daarbij de sinuskrumme van de na-ijlende stroom I_L door spoel L.

Men tekent vaak twee of meer tegelijkertijd optredende verschijnselen op één tekening (fig. 13); het éne verschijnsel, in dit geval E_g tekenen we dan in een gewone, een z.g. getrokken lijn, terwijl het andere verschijnsel, hier I_L in een streeplijn en I_C in een stiplijn wordt getekend. Deze manier van tekenen geschiedt niet wegens ruimtegebrek of papier-schaarste, maar om de onderlinge samenhang van de feiten vast te leggen. Horizontaal ziet men dus, in tijd uitgedrukt, ca. 2 perioden van een wisselspanning en de daarbij optredende stromen door de spoel en de condensator.

In fig. 13b geven we wéér de kromme van E_g maar nu met de kromme van de voorijlende stroom I_C door condensator C, terwijl in fig. 13c de combinatie van de spanningscurve en de beide stroomcurven ($=$ krommen) te zien is en nu komt de aap uit de mouw: de 90° vóór ijende stroom door C, afkomstig van de spanningsgolftop X, is precies 180° gedraaid t.o.v. de 90° na-ijlende stroom door L, afkomstig van een eerdere spanningstop Y. Ze zijn dus precies in tegenfaze. En voor één, zeer bepaalde frequentie zijn de amplituden van beide stromen bovendien even groot, we zien dat in fig. 13d. Ze heffen elkaar dus precies op, zodat de stroom in meter $I_g = 0$.

We kunnen 't geval van resonantie ook zien als twee vrienden L en C, die naar moppen luisteren, die spanning E vertelt: Condensator lacht al van te voren en Spoel lacht pas als spanning E alreeds aan een nieuwe mop begonnen is: daardoor lachen Spoel en Condensator tóch nog tegelijk, maar Condensator is één mop ($=$ sinustop) vóór op Spoel, die nog om de vorige mop lacht (fig. 14).

We kunnen deze toestand het best vergelijken met b.v. de slinger van een klok, zo'n Friese klok waarvan de slinger circa 60 cm lang is (fig. 15). We nemen hem uit de klok, hangen hem aan een spijker en houden het ondereind b.v. 30 cm opzij bij A (fig. 16). Dan laten we die slinger los en jawel, hij slingert door zijn laagste punt en schiet naar de andere kant (B), blijft dan even stilstaan en komt weer terug, bijna tot 't punt van uitgang (A). Zo blijft hij heen en weer slingeren, met steeds kleiner wordende uitwijking (amplitude) om tenslotte stil te staan; een dergelijke trilling noemen we een gedempte trilling. Natuurlijk wordt er gevraagd: hoe komt het nu dat die slinger niet dóór blijft slingeren? Wel, omdat er luchtweerstand overwonnen moet worden en ook het draai-punt geeft wrijvingsweerstand. We laten het echter nooit zo ver komen, dat de slinger stil gaat hangen en geven hem daartoe regelmatig een licht zetje, telkens als hij van ons

vandaan gaat. Ook die slinger heeft een bewegingsfrequentie: hij zal b.v. $100 \times$ per minuut heen en terug gaan; f is hier dan $100/\text{min}$. Wanneer we op deze wijze de trilling onderhouden spreken we van een **ONGEDEMPTE** trilling.

Willen wij hem hier aan de gang houden, dan moeten wij hem $100 \times$ per minuut een duwtje geven, niet meer en niet minder. Want als we het vaker dan $100 \times$ per minuut of minder vaak zouden doen, dan gaat hij heel raar heen en weer rukken; dat kennen we trouwens allemaal wel van een schommel, die door een „ondeskundige” wordt aangeduwd. En geven we de slinger nu eens geen „zetje” maar een flinke „zet”, dan zal hij verder uitzwaaien (= amplitude wordt groter); zijn snelheid wordt groter, maar de tijd die hij nodig heeft om één maal heen en terug te zwaaien blijft even groot. Ook zijn f blijft dus onveranderd.

Binnen in de klok zorgt de veer of het gewicht er voor, dat hij een bepaald aantal malen, b.v. $100 \times$ per minuut zijn duwtje krijgt en daarom blijft hij rustig doorlopen op diezelfde frequentie, die wij zijn **EIGEN FREQUENTIE** noemen, welke bepaald wordt door de lengte van de slinger en het gewicht van het stukje lood onderaan.

En willen we nu de slinger sneller heen en weer laten gaan, dus de frequentie verhogen, dan moeten we of de slinger verkorten of het gewichtje verkleinen; bij langzamer lopen gaat 't net andersom.

Welnu, in onze L-C kring in stroomresonantie staan de zaken er precies zo bij. De verliezen in deze trillingskring worden door weerstand in de spoel of lek in de condensator veroorzaakt.

En willen we de frequentie **VERGROTEN**, dan moeten we of de zelfinductie van L of de capaciteit van C **VERKLEINEN**; voor het verkleinen van de frequentie gaat 't weer precies andersom (fig. 17).

Bij de slinger verklaren we dit verschijnsel aldus: hier is een wisselwerking van a) de **TRAAGHEID** van een gewicht, de tegenzin wat betreft het opvolgen van bevelen en b) de **VEERKRACHT**, ontstaan door de naar beneden gerichte zwaartekracht. Door het gewicht op te tillen werken we de zwaartekracht tegen; laten we het los, dan herneemt die zwaartekracht zijn rechten zodat de slinger schielijk naar zijn laagste punt gaat; helaas is de traagheid het hier niet mee eens; hij zorgt er voor dat de slinger doorschiet naar B. Dáár echter geeft de traagheid 't op en wordt de zwaartekracht weer de baas: de slinger keert terug en zo gaat 't maar door. De energie zetelt dán in de traagheid en dán weer in de veerkracht en wisselt dus steeds van plaats.

Bij onze spoel en condensator gaat 't op geheel dezelfde manier: de spoel heeft, zoals we al eerder zagen, met de traagheid te kampen en de condensator moeten we maar als een elastisch vat zien, zoiets als een rubberband. De functie van een condensator als „elastisch vat” is te vergelijken met de werking van een accu. En dát gezichtspunt geeft ons een verklaring van de beschouwing van een condensator als „negatieve weerstand”. Want een accu als „stroomleverancier” is in feite het tegengestelde van de „weerstand”. De elektrische energie hoopt zich nú eens op in de spoel en dán weer in de condensator. Nu zijn echter zowel de spoel als de condensator lang niet volmaakt; de spoel heeft ohmse weerstand en de condensator kan, populair gesproken „lek” zijn. Elke periode dat de stroom van spoel naar condensator loopt en terug ondervindt deze dus weerstand, waar-

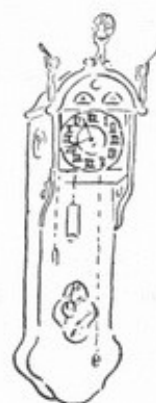


fig. 15

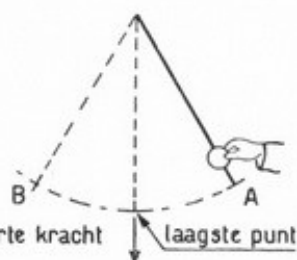


fig. 16

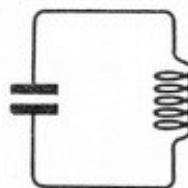


fig. 17

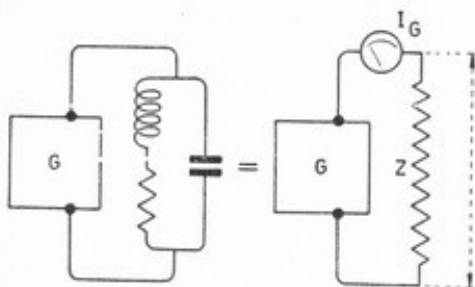


fig. 17a

Stroomresonantie

I_G minimaal, nagenoeg 0,
dus Z blijkbaar zeer hoog

$$\left(Z = \frac{L}{R \times C} \right)$$

door enige elektrische energie in warmte wordt omgezet, wat ten koste gaat van de kringstroom, die tenslotte nul zou worden. Waren deze verliezen er niet, dan zou de L-C kring na eenmaal „aangestoten” te zijn, onbepaalde tijd kunnen blijven door „vliegwielen” zonder krachtstoevoer van buitenaf. Helaas bestaat deze ideale toestand niet en moet de generator dus een stroom I_G blijven leveren, welke stroom echter zeer klein kan zijn, vergeleken met de kringstroom.

Is een L kring dus in stroom-resonantie, dan is blijkbaar de inductieve weerstand R_L gelijk aan de capacatieve weerstand R_C en kunnen we dus zeggen:

$$R_L = 2 \pi f L = \frac{1}{2 \pi f C} R_C \quad \text{of:} \quad R_L = R_C$$

Zijn nu van een spoel de zelfinductie L en van een condensator de capaciteit C bekend, dan kunnen we berekenen, bij welke frequentieresonantie zal optreden, door f uit deze vergelijking op te lossen.

$$2 \times \pi \times f \times L = \frac{1}{2 \pi f C} \quad \text{of:} \quad 2 \pi f L \times f = \frac{1}{2 \pi C}$$

Gaan we verder, dan vinden we:

$$f \times f = \frac{1}{2 \pi \times 2 \pi \times L \times C} \quad \text{of} \quad f^2 = \frac{1}{(2 \pi)^2 \times L \times C}$$

$$f_{res} = \sqrt{\frac{1}{(2 \pi)^2 \times L \times C}} = \frac{1}{\sqrt{(2 \pi)^2 \times L \times C}} = \frac{1}{2 \pi \times \sqrt{L \times C}}$$

Dit is de bekende FORMULE VAN THOMSON; L is hierbij uitgedrukt in Henry, C in Farad, terwijl we f in Hertz uitdrukken.

Met behulp van deze formule kunnen we dus berekenen, voor welke frequentie een stroom-resonantie zal optreden, wanneer de zelfinductie en capaciteit bekend zijn. Maar als in het omgekeerde geval de frequentie gegeven is, dan kunnen wij de daartoe vereiste waarden van L en C berekenen. We hebben hierbij een zekere mate van vrijheid: het product van de zelfinductie in Henry's en de capaciteit in Farads moet een bepaalde waarde hebben, het z.g. L-C product. De onderlinge waarden van L en C doen er voor het ogenblik dus niet zoveel toe, mits echter hun product maar de gevraagde waarde heeft. L en C zijn dus hier omgekeerd evenredig met elkaar.

Omdat tijdens resonantie op een bepaalde frequentie de L-C kring als zodanig nagenoeg géén stroom opneemt uit de generator (I_G is ca. nul), mogen we nu wel als praktische conclusie vaststellen, dat de L-C kring als een zeer hoge weerstand beschouwd mag worden. Omdat het een schijnweerstand is, spreken we van impedantie, aangeduid met Z . Om nu te zien hoe groot Z wordt, moeten we ons realiseren, dat in het algemeen gesproken, dus zowel in als buiten resonantie, Z de vervangingswaarde (R_V) betekent van de parallel geschakelde R_L en R_C .

$$\text{We weten, dat } R_V = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}; \text{ we krijgen hier dus:}$$

$$Z = \frac{R_L \times (-R_C)}{R_L - R_C} = \frac{2\pi fL \times \frac{1}{2\pi fC}}{2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC}}$$

Dit is dus de algemene formule, maar bij resonantie worden R_L en R_C aan elkaar gelijk, zoals we weten en dan komt onder de streep 0 te staan, zodat Z dan oneindig groot wordt. In de praktijk wordt de formule nog véél ingewikkelder, omdat de ohmse weerstand van de spoel dan ook nog in rekening gebracht moet worden.

We zullen dit hier maar niet verder uitwerken en volstaan met te zeggen, dat de waarde van Z dan niet oneindig groot wordt. De formule wordt uiteindelijk:

$$Z = \frac{L}{C \times R}, \text{ waarin } L \text{ de zelfinductie van de spoel in Henry}$$

voorstelt, C de capaciteit van de condensator in Farads en R de ohmse weerstand van de spoel.

SPANNINGSRESONANTIE

We weten echter, dat we een spoel en een condensator ook in serie op onze toongenerator kunnen aansluiten (fig. 18).

En Z , de totale impedantie, is dan weer gelijk aan de serieschakeling R_L en R_C , dus $Z = R_L + (-R_C)$.

We weten dat $R_L = 2\pi fL$ en $R_C = \frac{1}{2\pi fC}$. Hieruit volgt:

$$Z = 2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC},$$

waarbij wij volgens gewoonte weer R_C als een negatieve waarde beschouwen. De stroom I , die zowel de spoel als de

condensator doorloopt is dan volgens Ohm: $I = \frac{E_G}{Z}$ waar-

bij E_G de generatorspanning voorstelt.

Daar een spoel zonder ohmse weerstand niet bestaat, moeten we ook R in rekening brengen, maar dat stellen we nog een ogenblik uit.

Ten gevolge van de stroom I door zowel R_L als R_C zullen er spanningen over L en C komen te staan; zij vormen dan doodgewoon een potentiometerschakeling. We kunnen deze gemakkelijk berekenen met behulp van de wet van Ohm. Over de spoel meten we dan: $E_L = I \times R_L$ en over de condensator: $E_C = I \times -R_C$.

Een eigenaardige consequentie van de negatieve weerstand $-R_C$ is nu, dat de spanning E_C eveneens een negatieve waarde zal krijgen.

In het algemene geval zullen deze spanningen niet aan elkaar gelijk zijn. De generatorspanning blijkt dan gelijk te zijn aan het verschil, dus $E_G = E_L - E_C$.

Verdraaien we dan de knop over de schaal, dan komen we een frequentie tegen, waarbij er juist een abnormale gróte

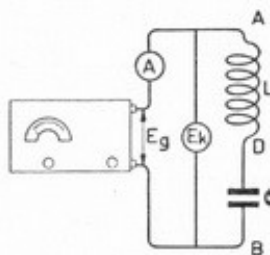


fig. 18

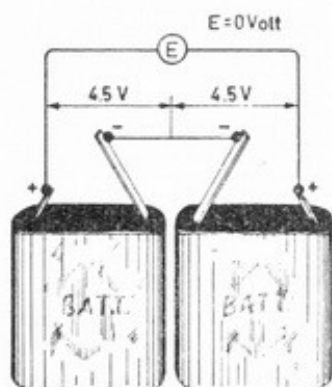


fig. 19

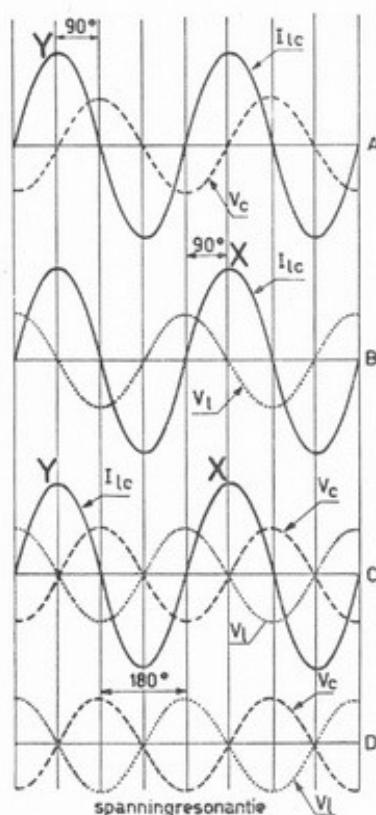


fig. 20

A de stroom door de gehele L-C kring ijlt 90° vóór op de spanning over de condensator, of: de spanning over de condensator ijlt 90° na op de stroom door de L-C kring.

B de stroom door de gehele L-C kring ijlt 90° ná op de spanning over de spoel, of: de spanning over de spoel ijlt 90° vóór op de stroom door de L-C kring.

C de spanning over de condensator ijlt 90° ná en de spanning over de spoel ijlt 90° vóór op de stroom door de L-C kring.

D de spanning over de condensator ijlt 180° ($= 2 \times 90^\circ$) vóór op de spanning over de spoel.

De spanningen V_L en V_C zijn gelijk en tegengesteld. De spanning over de L-C kring $= 0$.

stroom gaat lopen. Er treedt blijkbaar wéér een resonantieverschijnsel op. Inderdaad is dat zo: nu is het een spanningsresonantie! En hier is de weerstand van de kring (de in serie geschakelde L en C) blijkbaar 0 geworden; de toongenerator is hier dus praktisch kortgesloten. Zo erg is in werkelijkheid de toestand echter niet; we hebben n.l. tot dusver maar aangenomen, dat de spoel in 't geheel geen ohmse weerstand bezit, maar die weerstand is wel degelijk aanwezig, zoals we later zullen zien.

In het resonantiegeval is de stroom dus blijkbaar zeer groot en dat kan alleen maar zo zijn als de impedantie van de gehele kring zeer laag is.

Inderdaad zijn bij resonantie R_L en R_C aan elkaar gelijk, dus:

$$R_L = R_C \quad \text{of:} \quad 2\pi f L = \frac{1}{2\pi f C}$$

We mogen dus ook zeggen: $2\pi f L - \frac{1}{2\pi f C} = 0$ en dan

zien we, dat $Z = 0$.

Maar als de kringweerstand 0 is, dan moet ook de spanning E over de kring tussen de punten A en B $= 0$ zijn. En dat is hij ook volgens de meter E_K . Doch zowel over de spoel L als over de condensator C meten we met de meters E_L en E_C héél behoorlijke spanningen, die even groot blijken te zijn.

Waar zit hier nu de dubbele bodem? Heel eenvoudig: zowel over de spoel als over de condensator staat een spanning, maar... beide spanningen zijn wel gelijk doch staan precies in tegenfase en heffen elkaar op.

We moeten 't maar even zó bschouwen: we schakelen 2 zaklantaarnbatterijtjes in serie, maar zó, dat de beide min-klemmen doorverbonden worden (fig. 19). Zetten we nu de meetstiften op de beide plusklemmen, dan meten we 0 volt, ofschoon elk der batterijtjes afzonderlijk $4\frac{1}{2}$ volt meet!

Want ten opzichte van de generatorstroom I, welke zowel L als C doorloopt en daarom is te beschouwen als het enig bindende ofwel gemeenschappelijke element, is de spanning over L (dus E_L) 90° vóórijlend, terwijl de spanning E_C (over C) 90° náijlt ten opzichte van diezelfde stroom I.

Daarom ijlt de spanning E_L $90^\circ + 90^\circ = 180^\circ$ voor t.o.v. de spanning E_C of met andere woorden: E_L is in tegenfase met E_C (fig. 20) en heft deze op.

Gelijk wij reeds eerder opmerkten is een spoel zonder ohmse weerstand ondenkbaar; we moeten dus R in de reeds genoemde formule voor Z invoeren. Omdat het hier weer gaat om de serieschakeling van de ohmse weerstand en één of meer schijnweerstand, zal de formule er, overeenkomstig het geleerde in les 3—15 en 3—22 in het algemeen, dus óók wanneer de kring buiten resonantie is, aldus gaan uitzien:

$$Z = \sqrt{R^2 + \left\{ 2\pi f L - \frac{1}{2\pi f C} \right\}^2}$$

In het bijzondere geval van resonantie zal de tussen haakjes geplaatste waarde gelijk aan nul worden, zoals we zagen want $R_L = R_C$, waardoor Z gelijk wordt aan:

$$Z = \sqrt{R^2 + (0)^2} = \sqrt{R^2} = R.$$

We zien tevens, dat de waarde van R onveranderd aanwezig blijft, of de kring nu in resonantie is of niet.

Tijdens SPANNINGSRESONANTIE is hierdoor de KRINGWEERSTAND Z dus niet gelijk aan 0, maar gelijk aan R , de OHMSE WEERSTAND van de spoel.

Zowel over de spoel L , dus tussen A en D, als over de condensator C-D-B-, (fig. 18) zullen zich nu onder invloed van de grote stroom I spanningen ontwikkelen, die belangrijk hoger zullen zijn dan de spanning E_G op de generatorklemmen. En daar R_L en R_C bij resonantie aan elkaar gelijk zijn, worden deze E_L en E_C , die we weer deelspanningen noemen, óók aan elkaar gelijk, afgezien van het teken, dus:

$$E_L = E_C \text{ of: } I \times 2\pi fL = I \times \frac{1}{2\pi fC}$$

We herkennen hierin onmiddellijk weer de formule van Thomson van pagina 12; deze geldt blijkbaar zowel voor stroomals voor spanningsresonantie.

Intussen moeten we ons even realiseren, dat bij spanningsresonantie de in serie geschakelde L-C kring een complete kortsluiting vormt, terwijl bij stroomresonantie de parallelgeschakelde L-C kring juist een zeer hoge waarde aanneemt. De kringstroom is hier bij resonantie vele malen groter dan de door de generator geleverde stroom; men spreekt hier van het „opslingeren” van de stroom.

Verder moet er nog even herhaald worden, dat door de hoge stroom de spanningen E_L en E_C bij spanningsresonantie belangrijk hoger zijn dan de generatorspanning. Men noemt dit verschijnsel het „opslingeren” van de spanning; in de volgende les gaan we hier dieper op in.

En nu nog even de vraag: Waar blijft de generatorspanning? Wel, in feite handhaaft die zich over de ohmse weerstand van de spoel en de spanning over de ohmse weerstand bezit dus eenzelfde „faze” als de generator. Zoals we zagen ijlt de spanning over de spoel 90° ná en over de condensator 90° vóór; in een z.g. vectordiagram kan men deze toestand anschouwelijk maken (fig. 22). Uit de aard der zaak is ook dit een „momentopname”; voor 't gemak zijn in fig. 21 de pijltjes van de „spanningsrichting” er bij getekend.

We hebben deze feiten nu aangetoond met behulp van een toongenerator, maar de geschetste feiten gelden voor wisselspanningen van elke frequentie, hetzij hoog- of laagfrequent. Bovendien moeten we goed voor ogen stellen dat we, uitgaande van één bepaalde frequentie, met verschillende combinaties van L en C de vereiste resonantie kunnen bereiken: een combinatie met een kleine L zal een grote C vereisen en omgekeerd zal men, voor diezelfde frequentie een grote L gebruikend een kleine C moeten toepassen; mits het product $L \times C$ maar de voor deze frequentie vereiste waarde bezit. En als we er maar steeds aan denken: hoe kleiner de C , hoe groter de R_C (voor een bepaalde frequentie) dan kunnen we dat combineren van C en L beter begrijpen.

Voor de goede orde moeten we hier even vaststellen, dat we, om resonantie voor een bepaalde frequentie te verkrijgen toch niet zó maar uit kunnen gaan van b.v. een willekeurige condensator, om via een berekening de juiste spoel er bij te vinden. Theoretisch zou dit gaan; in de praktijk heeft een spoel helaas steeds een zekere eigen-capaciteit, terwijl een condensator bovendien altijd nog een zekere zelfinductie blijkt

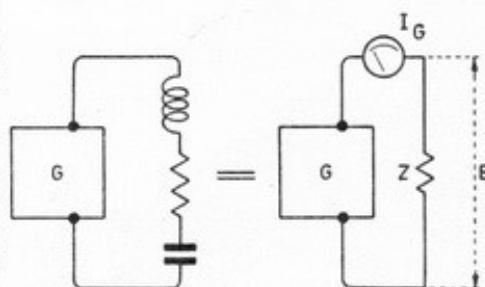


fig. 20a

Spanningsresonantie

I_G zéér groot
dus Z is blijkbaar zeer laag ($= R$)

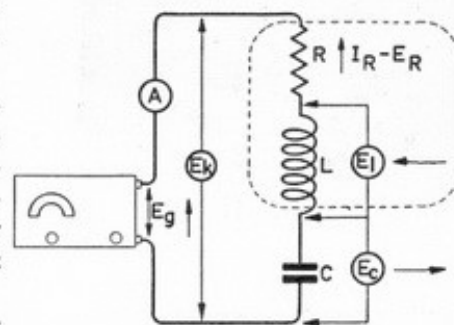


fig. 21

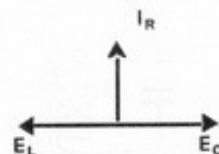


fig. 22

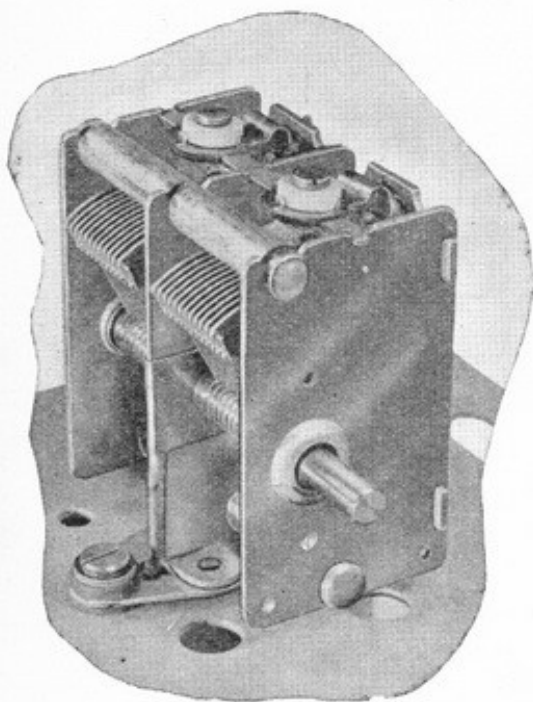


fig. 23

Variabele afstemcondensator, met 2 secties, ieder met een maximum capaciteit van ca. 500 pF

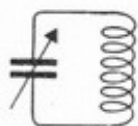


fig. 24

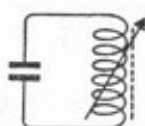


fig. 25

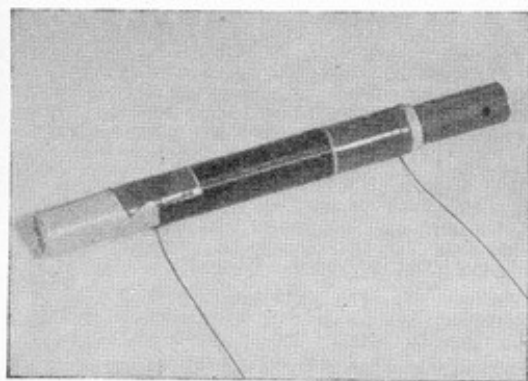


fig. 26

Spoel met verschuifbare poederijzerkern z.g. permeabiliteitsafstemming

te bezitten. Zouden we b.v. met een spoeltje van b.v. 100 μ H resonantie willen verkrijgen op 50 Hz, dan zou de C walgelijk groot moeten worden, terwijl we met een spoel van b.v. 1 Henry nooit resonantie op 500 kHz kunnen verkrijgen, omdat de eigen-capaciteit van zo'n spoel reeds vele malen groter is dan de vereiste C!

Het is intussen wel interessant thans ook nog even het resonantie begrip voor geluidstrillingen te beschouwen. Voor r.f. trillingen kunnen resonanties ontstaan in spoelen en condensatoren, dus in elektrische geleiders in 't algemeen; voor a.f. trillingen komen er echter andere geleiders in aanmerking, n.l. buizen en afgesloten ruimten. De duitse geleerde Helmholtz is de grondlegger van deze beschouwingen; helaas kunnen we hierop niet diep ingaan; naar hem is de Helmholtz resonator genoemd.

Een aardige proefneming kunnen we echter zelf wel doen: wanneer we in een klein vertrek eens de toonladder doorzingen, dus zo van do re mi fa sol enzovoort, en we doen dat met een bepaalde, gelijkmatige geluidsterkte, dan zal het ons opvallen, dat sommige tonen véél luider klinken dan de overige. Doen we dit in een vertrekje, dat een andere kubieke inhoud heeft, dan zullen weer andere tonen luider gaan klinken.

Welnu, voor die luide klinkende tonen treedt resonantie op: de inhoud van het vertrek en de verhouding van die afmetingen bepalen de frequentie van de toon waarvoor die resonantie optreedt.

Nu is dat allemaal heel leuk, maar 't verschijnsel wordt bepaald hinderlijk en ongewenst, wanneer een radiokast of een luidsprekerkast op die manier als resonator gaat optreden voor één bepaalde frequentie. Telkens wanneer die éne toon in de muziek voorkomt, horen we die extra aangedikt. Meestal ligt die resonantie-frequentie laag; we horen dan de bekende boem-boem-geluiden, die uiterst vermoeiend werken, maar waaraan vele toestelbezitters helaas snel wennen.

Gelukkig bestaan er middelen om deze verschijnselen te verminderen, o.a. door de kasten aan één kant geheel open te laten en ondiep te maken, of door ze inwendig met absorberend materiaal te bekleden. Hoogfrequent gesproken zijn dit dempweerstand en ofwel de ohmse weerstand in een spoel, die de kring „breder”, minder selectief, in 't algemeen „slechter” maakt, waardoor die punten minder geprononceerd worden.

Interessant is nog, dat men in de hoogfrequent-techniek, b.v. in de centimetergolven voor radar en televisie-straalzenders van holle geleiders en resonantiekringen gebruik maakt, dus zonder L en C.

Intussen zal velen het nú wel duidelijk zijn, hoe we „selectief” radio-frequenties kunnen ontvangen of versterken.

Brengen we op een parallelschakeling van een spoel en een condensator een wisselspanning van een bepaalde frequentie, dan zal in het algemeen geen resonantie optreden: Vergroten we echter of de capaciteit door een variabele condensator te gebruiken (fig. 23 en 24) of de zelfinductie van de spoel door een verstelbare ijzerpoederkern te gebruiken (fig. 25 en 26), dan zal de L-C kring bij bepaalde waarden in resonantie komen; de weerstand van de kring zal hoog oplopen en we kunnen de spanningval hierover benutten; voor alle andere frequenties is die weerstand gering en de spanningsval dus ook.

We kunnen in dit geval de L-C kring dan rustig beschouwen

als de R_A zoals we die aangetroffen hebben in les 5 op pagina 17, fig. 41.

Maar voordat we hierover verder gaan moeten we eens onderzoeken hoe we komen tot de

UITZENDING VAN R.F. TRILLINGEN

We zagen het geval, dat een condensator en een spoel parallel geschakeld werden aangesloten op een generator. We gaan dit nu weer doen en nemen nu eens niet een toon-generator maar een r.f. generator, die b.v. een frequentie van 2000 kHz (dus een golflengte van 150 m) opwekt*). We leerden, dat wanneer we maar de juiste combinatie van L en C berekenden, er een stroomresonantie in de kring L-C zal optreden; de weerstand Z van de kring wordt zeer hoog, maar de rondgaande kringstroom wordt zeer groot (fig. 9 en 10).

In een zender hebben we met deze situatie te maken. Begrijpelijkerwijs zal echter het afwisselend laden en ontladen van de condensator slechts tussen de platen van die C merkbaar zijn: ook de heen en weer schommelende stroom door spoel L zal een wisseling van het magnetische veld veroorzaken, die slechts in de naaste omgeving aantoonbaar blijft. We spreken van een „gesloten” trillingskring. Ook in de beide toevoerdraden tussen spoel en condensator lopen tijdens resonantie pittige kringstromen, die om elke draad een magnetisch veld veroorzaken fig. 27a. Omdat deze draden echter dicht bij elkaar lopen en de velden tegengesteld gericht zijn, zal er geen uitwendig magnetisch veld ontstaan (fig. 27b). (Zie les 3—5, fig. 8).

Men zou het effect „naar buiten” kunnen vergroten door:

- a) de spoel L enorme afmetingen te geven (fig. 28) of;
- b) de afmetingen van de condensator C behoorlijk te vergroten (fig. 29);
- c) de onderlinge verbindingsdraden zó ver van elkaar houden, dat de opgewekte velden elkaar niet tegenwerken.

In deze drie gevallen is sprake van een

OPEN TRILLINGSKRING

Om praktische redenen gaat men tot b) over bij het uitzenden en de manier, waarop we dat doen is interessant: we spannen twee geïsoleerde draden op grote afstand van elkaar en hebben nu een condensator met 2 draden als elektroden en de tussenliggende lucht als di-elektricum (fig. 30).

Bij de behandeling van de condensatoren in les 3 hebben we niet bij de constructie stilgestaan, maar het zal ieder wel duidelijk zijn, dat de capaciteit, het vermogen om elektrische lading te bewaren van een C kleiner wordt, als we het oppervlak van de geleiders verkleinen. En de capaciteit zal eveneens kleiner worden, als we de onderlinge afstand van de metalen elektroden vergroten! De onderlinge capaciteit van de 2 op grote afstand van elkaar uitgespannen draden zal dus maar gering zijn. Dus moet een spoel met véél grotere zelf-inductie gekozen worden, want we leerden dat verschillende combinaties van L en C mogelijk zijn voor resonantie op een bepaalde frequentie; is de C klein, dan wordt de spoel groot. Nu is de eigen capaciteit van zo'n antenne wel te vergroten: aan beide zijden spannen we niet één draad, maar meerdere,

*) We noemen een dergelijk apparaat een meet- of trim-zender.

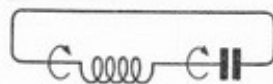


fig. 27a

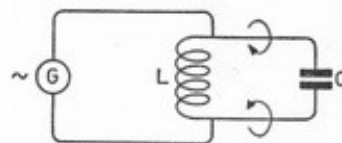


fig. 27b

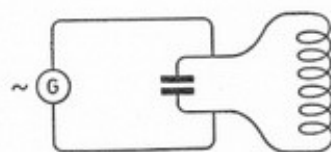


fig. 28

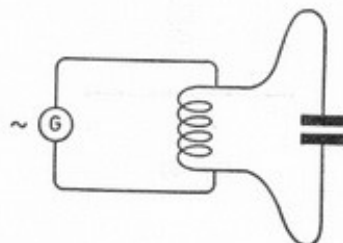


fig. 29

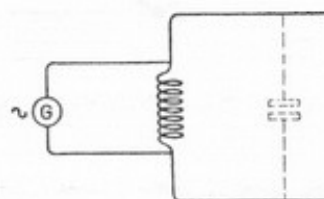


fig. 30

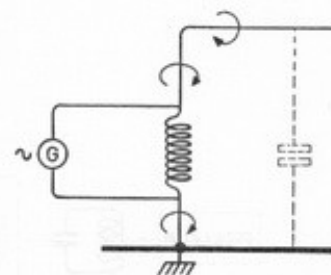


fig. 31

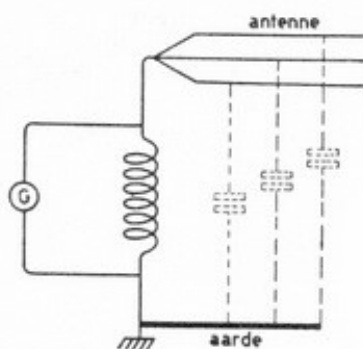


fig. 32

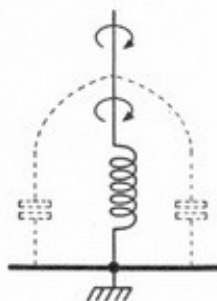


fig. 33

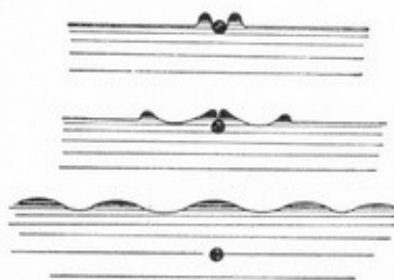


fig. 34

3 of 4 parallel. En om antennepaal-moeilijkheden te overwinnen spannen we slechts één der beide geleidergroepen in de lucht; de andere groep graven we in de aarde (fig. 31—32).

Door nu een wisselspanning van voldoende grote amplitude op de L-C kring aan te sluiten zal er toch nog een grote wisselstroom lopen in de kring: generator—antennedraad—diëlektricum (lucht)—aarde—generator.

Die wisselstroom door de lucht veroorzaakt een verstoring van de ether of, zoals we zeggen: veroorzaakt een elektrisch (wissel-)veld, en dit verschijnsel is weer onverbrekkelijk verbonden met een elektromagnetisch (wissel-)veld.

Want nu komt aan het licht, dat de toevoerdraad naar de antenne, waardoor de kringstroom loopt, en de antenne zelf een magnetisch veld veroorzaken, dat geen tegenwerking ondervindt. De moderne omroepantennes, de z.g. zelfstralers bestaan uit een stalen mast, ongeveer van de lengte van de uit te zenden golf (fig. 4 en 33). Een zeer sterk, verticaal gepolariseerd magnetisch veld is het resultaat met als voordeel een sterke aardstraling, d.i. uitstraling langs het aardoppervlak, die óók bij duisternis een groot oppervlak „bedienen” kan zonder „fading” (fading wordt later behandeld).

Om een overigens vrij zwak voorbeeld van de voortplanting van elektromagnetische trillingen te geven nemen we even een steen, die we in het water plompen (fig. 34). Het water is onsamendrukbaar; op het ogenblik dat de steen neervalt ontstaat rondom de steen een opwaartse beweging; het water wordt boven zijn niveau gedrukt, omdat het onder de steen naar alle zijden wordt weggeperst; we zien dus een op en neergaande golvende beweging.

In de naaste omgeving zal het water zeer sterk worden bewogen, doch door de tegenstand van het water zal de golvende beweging geleidelijk afnemen en tenslotte afsterven. Ogenscheinlijk zou men denken, dat de waterdeeltjes zich horizontaal bewegen: Dit is echter niet zo; we kunnen dit zien als er een kurk op het water drijft. Hij gaat wel op en neer maar verwijderd zich niet van het middelpunt van de kringen. De tijd die de kurk nodig heeft om 1 $\times$ op en neer te gaan is een periode en de afstand waarover een rimpeltop zich in die tijd beweegt is de golflengte.

De vergelijking met de ether gaat niet helemaal op: water golft slechts over 't oppervlak, twee-dimensionaal kan men zeggen; bij de ether moeten we maar weer naar de toverbal grijpen: opvolgende „schillen” van hoge en lage druk, dus drie-dimensionaal.

Wél blijft de overeenkomst bestaan, dat hoe verder we van de zender (steen) komen, des te lager zal de amplitude, de elektrische veldsterkte (= op-en-neerbeweging van kurk) zijn. Hoe die zender nu verder in elkaar zit zullen we maar voorbijgaan; het komt hierop neer, dat we een generator, hier oscillator genoemd, aantreffen, waarvan de frequentie pijnlijk nauwkeurig constant gehouden wordt, doch welke een gering vermogen bezit. Die stuurt dan via 2 à 3 tussentrappen een grote zendbuis, b.v. een triode van geweldig vermogen (fig. 35).

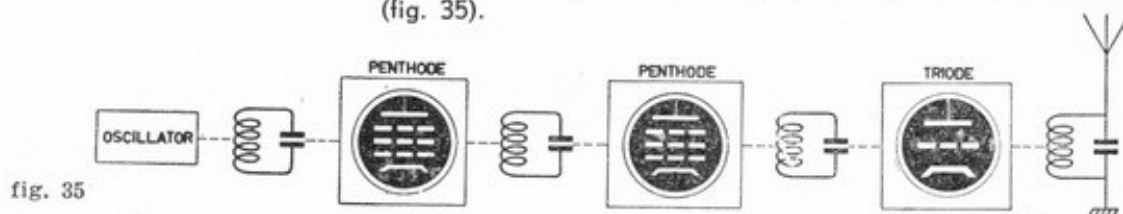


fig. 35

De onderlinge koppeling der trappen geschiedt via L-C kringen, steeds in resonantie; zo ook de koppeling met de antenne.

We zenden nu een wisselstroom van hoge frequentie uit, die we de

DRAAGGOLF

noemen, en deze kunnen we elders, honderden kilometers verder, weer met behulp van L-C kringen in resonantie opvangen; we kunnen daarmee dus juist de zender uitkiezen uit de verschillende zenders; maar we zijn nog even ver, want wat hebben we aan zo'n draaggolf, waarvan de frequentie nota bene boven de gehoorgrens valt? Want het is uiteindelijk onze bedoeling om de laagfrequente trillingen over te brengen. Welnu, dit doen we nu, door deze hoogfrequente trillingen met de laagfrequente trillingen te

MODULEREN.

We grijpen weer even terug naar de koolmicrofoon (6—5). In rusttoestand loopt er een gelijkstroom van + batterij via kooldeeltjes van de microfoon, primaire van de transformator en weer terug naar —batterij.

De grafiek van de spanning over de klemmen van de primaire geven we in fig. 36a. Gaan we nu spreken, dan varieert de weerstand van de microfoon onder de druk van de geluidstrillingen en wordt de gelijkstroom gemoduleerd met de toonfrequenties.

Op de secundaire verkrijgen we slechts die toonfrequente wisselspanningen, weliswaar versterkt, dus met groter amplitude, maar overigens onveranderd van gedaante. Het medium dat de modulatie aan de primaire kant mogelijk maakte, de gelijkstroom, is aan de secundaire kant niet meer aanwezig, omdat een transformator de gelijkspanning niet overdraagt. Het verschijnsel is nu g e d e m o d u l e e r d, ontdaan van de „drager” (fig. 36b).

Wij gaan nu proberen onze zender te moduleren. Daarvoor moeten we eerst een oude koe weer op het droge halen: n.l. de radiobuis.

We zagen, dat we de anodestroom van een buis kunnen beïnvloeden door het wijzigen van de roosterspanning (blz. 5—6). Maar we zagen ook, dat we de anodestroom kunnen variëren door middel van het hoger of lager maken van een anodespanning (blz. 5—14).

Bekijken we nu eerst eens het schema van onze zender. We geven hierbij een grafiek van de uitgezonden wisselspanning, de draaggolf (fig. 37). Natuurlijk is die grafiek niet helemaal juist, want: bij een frequentie van b.v. 1000 kHz (dus 300 m golflengte) zenden we per sec. 1.000.000 sinustopjes uit: als we dat in tekening moesten brengen hadden we een heel erg lang stuk papier nodig om slechts 1 sec. af te kunnen beelden. Daarom tekenen we maar een hoop sinusjes, dan is 't wel begrijpelijk.

Dan geven we nog even het schema van een a.f. eindversterker: we weten (fig. 38) dat op het punt waar de anode van de eindbuis aan de primaire van de uitgangstransformator verbonden is, de spanning op en neergaat in de cadans van de versterkte laagfrequente trillingen.

Welnu, we verbinden de anode van onze r.f. eindbuis van de zender niet rechtstreeks met + hoogspanning maar met

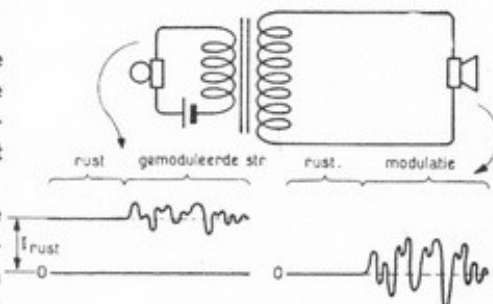


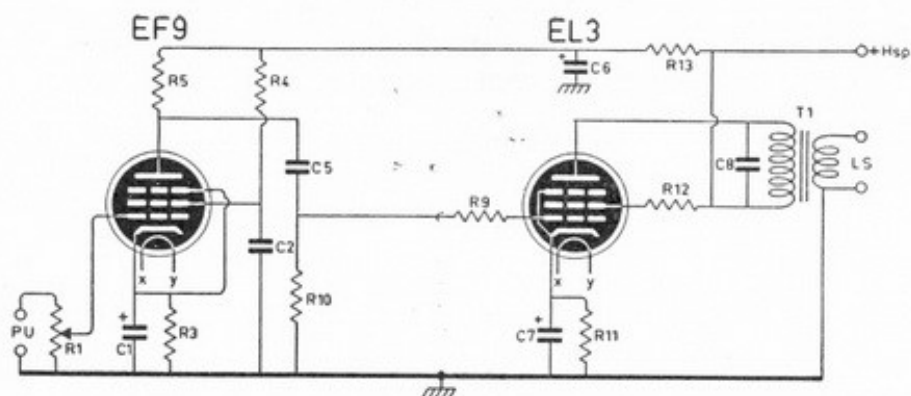
fig. 36a

fig. 36b



fig. 37

fig. 38



de anode van de laagfrequent buis (fig. 39). Onze radiozendbuis blijft dus zijn hoogfrequente sinusjes (de draaggolf) de lucht in slingeren met steeds dezelfde frequentie, maar... de amplitude van die trilling varieert in grootte in een cadans, die dezelfde is als we op de anode van de laagfrequent eindbuis aantreffen.

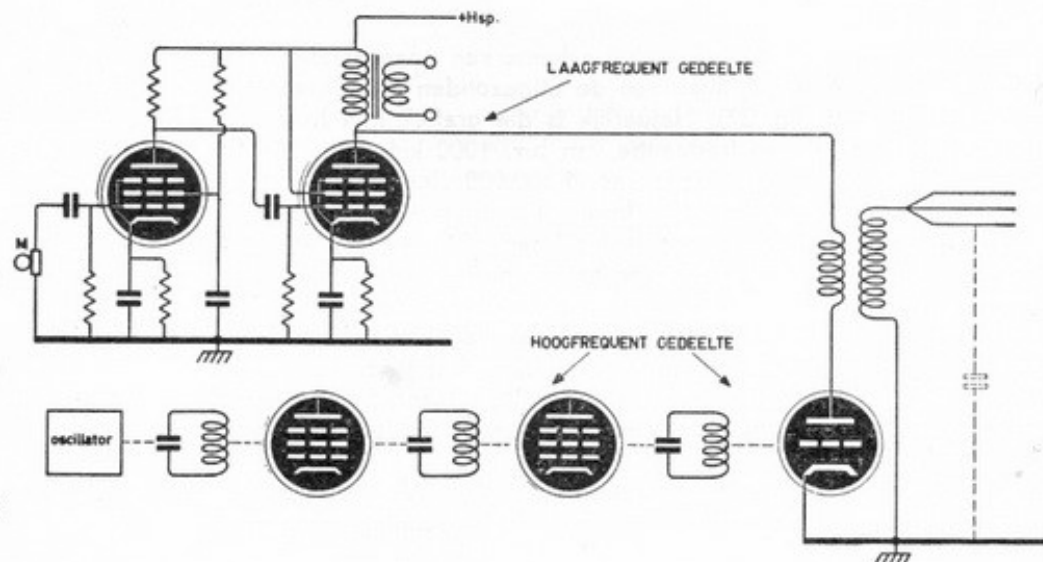
Want via de uitgangstransformator van de a.f. versterker variëren we de anodespanning van onze radiozendbuis en het gevolg daarvan is, dat zijn anodestroom, die reeds in een r.f. ritme varieert, bovendien in een laagfrequente cadans wordt gevarieerd. Hier zijn dus 2 wisselstromen van verschillende frequenties op elkaar „geënt”, gesuperponeerd zoals men dat noemt.

Deze modulatie-methode — die we amplitude-modulatie of AM noemen — is gevonden door Heising en wordt nog veel toegepast, al zijn er later andere methoden in omloop gekomen; over de frequentie-modulatie, FM, zullen we het later nog hebben.

Bij de microfoon zagen we, dat de laagfrequente-modulatie „gedragen” werd door de gelijkspanning; bij de zendtechniek zullen we zien, dat de modulatie gedragen wordt door de spitse spanningstopjes van de hoogfrequente wisselspanning, hetgeen in feite zeggen wil, dat de „topjes” van de r.f. sinus-trilling, de amplituden dus, afwisselend groter en kleiner worden, conform het a.f. signaal.

In verhouding tot de laagfrequente trillingen zijn die spanningstopjes zó talrijk, dat we ze niet afzonderlijk kunnen horen. Denk maar eens na: wanneer een zender, werkend op 400 kHz (400.000 Hz) gemoduleerd is met een toon van 1000 Hz, dan wordt elke periode (sinus) van de 1000 Hz-

fig. 39



trilling ondersteund door $\frac{400.000}{1000} = 400$ r.f. sinustopjes!

We noemen een aldus gemoduleerde hoogfrequente trilling de

GEMODULEERDE DRAAGGOLF.

Nu moeten we er bij dat moduleren wel goed om denken, dat er een bepaalde overeenstemming moet bestaan tussen de grootte (amplitude) van de r.f. wisselspanning, de draaggolf, en de grootte van de laagfrequente spanning. Is de grootte van de hoogfrequente wisselspanning b.v. 100 volt, dan mag de amplitude van de laagfrequente spanning nimmer groter dan 100 volt zijn.

We zullen nu eens even uitgaan van een zender die slechts één toon uitzendt. Dit is vaak het geval met telegrafiezenders; meestal gebruikt men dan een toon van 1000 Hz, die in morse-tempo wordt uitgezonden. Wanneer we uit een AM-zender het grootste rendement willen halen, dan moduleren we inderdaad zodanig, dat de laagfrequent amplitude even hoog is als het hoogfrequent signaal; we spreken dan van 100 % modulatie (fig. 40a).

Modulatie van een r.f. signaal met één a.f. toon.

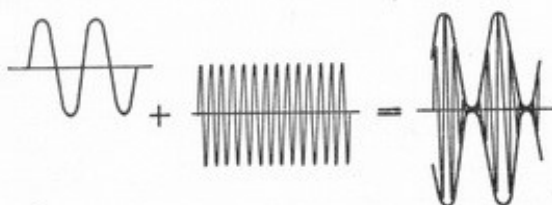


fig. 40a.
A.f. amplitude is even groot als
r.f. amplitude: 100 % modulatie
(= fortissimo).

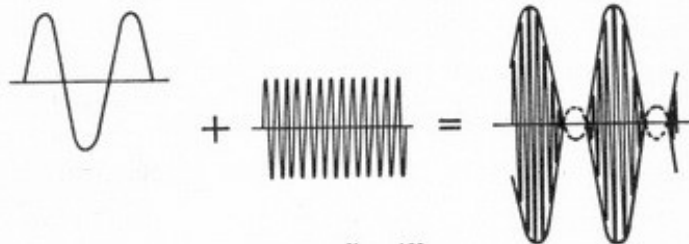


fig. 40b.
A.f. amplitude is groter dan de r.f.
amplitude, dus overmodulatie.

Wanneer iemand, die deze morse-uitzending ontvangt, het geluid te sterk vindt, wel dan draait hij de knop van de volume-regelaar eenvoudig naar beneden zover hem goeddunkt.

Zou er bezwaar zijn om een zender b.v. maar met 5 % te moduleren? Nu, afgezien van het zender-rendement is dit stellig ook om een andere reden ongewenst: aan de ontvanger-zijde ontvangt men meestal een zekere hoeveelheid ruis; de kans is dan ook groot dat de verhouding tussen die ruis en de signaal-toon bepaald ongunstig wordt: het signaal verdrinkt dan in de ruis, zoals men zegt.

De grenzen voor modulatie liggen, globaal gesproken, dus tussen 5 % en 100 %.

Wat gebeurt er nu als we in de zender laagfrequent signaal gróter maken dan het hoogfrequent signaal, dus meer dan 100 % moduleren? Wel, dan ontstaan er „gaten” in de r.f. golftrein; deze toestand moet dus beslist vermeden worden. Maar nu een muziek-uitzending. We weten, dat deze niet alleen bestaat uit een aantal kunstzinnig achter elkaar geschakelde tonen van verschillende frequentie, maar we weten óók, dat de sterkte waarin deze tonen gezongen of geblazen worden van grote invloed op 't klankbeeld is; heel zacht is piano (p.), heel sterk (luid) is fortissimo (f.f.).



fig. 40c.
A.f. amplitude is heel klein in ver-
houding tot het r.f. signaal
(= pianissimo).

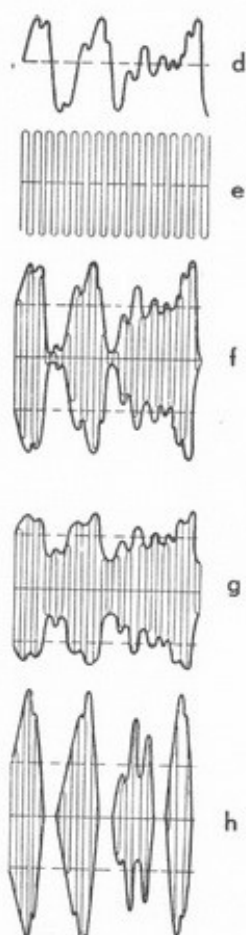


fig. 40

Welnu, de geluidsterkte van de uitzending, of liever de verschillen tussen „luide” (f) passages en „zachte” (p) passages worden tot uiting gebracht in de amplitude van het laagfrequente signaal, dus de r.f. signaalspanningen. En dit vindt weer zijn afspiegeling in het modulatiepercentage van het hoogfrequente signaal. Bij elke uitzending zorgt de technicus er voor, dat nimmer overmodulatie zal optreden; zelfs de hoogste pieken in het klankbeeld a.f. signaal mogen beslist niet worden beschadigd. Nu kan men natuurlijk niet elke grote laagfrequente piek, die we een „uitschieter” noemen, individueel te lijf gaan en daarom zorgen we ervoor, dat de gemiddelde amplitude van het a.f. signaal nimmer meer bedraagt dan 30 % van de r.f. draaggolf-amplitude. Nu lijkt het niet gemakkelijk, om van iets dat zo onrustig en grillig is als een verzameling laagfrequente trillingen, een „gemiddelde” amplitude te bepalen, maar met een meetapparaatje waarin een uit de aard der zaak zeer klein deel van de a.f. trillingen wordt gelijkgericht, kunnen we de gemiddelde a.f. spanning aflezen. En de praktijk heeft uitgegeven, dat wanneer we het gemiddelde a.f. percentage op 30 % stellen, de amplitude van de verraderlijkste „uitschieter” toch nog kleiner blijft dan de r.f. amplitude. We zeggen in dit geval: de modulatie diepte is 30 %. In fig. 40d zien we de grafische voorstelling van een door een versterker geproduceerde laagfrequente spanning; in fig. 40e zien we weer de benaderde voorstelling van de hoogfrequente draaggolf.

In fig. 40f is die draaggolf met die laagfrequente spanning gemoduleerd; deze toestand benadert de 100 % modulatie-toestand. In 40g zien we, dat dezelfde a.f. trilling minder sterk wordt weergegeven; in fig. 40h zien we de toestand die ontstaat wanneer de uitzendingstechnicus niet op zijn hoede is: er ontstaat overmodulatie, met zéér sterke vervorming.

Uiteindelijk zien we hier afgebeeld dat de luidheid van een toon uitgedrukt wordt in de amplitude van het hoogfrequente signaal. Later zullen we zien, dat bij uitzendingen, die in frequentie gemoduleerd zijn (FM-uitzendingen) de sterkteverhoudingen van het laagfrequente signaal op geheel andere wijze in de draaggolf tot uitdrukking gebracht worden. We bezitten nu een gemoduleerde zender en gaan over tot

DE ONTVANGINRICHTING

We zullen het hier niet hebben over de afstand, waarop een zender ontvangen kan worden: dat hangt af van zijn vermogen en de golflengte waarop gewerkt wordt.

We nemen maar aan, dat we ergens binnen zijn invloedsfeer zitten en moeten allereerst een „afstemkring” maken, dus een spoel en een condensator combineren.

Daar het ons om zo groot mogelijke spanningen te doen zal zijn, schakelen we spoel en condensator parallel. Dat „ontvangen” zal echter eerst gaan, als onze L-C kring in resonantie met de zender is en daarom moet of de C of de L variabel zijn; we kiezen de C variabel en kiezen een variabele condensator, die van b.v. 50 tot 500 pF gaat. En als spoel? Ja, het beste is om een spoel van zo groot mogelijke afmetingen te maken. Het door de zender uitgestraalde elektrische veld veroorzaakt een elektromagnetisch veld (het omgekeerde is trouwens ook steeds het geval: elektromagnetische en elektrische velden zijn praktisch niet te scheiden). En dat elektromagnetische veld zal niet nalaten een elektrische span-

ning in onze grote spoel, of raamantenne zoals we die dan noemen, te induceren, op te wekken. Natuurlijk kunnen we maar niet zo lukraak een bos draad nemen: de zelfinductie van de spoel moet in combinatie met de beschikbare condensator in resonantie, dus op de gewenste frequentie kunnen komen: is de eigen capaciteit of de zelfinductie van onze spoel te groot of kunnen we met onze variabele C niet „laag” genoeg komen, dan blijft onze eigen golflengte te hoog (of: de frequentie te laag).

Maar er is ook een andere manier om de uitgezonden gemoduleerde draaggolf binnen te halen.

We nemen een spoel van normale afmetingen, natuurlijk zou ik haast zeggen, een MuCORE spoel. En... een C van héél grote afmetingen zeker, dacht U. Ja, en neen. Want een grote C alléén is niet variabel afstembaar. Neen, we nemen een normale, variabele C en daaraan parallel een „grote” C in de vorm van een hoog gespannen antennedraad (fig. 41). Ook dan krijgen we op de einden van de spoel een wisselspanning, met de frequentie van de gewenste zender, mits de L-C kring in resonantie gebracht, dus afgestemd is, hetgeen we door het verdraaien van een knop op de as van de condensator tot stand brengen.

En die r.f. wisselspanning die over de einden van de L-C kring staan zullen een volledig getrouw beeld vormen van het gemoduleerde r.f.-signaal zoals dit onze zender verliet.

Dit gemoduleerde r.f.-signaal is echter volmaakt onhoorbaar; het kan slechts hoorbaar gemaakt worden door middel van

DETECTIE,

ook wel genoemd demodulatie. In feite gaan we er toe over, het gemod. r.f.-signaal gelijk te richten; als resultaat houden we dan het laagfrequente signaal over.

Om de zaak te verklaren zullen we eens uitgaan van een r.f. trilling met een frequentie van 1.000.000 Hz (1000 kHz = 1 MHz). Deze draaggolf is gemoduleerd met een toon van b.v. 1000 Hz. Teruggrijpend naar een vorige pagina mogen we zeggen: De sinustopjes van de a.f.-toon van 1000 Hz worden gedragen door een r.f.-draaggolf van 1.000.000 Hz; per tijdseenheid wordt elke complete a.f.-sinusfiguur gedragen door 1000 r.f.-sinustopjes.

Voor de begrijpelijkheid zullen we bij de verklaring van de detectie even onze toevlucht nemen tot het anodevoedingsapparaat, zoals we dat in les 4 beschreven hebben.

We kiezen de eenvoudigste vorm; (fig. 42). We zien hierin de belastingsweerstand R, de cel S en de wisselspanningsbron E_N , die we op 220 V ∞ stellen.

De netfrequentie is 50 Hz; de reservoir-condensator C_{res} is b.v. 8 μ F; de gelijkgerichte spanning E_G is, laat ons zeggen 240 V = en de rimpelspanning E_R is 10 volt ∞ .

Nu grijpen we eens naar een variac, een wisselstroomtransformator waarmee we op gemakkelijke manier de spanning E_N hoger of lager dan 220 V ∞ kunnen maken (fig. 43).

Het spreekt vanzelf, dat wanneer we de wisselspanning E_N verlagen of verhogen, ook de spanning E_G omlaag of omhoog zal gaan.

Dit verhogen of verlagen van E_N zullen we eens volgens een bepaald systeem gaan doen.

Nu even opletten: de netfrequentie is 50 Hz, 50 trillingen per seconde, dus $60 \times 50 = 3000$ trillingen per minuut.

Wanneer we nu in een frequentie van $3 \times$ per minuut de spanning E_N op- en neer-draaien van 100 tot 300 volt ∞ ,

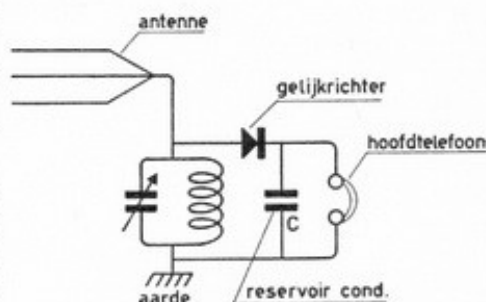


fig. 41

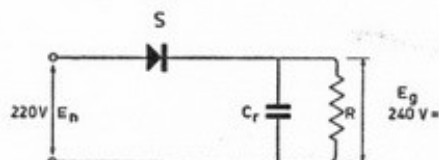


fig. 42

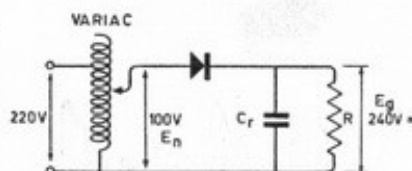


fig. 43a

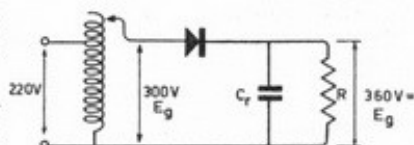


fig. 43b

dan hebben we dezelfde toestand bereikt als bij ons zender-voorbeeld: er treden tegelijkertijd twee trillingen op en de onderlinge verhouding van deze beide frequenties is eveneens $3 : 3000 = 1 : 1000$.

Het ligt voor de hand, dat de gelijkspanning E_G als gevolg van het verhogen en verlagen van die voedingsspanning E_N eveneens $3 \times$ per minuut op en neer gaat, zo ongeveer van 120 volt = tot 360 volt = en terug (fig. 44).

Gevoeglijk zouden we kunnen zeggen, dat hier een rimpelspanning, een „brom” ontstaat: een gelijkspanning, die varieert van 120 volt = tot 360 volt = kan men n.l. samengesteld denken uit een gelijkspanning van 240 V = (het gemiddelde), waarop een wisselspanning met een amplitude van 120 volt geënt, of zoals we dat noemen, gesuperponeerd is (fig. 45).

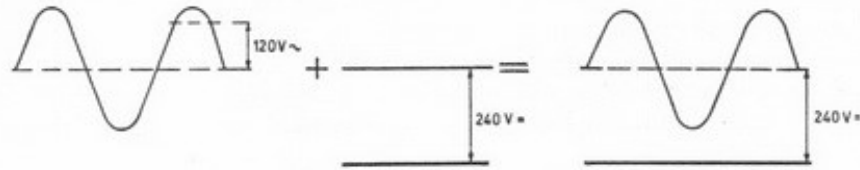


fig. 45

fig. 44

Om een brom met zulk een lage frequentie (3 per minuut) uit te filteren zou er een véél grotere condensator C_{res} nodig zijn.

Maar voor onze beschouwing is 't veel beter om die C_{res} niet groter te maken. We zien nu, dat de spanningswisseling van 3 per minuut een behoorlijke fluctuatie geeft, terwijl van de wisselspanning van 50 Hz, dus 3000 wisselingen per seconde er praktisch géén rimpel overblijft. Op zich zelf behoeft ons dit niet te verbazen: in les 4 leerden we het verband dat er bestaat tussen de frequentie en de grootte van de condensatoren in het afvlakfilter.

Gewapend met deze wetenschap kunnen we gerust terugkeren tot de kristaldetector, zoals die in fig. 41 en 46 is afgebeeld. In de antennekring en ook over de L-C kring treden tegelijkertijd 2 wisselspanningen op: het hoogfrequente draaggolfsignaal en een groep van véél lagere frequenties. Geheel overeenkomstig het zoëven beschreven voorbeeld moeten we zorgen dat de fluctuaties tengevolge van de hoogste frequenties gering zijn, terwijl de laagste frequenties wél een fluctuatie moeten veroorzaken, want dat zijn immers de gewenste laagfrequente modulaties! (fig. 47). We moeten er wel even aandacht aan schenken, dat de hoogste toon uit de a.f. modulatie, dus b.v. 12000 Hz betrekkelijk dicht ligt bij de laagste frequentie, die een zender kan hebben, b.v. 150 kHz. = 150.000 Hz. Ik wil hier maar mee zeggen, dat wanneer we die C wat aan de grote kant maken, ook de hoogste tonen uit ons a.f. spectrum verloren gaan! (Zie fig. 48).

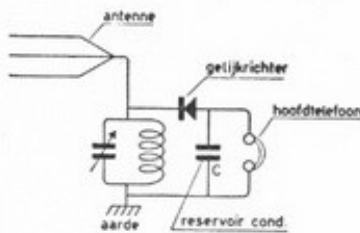


fig. 46

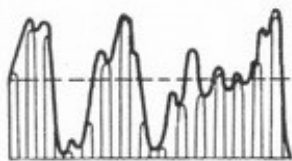


fig. 47

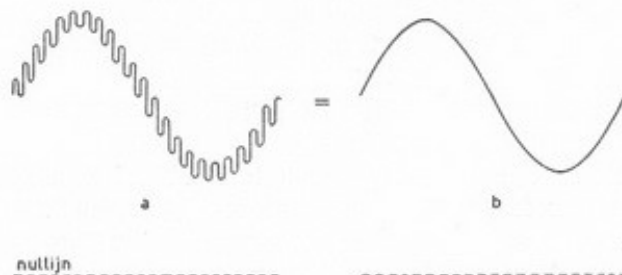


fig. 48

Wanneer de laagfrequent-modulatie (a) b.v. uit twee tonen van resp. 1000 Hz. en 12.000 Hz. bestaat, zal de toon van 12.000 Hz. geheel verdwijnen, als C te groot is (b).

Kijk, dáárom mag die C b.v. geen $8 \mu F$ groot zijn; een waarde van 1000 à 2000 pF is in dit geval op zijn plaats, omdat 't ons dus om die in een laagfrequent ritme op en neer gaande spanning te doen is.

Dat daarnaast er een gelijkspanning ontstaat over de kop-telefoon als resultaat van de gelijkgerichte draaggolf is geen bezwaar.

Het doet er ook volstrekt niets toe, hóe we de cel schakelen, volgens fig. 41 of 46; de resultaten zien we in resp. fig. 50 en 51.

Dat de grootte van die gelijkspanning geheel afhangt van de sterkte van het inkomend r.f. signaal ligt voor de hand; we zien 'dit in fig. 49.

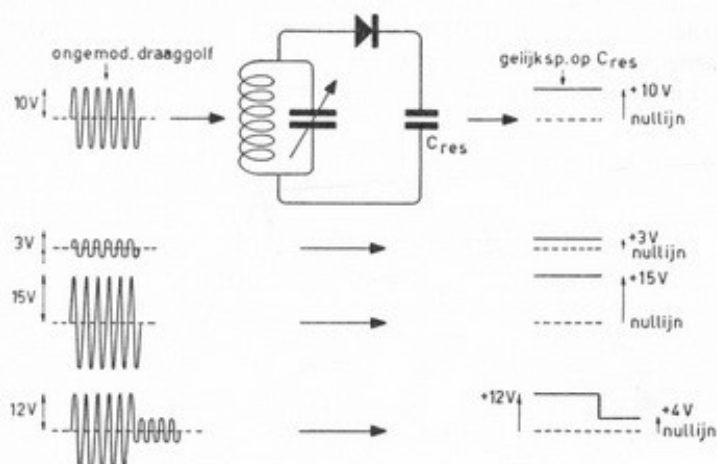


fig. 49

De gelijkspanning over C_{res} is geheel afhankelijk van de sterkte van het hoogfrequent signaal.

Later zullen we zien dat we die gelijkgerichte draaggolf gaan benutten voor de automatische sterkteregeling; dán doet de richting van de cel er wél toe.

Uit de aard der zaak is de amplitude van de te ontvangen r.f. wisselspanning als regel zeer gering: een paar microvolt; de a.f. spanning is dus nóg lager, maar op de kop-telefoon kunnen we deze geluiden toch nog goed waarnemen en anders versterken we ze maar in een a.f. versterker.

In een volgende les zullen we uitgebreider over afstemkringen en selectiviteit spreken, maar nu reeds wil ik een schakeling aangeven, waardoor groter selectiviteit wordt verkregen, n.l. met een z.g. inductieve antennekoppeling. We hebben dus hier minder kans enige naast elkaar liggende zenders tegelijk te ontvangen, helaas ten koste van enige geluidsterkte (fig. 52). Het hoe en waarom van deze „lossere” koppeling zien we in de volgende les. De hier afgebeelde ontvanger is voor geringe kosten gemakkelijk te bouwen. Bedrijfskosten: volstrekt niets, afgezien van de radiobelasting. Bovendien heeft het germanium-kristal grote voordelen boven het ouderwetse en bekende kristalletje, dat regelmatig moet worden bijgesteld.

Over antennes en gevoeliger ontvangers spreken we in de volgende lessen.

HET BOUWEN VAN EEN KRISTALONTVANGER

(Deze bouwbeschrijving is volledig overgenomen uit „Elektronica in Praktijk” no. 1; de beschrijving is dus afgestemd op volledige leken).

Het bouwen van een kristalontvanger is heel eenvoudig. Men

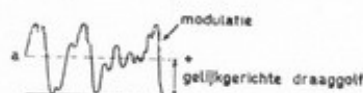


fig. 50

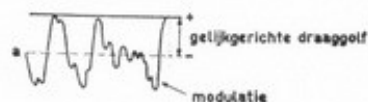


fig. 51

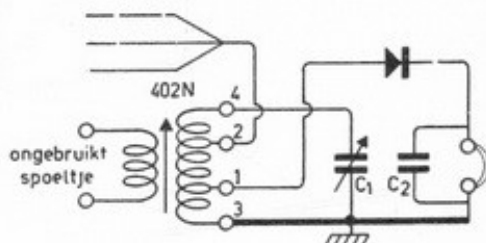


fig. 52

C_1 = afstemcondensator
 C_2 = condensator 2000 pF

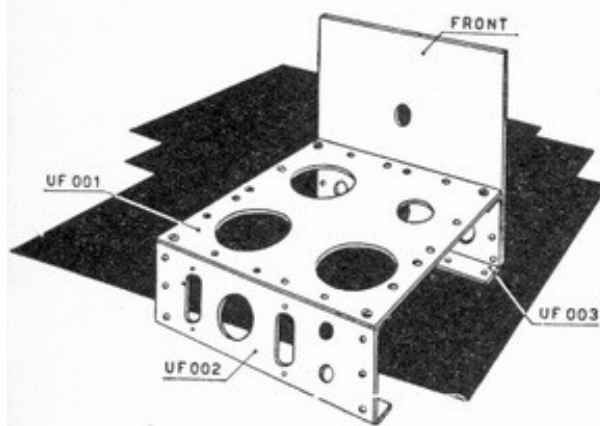


fig. 53

behoeft slechts enkele Uniframe chassisdelen aan elkaar te schroeven op de wijze, zoals aangegeven in fig. 53 en in de montagetekening (fig. 54). Daarna worden de spoel en de entree's voor antenne-aarde en telefoon-aansluiting aangebracht. Bij elke entree wordt een soldeerlip onder het bevestigingsmoertje vastgezet; deze soldeerlippen zijn in de montagetekening nog juist zichtbaar. Het „chassisteken” erbij duidt aan, dat deze lippen goed contact met chassis moeten maken.

De afstemcondensator wordt op het frontpaneeltje vastgeschroefd, nadat men eerst rondom de kleine gaatjes de lak voorzichtig heeft weggekrabd (aan de achterzijde van de frontplaat), zodat het blanke metaal goed contact kan maken met de massa van de condensator. De bevestigingsboutjes worden van de voorzijde af door de frontplaat gestoken, daarna wordt om elk boutje een drietal ringetjes gelegd om de condensator op de juiste afstand van het paneeltje te

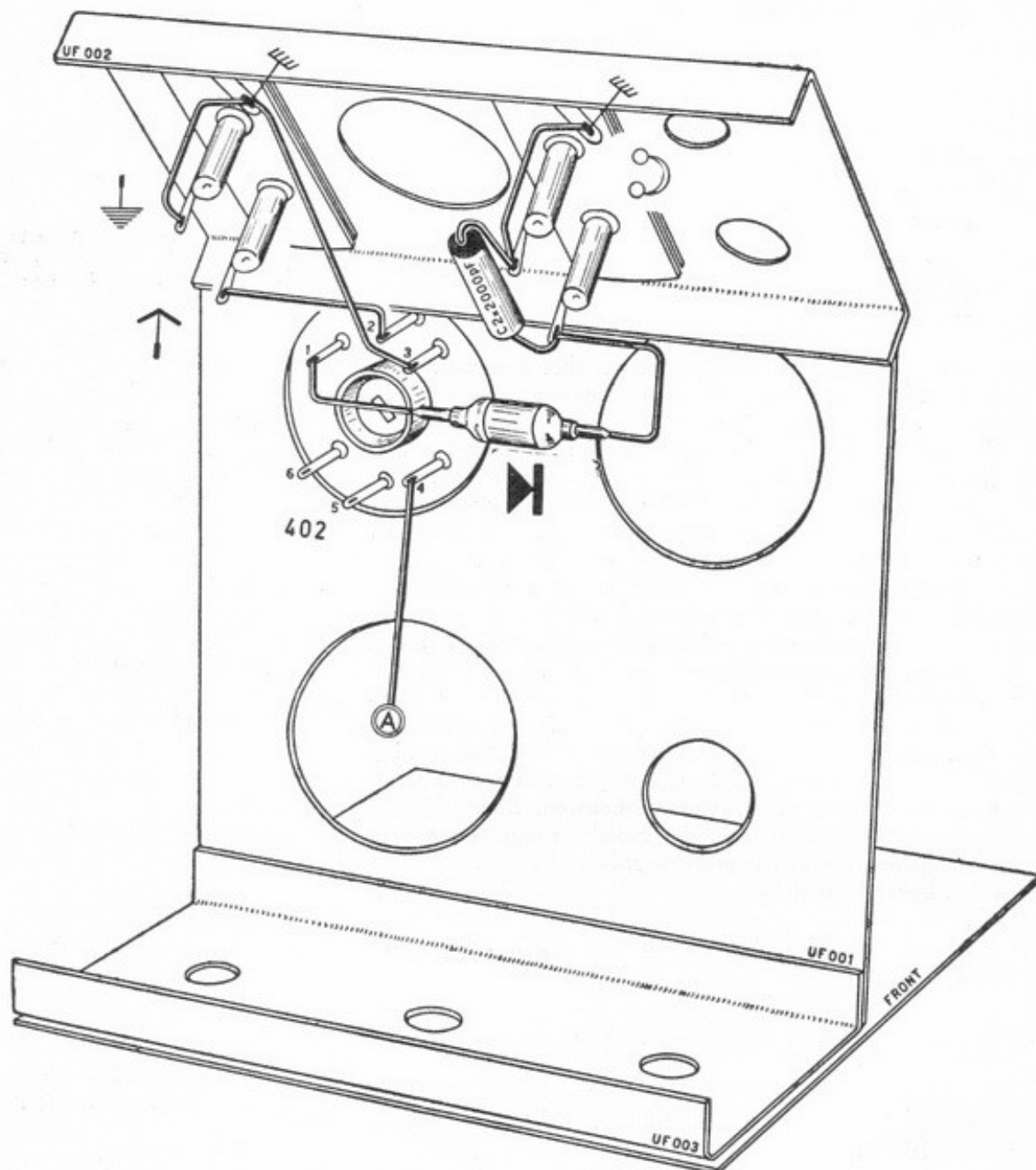


fig. 54

houden, waarna de boutjes in het condensatorframe worden geschroefd.

Nu kan de frontplaat tegen het chassis worden bevestigd met behulp van twee boutjes met moeren, echter ook hier eerst de lak rondom de gaten verwijderen, opdat een degelijk contact ontstaat tussen voorpaneel en chassis.

BEDRADING

Bij het leggen van de verbindingen tussen de verschillende onderdelen kan men het beste als volgt te werk gaan: Knip eerst een stuk isolatiekous op de juiste lengte, schuif dit over het montagedraad en soldeer het draadeinde aan het betreffende contactpunt. Schuif daarna de kous terug, zodat hij tegen de soldeerlas rust en knip dan pas het montagedraad op maat, waarbij men het niet meer dan 1 cm buiten de kous laat uitsteken.

Verbindt eerst de onderste bus van elk entree (als het chassis op zijn kop staat zijn dat dus de bovenaan gelegen bussen) met de betreffende soldeerlip. Bij de aardbus kan men het gemakkelijkste de draad een flink stuk in het oog van de soldeerlip steken, zodat ter weerszijden voldoende draadlengte uitsteekt om enerzijds de verbinding met no. 3 van de spoel tot stand te brengen, anderzijds met de aardbus; men hoeft dan maar éénmaal aan de lip te solderen.

Daarna wordt de leiding tussen antennebus en no. 2 van de spoel gelegd, en tenslotte komt de verbinding van no. 4 met de vaste platen van de afstemcondensator aan de beurt, te solderen aan punt A, aangegeven op het bovenaanzicht van het chassis (fig. 55).

De papiercondensator (C2) — zo genoemd, omdat het diëlektricum (d.w.z. de isolatie) tussen de belegfels (bestaande uit metaalfolie) bestaat uit speciaal geprepareerd papier — wordt met zijn draadeinden aan de telefoonbussen gesoldeerd. Als laatste wordt de kristaldiode aangebracht. De anodedraad wordt aan contact no. 1 van de spoel gesoldeerd, 't katode-einde aan de telefoon-entree.

Van de condensator C2 mag men de overtollige lengte der draadeinden afknippen, bij het kristal echter niet. Dit moet ook met de nodige voorzichtigheid worden behandeld. Hierbij moet men er op letten, dat tijdens het solderen het kristal koel blijft. Dit kan men bereiken door het te solderen draadeinde met een brede, platte tang stevig vast te houden op een punt tussen kristal en soldeerplaats. Het metalen lichaam van de tang neemt dan het grootste deel van de warmte op. Het solderen zelf moet snel geschieden.

Zodra de montage voltooid is en men de knop op de condensatoras in de juiste stand heeft vastgezet — „platen dicht”, pijl op „550” — is de ontvanger voor gebruik gereed.

Zoals reeds werd opgemerkt, geeft het kristal geen versterking, men is dus geheel afhankelijk van de signaalsterkte, welke door de antenne aan 't toestel wordt geleverd.

Tenslotte is het van belang een zo gevoelig mogelijke hoofdtelefoon te gebruiken.

Het aardige van dit simpele ontvangertype is wel, dat het als „basis” voor kwaliteits-ontvangst te beschouwen is, mits men natuurlijk niet te ver van de begeerde zender(s) af woont. Een goede versterker er achter en we verkrijgen een geluidskwaliteit, die met z.g. meerkrings-toestellen niet benaderd kan worden.

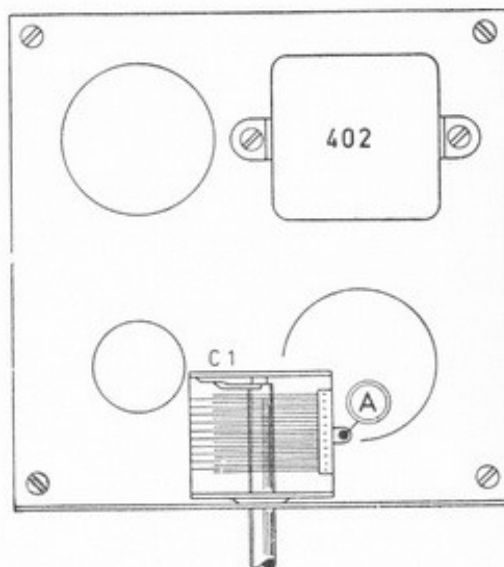


fig. 55

VRAGEN BIJ DE 7e LES

De les is niet gemakkelijk maar vormt de basis van „Radio”; overlees de vraagstukken rustig enige malen; ze zijn zonder veel moeite op te lossen. Maar zend niet overhaast in, dat geeft teleurstelling.

1. Beschrijf in het kort de methode om laagfrequente spanningen over te dragen, zoals dit voor slechthorenden geschiedt.
2. Vertel de verschillende redenen waarom deze methode zich niet tot een algemene omroep leent.
3. Wat is de frequentie van een geluidstrilling, waarvan de golflengte 6 m is?
4. Wat is de golflengte van een radiostation, wanneer de frequentie 400 kHz is?
5. Wanneer een kring, bestaande uit een serieschakeling van spoel en condensator in resonantie is en het volgende is bekend: $L = 0.4$ Henry, $C = 0.4 \mu\text{F}$, dus $0,0000004$ F en $R = 12$ ohm, hoe groot is dan de impedantie van die kring? En welke is de frequentie?
6. Wanneer er stroomresonantie optreedt in de L-C kring, bestaande uit een parallelgeschakelde spoel en condensator en er loopt blijkens meting een stroom van $\frac{1}{2}$ A door de spoel, loopt er dan stroom door de condensator en zo ja, hoe groot is deze dan? Teken het schema er eens bij.
7. Wanneer een serieschakeling van een spoel en een condensator in resonantie is en over de spoel meten we 30 volt, hoeveel spanning meten we dan over de condensator? Teken de schakeling eens.
8. En als we nu over spoel en condensator samen eens in hetzelfde geval 5 volt meten, hoe verklaren we dit verschijnsel dan?
9. Vertel eens iets over de fazen van de stroom door a) de spoel en b) de condensator in het geval van stroomresonantie, dus parallel geschakelde spoel en condensator.
10. Vertel eens, in welk van deze vraagstukken we het onderwerp „opslingering” behandelen en waarom we van opslingering spreken.
11. Maakt het bij een kristalontvanger iets uit hoe we de diode schakelen?
12. Vertel eens waarom we over de hoofdtelefoon een condensator schakelen en maak eens een vergelijking op welke plaats we óók een dergelijke condensator aantreffen.
13. Hoe moeten in het algemeen de amplituden van een draaggolf en een laagfrequentmodulatie zich verhouden tegenover elkaar?
14. Maak eens het verschil duidelijk tussen een open en een gesloten trillingskring.
15. Planten radiotrillingen zich in één vlak voort of hebben wij daaromtrent een andere voorstelling? Zo ja, hoe is deze dan?

