

WAT DE AMATEUR VOOR HET **ZEND-EXAMEN WETEN MOET**

2e DRUK



**GESCHREVEN DOOR LEDEN DER
EXPERIMENTEELE AFDEELING VAN DE N.V.I.R.**

EXAMENEISCHEN

VOOR

- A. Aanvragers van een amateurzendmachtiging
- B. Aanvragers van een machtiging tot bediening van amateurzenders.

- I. Kennis van de beginselen van het magnetisme:
Natuurlijke magneten - kunstmagneten - polen - neutrale doorsnede - wederzijdse werking der polen - magnetiseeren van ijzer - magnetische inductie - invloed van magneten op staal en op week ijzer - coërcitiekraft - remanent magnetisme -
- II. Kennis van de beginselen van electriciteit:
 - a) Electriche verschijnselen - goede- en slechte geleiders - isolatoren - elementen - accumulatoren - electrostatische kracht - klemspanning - inwendige weerstand - serie- en parallelachakelen van weerstanden en spanningen - richting van den stroom - Ohm'sche weerstand - Wet van Ohm - Wetten van Kirchhoff - Voltmeter - Ampèremeter -
 - b) Condensator - solenoïde - electromagneet - wederzijdsche inductie - zelf-inductie - extra-stroom - regel van Ampère - Wet van Lenz -
 - c) Wisselstroom - frequentie - maximum waarde - gemiddelde waarde - middelbare of effectieve waarde - phase - hoofdeigenschappen van de geïnduceerde electromotorische kracht en stroom - resonantieverschijnsel - hittedraadmeter - transformator -
- III. Kennis van de beginselen van de radiotechniek:
Trillingskring - koppeling van trillingskringen - gedempte en ongedempte golven - zend- en ontvanglampen - detector - versterker - generator - zend- en ontvangschema's - frequentiemeters.
Microfoon - telefoon - draaggolf - modulatie - interferentie.
- IV. Kennis van de Nederlandsche wetgeving op het gebied van de radiotelegrafie en radiotelefonie, alsmede van het verdrag en algemeen reglement van Washington voor zoover betreft de bepalingen die betrekking hebben op particuliere stations voor proefnemingen.
- V. Seinen en opnemen op het gehoor van een tekst in verstaanbare taal met een snelheid van 8 woorden per minuut.

I N L E I D I N G

Doel van dit werkje is, om aan den Nederlandschen amateur, welke het van Rijkswege ingestelde examen tot verkrijging van een amateur-zendmachtiging wenscht af te leggen, een handleiding te verschaffen waarin hij datgene kan vinden wat hem kan worden gevraagd omtrent het onder I, II en III der eischen gestelde.

Wat betreft het onder IV geëischte, kan worden verwezen naar het door de Nederlandsche Vereeniging Voor Radiotelegrafie uitgegeven werkje "Wat de Nederlandsche amateur van de Radio-wetgeving moet weten", hetwelk eveneens bij het verkoopbureau der Nederlandsche Vereeniging voor Internationaal Radioamateurisme verkrijgbaar is.

Voor het onder V geëischte wordt verwezen naar het werkje "Het zendend radioamateurisme in Nederland", uitgave van N.Veenstra te 'sGravenhage. Ook dit werkje is verkrijgbaar bij het N.V.I.R.-verkoopbureau.

De examenedschen vindt men op de volgende pagina.

De wijze van uitvoering van dit werkje bracht met zich mede, dat niet alle fouten in den tekst konden worden gecorrigeerd. Het is daarom noodzakelijk, dat de lezer, alvorens tot bestudeering over te gaan, zelf de op het vel "ERRATA" verzamelde verbeteringen in den tekst aanbrengt.

Opgave voor het genoemde examen dient te geschieden door middel van een ongezegeld request, te richten aan Z.E. den Minister van Waterstaat.

'sGravenhage, Augustus 1930

DE SCHRIJVERS.

H O O F D S T U K I

-xxx-

MAGNETISME.

Onder magnetisme verstaan men het vermogen van sommige voorwerpen om stukjes ijzer aan te trekken en daarna vast te houden. We onderscheiden verschillende soorten magneten:

- a) natuurlijke magneten. In de natuur worden ijzerertsen gevonden waarvan stukken magnetisch blijken te zijn. Deze natuurlijke magneten werden het eerst ontdekt in Klein-Azië nabij het plaatsje Magnesia, vandaar de naam magneet. De magnetische eigenschappen zijn evenwel steeds zwak, zoodat ze van weinig of geen practisch belang zijn.
- b) kunstmagnetten. Zooda de naam aangeeft zijn dit kunstmatige, dus door menschen vervaardigde magneten. We onderscheiden ze in permanente kunstmagnetten en in electromagnetten.

Permanente kunstmagnetten bestaan uit staal, hetwelk kunstmatig magnetisch gemaakt is. Ze zijn reeds veel sterker dan natuurlijke magneten. Naar den vorm onderscheiden we staaf-, hoof-, ring- en naaldmagnetten.

Electromagnetten bestaan uit week ijzer, hetwelk door middel van een electrischen stroom tijdelijk magnetisch gemaakt kan worden, doch dit magnetisme weer grootendeels verliest zoodra de stroom verbroken wordt. Tot dit type behooren de sterkste magneten welke wij kunnen vervaardigen.

Polen

Bij elken magneet zijn twee punten aan te wijzen, van waar uit de aantrekkende kracht op ijzeren voorwerpen schijnt te werken. We noemen deze de polen van den magneet. (P_n en P_z in fig.1) De lijn welke deze beide polen verbindt heet de magnetische as. De magnetische werking van een magneet, die aan de uiteinden het sterkst is, neemt naar het midden toe af, en wordt in dit midden M nul. Een vlak door M aangebracht loodrecht op de magnetische as heet daarom de neutrale doorsnede. Brengen we dus bij M een stukje ijzer bij den magneet, dan zal dit niet worden aangetrokken.

Wederzijdsche werking der polen.

Stellen we een magneet vrij beweegbaar op, dan zal hij zich zoodanig draaien dat de magnetische as ongeveer in de richting Noord-Zuid komt te liggen. Het blijkt dat daarbij steeds dezelfde pool zich naar het Noorden keert. Deze pool noemen we daarom de Noordpool (ook wel positieve pool genoemd); de andere pool is dan de Zuidpool of negatieve pool. (Het kompas is van het bovenstaande een toepassing) Iedere magneet bezit steeds een Noord- en een Zuidpool. Afzonderlijk kunnen deze twee poolsoorten niet voorkomen.

Uit een eenvoudige proef blijkt dat twee Noordpolen elkaar afstooten, evenals twee Zuidpolen, terwijl een Noord- en een Zuidpool elkaar steeds aantrekken, dus:

GELIJKNAMIGE POLEN STOOTEN ELKAAR AF; ONGELIJKNAMIGE TREKKEN ELKAAR AAN.

Opmerking. Uit het feit dat onze magneten zich steeds in de richting Noord-Zuid opstellen volgt, dat de aarde zelf ook een magneet is, waarvan de polen bij benadering samenvallen met de aardrijkskundige polen. De aardrijkskundige Noordpool van de aarde is volgens het voorgaande dus een magnetische Zuidpool.

Wordt een magneet in twee stukken gebroken, dan blijkt elk der stukken weer een magneet met een Noord- en een Zuidpool te zijn geworden. Deze deeling kan men met hetzelfde gevolg tot practisch gesproken in het oneindige voortzetten.

Dit leidt tot de volgende veronderstelling: (eerste hypothese van Weber)

ELKE MAGNEET IS OPGEBOUWD UIT EEN ONNOEMELIJK GROOT AANTAL z.g. ELEMENTAIRE MAGNETJES.

Volgens de tegenwoordige opvattingen moeten we ons alle stoffen opgebouwd denken uit zeer kleine deeltjes: de kleinste deeltjes die elk voor zich de eigenschappen van de uitgangsstof nog bezitten. Deze deeltjes noemen we moleculen. We denken ons nu dat elk ijzermolecuul een klein magneetje is (ook magneecuul genaamd).

Uit de eerste hypothese (= veronderstelling) van Weber zou nu kunnen worden afgeleid dat ieder stuk ijzer magnetisch zou zijn. Hieromtrent zegt de tweede hypothese van Weber:

IN EEN NIET-MAGNETISCH STUK IJZER LIGGEN DE MAGNECULEN DOOR ELKANDER IN GESLOTEN BANEN.

In zoo'n gesloten baan rondgaande van magnecuul tot magnecuul passeeren we dus om beurten een Noord- en een Zuidpooltje. Deze heffen elkaars werking naar buiten op. Hierdoor is buiten het stuk ijzer geen magnetisme merkbaar.

Magnetiseeren van ijzer.

Door uitwendige invloeden kunnen we evenwel de magneculen zoodanig "richten" dat alle Noordpooltjes naar één richting, en alle Zuidpooltjes naar de tegenovergestelde richtinggedraaid worden. Aan het eene eind van zulk een stuk ijzer treffen we dan alleen Noordpooltjes, aan het andere uiteinde alleen Zuidpooltjes aan. Het ijzer is dan magnetisch geworden. We kunnen dit magnetiseeren (richten der magneculen) op verschillende wijzen bewerkstelligen.

1. Door één pool van een magneet bij een der uiteinden van het te magnetiseeren stuk ijzer te houden, of met die pool vanuit het midden naar een der uiteinden te strijken. De dichtsbijzijnde magneculen zullen dan n.l. door de aantrekking met hun ongelijknamige pooltjes naar die pool toegedraaid worden. De tegenovergestelde pooltjes dier gerichte magneculen richten op hun beurt weer verderafgelegen magneculen, enzovoorts, zoodat het geheele stuk ijzer magnetisch wordt (Magnetische inductie). Hetzelfde geldt trouwens ook bij aantrekking van een stukje ijzer door een magneetpool. Door de aanvankelijk zwakke aantrekking door die pool uitgeoefend op de dichtsbijzijnde magneculen worden deze gericht, waardoor ze in staat zijn weer nieuwe magneculen te richten, zoodat het stukje ijzer tenslotte een magneetje wordt.

Hierdoor kan de onderlinge aantrekking zóó groot worden dat het naar de magneetpool getrokken wordt. Dat het aangetrokken stukje ijzer zelf ook magnetisch is geworden blijkt doordat het zelf ook weer andere stukjes ijzer kan aantrekken en vasthouden.

2. Door middel van een electrischen stroom, die door een om het ijzer geworden draad wordt gevoerd (electro-magnetische inductie)

IJZER kan gemakkelijker gemagnetiseerd worden dan staal, doch verliest zijn magnetisme weer snel. Hieromtrent zegt de derde hypothese van Weber:

IN IJZER ZIJN DE MAGNECULEN GEMAKKELIJK DRAAIBAAR, IN STAAL DAARENTEGEN MOEILIJK.

Het kost dus veel meer arbeid om een stuk staal magnetisch te maken, dan een stuk ijzer, doch omgekeerd merken we op dat als een stuk staal eenmaal magnetisch is, het ook vrij sterk magnetisch blijft (permanente kunstmagneet) terwijl ijzer vrijwel alle magnetisme weer verliest. (na het magnetiseeren draait het grootste aantal magneculen weer terug, zoodat weer gesloten banen worden gevormd) De hoeveelheid magnetisme die na het magnetiseeren in het gemagnetiseerde voorwerp overblijft heet remanent magnetisme. (remanent = overblijvend)

Wil men het gemagnetiseerde ijzer of staal weer geheel ontmagnetiseeren, dan moeten we dit remanent magnetisme dus vernietigen. Hiervoor is natuurlijk een zekere kracht noodig, evenals voor het magnetiseeren. De kracht die noodig is om het remanent magnetisme te vernietigen noemt men de coërcitiefkracht. Dit is dus de kracht die noodig is om den tegenstand welke de nog gerichte magneculen tegen terugdraaiing bieden, te overwinnen. De grootte van deze coërcitiefkracht is afhankelijk van de beweeglijkheid der magneculen, dus van de ijzersoort. Dit kan van veel belang zijn, bijv. bij transformatorenkernen, waarin de magneculen tientallen malen per seconde omgedraaid worden. Hoe grooter de coërcitiefkracht dan is, hoe meer arbeid hiervoor iedere keer besteed moet worden, en hoe grooter de z.g. hysteresisverliezen zullen zijn. Voor transformatorkernen moeten we dus ijzer gebruiken waarvoor de coërcitiefkracht zoo klein mogelijk is.

Magnetische verzadiging.

We hebben gezien dat het magnetiseeren van ijzer hierop neerkomt, dat we de magneculen door een uitwendige kracht in een bepaalden stand trekken. Maken we de richtende kracht groot, dan zullen véél magneculen gericht worden, doch het is duidelijk dat bij het grooter maken van de richtende kracht een oogenblik zal komen, waarop alle magneculen gericht zijn. Maken we de magnetiseerende kracht daarna nog grooter, dan zal het magnetisme niet sterker meer kunnen worden; we zeggen dat het gemagnetiseerde voorwerp verzadigd is. Grafisch vindt men dit weergegeven in fig. 2 door de lijn OA. Horizontaal is in deze figuur uitgezet de magnetiseerende kracht, verticaal de sterkte van het veroorzaakte magnetisme. We zien dat als we de kracht grooter maken dan k, het magnetisme niet meer toeneemt, dus OV = de verzadigingssterkte. Laten we nu de kracht weer afnemen tot nul, dan blijkt het magnetisme nog niet nul te zijn geworden; OR geeft deze hoeveelheid remanent magnetisme aan; het verloop van de magneti-

sche sterkte bij afname van de kracht wordt dus voorgesteld door de kromme lijn AR. Laten we nu de kracht in tegenovergestelde richting weer toenemen, dan zien we dat als zij de waarde OC heeft bereikt, het magnetisme nul is geworden, dus OC geeft de grootte der coërcitiefkracht aan. Verder voortgaande zien we dat bij B weer verzadiging optreedt. Laten we de kracht nu weer afnemen, dan wordt de lijn BR' doorlopen, enz. De aldus ontstaande S-vormige lus ARBR'CA draagt den naam van hysteresislus of hysteresiskromme. Hoe gemakkelijker de magnetulen van het behandelde stuk ijzer draaibaar zijn, hoe kleiner het remmend magnetisme en hoe kleiner ook het oppervlak der hysteresiskromme zal zijn.

Magnetische velden.

De ruimte om den magneet, waarin ten gevolge van dien magneet magnetische krachten optreden, heet het magnetisch veld van den magneet, hetwelk zich in het algemeen tot in het oneindige zal uitstrekken. (denk aan de radiotelegrafie: de ontvangst van radio-signalen berust eveneens gedeeltelijk op de aanwezigheid van een magnetisch veld om de zendantenne)

Onder de richting van een magnetisch veld in een punt wordt steeds verstaan de richting waarin een denkbeeldig los Noordpooltje zich onder invloed van de magnetische krachten door dat punt zou bewegen. De baan die zoo'n Noordpooltje van de Noordpool van een magneet (afstooting) naar de Zuidpool (aantrekking) zou beschrijven, noemen we een krachtlijn. Deze krachtlijnen, welker aantal blijkens de definitie oneindig groot is, vormen gesloten banen, waarvan de vorm geheel door de vorm van den magneet wordt bepaald. Buiten de magneet loopen ze van de Noordpool naar de Zuidpool en binnen den magneet loopen ze van de Zuidpool terug naar de Noordpool. (zie fig.3) We kunnen dergelijke banen zichtbaar maken met behulp van ijzervijlsel wat we uitstrooien op een papier, dat we over den magneet leggen. (even tikken tegen het papier)

Onder de veldsterkte in een zeker punt verstaat men het aantal krachtseenheden dat op een denkbeeldig los pooltje, wat de eenheid van poolsterkte heeft, in dat punt geplaatst, wordt uitgeoefend. Die kracht is te vinden met behulp van de wet van Coulomb:

DE KRACHT DIE TWEE POLEN OP ELKAAR UITOEFENEN IS EVENREDIG MET DE POOLSTERKTES (m_1 en m_2) EN OMGEKEERD EVENREDIG MET HET KWADRAAT VAN DEN AFSTAND (r) WAAROP ZIJ VAN ELKAAR VERWIJDERD ZIJN.

in formule:
$$\text{kracht} = \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

Opmerking. In het vervolg zullen we voor een maalteeken (x) een punt (.) schrijven. $m_1 \cdot m_2$ beteekent dus m_1 maal m_2 .

Voorbeeld. Gevraagd richting en sterkte van het magnetisch veld van een staafmagneet, waarvan de poolsterkte m is, in een gegeven punt P. (zie fig.4)
Gegeven is verder dat NP = r_1 en ZP = r_2 .
Overeenkomstig het voorgaande denken we ons in P een eenheidsnoordpooltje. Door de Noordpool van den magneet wordt dit pooltje afgestooten met een kracht, die we K_1 zullen noemen. Volgens de wet van Coulomb is $K_1 = \frac{m \cdot 1}{r_1^2}$.

Door de Zuidpool wordt het op overeenkomstige wijze aangetrokken met een kracht $K_2 = \frac{m \cdot 1}{r_2^2}$.

Deze beide krachten kunnen we in grootte en richting voorstellen door de in de figuur geteekende pijllijntjes (z.g. vectoren). Beide krachten kunnen we vervangen door één kracht, de z.g. resultante K_r , waarvan grootte en richting met behulp van de geteekende eenvoudige constructie te vinden zijn. Grootte en richting van deze resulteerende (= vervangende) kracht K_r geven resp. de sterkte en de richting van het veld in P aan.

De eenheid van poolsterkte wordt berekend naar de volgende definitie:

PLAATST MEN TWEE EENHEIDSPOLEN (POOLSTERKTE = 1) OP EEN AFSTAND VAN 1 cm VAN ELKAAR IN DE LUCHT, DAN IS DE KRACHT DIE ZE OP ELKAAR UITOEFENEN = 1 DYNE. (uitspr. "diene")

Ter omrekening diene dat 981,2 dynes = 1 gram. Wordt ergens op een eenheidspooltje een kracht van 100 dynes uitgeoefend, dan zeggen we dat de veldsterkte daar ter plaatse 100 Gauss bedraagt. In plaats van Gauss wordt deze eenheid ook wel Maxwell genoemd. Hoewel we hebben gezien dat het aantal krachtlijnen oneindig groot is, zegt men, dat wanneer de veldsterkte in een punt 100 Gauss bedraagt, een vlakje ter grootte van 1 cm² door P aangebracht loodrecht op de richting der krachtlijnen, gesneden wordt door 100 krachtlijnen. Als we in dit verband spreken over krachtlijnen bedoelen we er dus iets anders mee, dan we aanvankelijk hadden aangenomen.

Brengen we in een magnetisch veld een stuk ijzer, dan zal dit, zooals we gezien hebben, ten gevolge van de magnetische inductie zelf ook magnetisch worden. Een eenheidsnoordpooltje zal, wanneer het in de buurt van dit stuk ijzer wordt gebracht, hierdoor een extra-kracht ondervinden, benadere de kracht die veroorzaakt wordt door het oorspronkelijk aanwezige veld. Ten gevolge hiervan zal de baan van het pooltje anders worden, dan wanneer het stuk ijzer niet aanwezig was. Het blijkt dat de krachtlijnen door het ijzer als het ware aangehouden worden. (zie fig.5) Bij de bespreking der meetinstrumenten zullen we hierop nog terugkomen.

Benigszins vooruitlopend op de bespreking volgens het schema moet hier tenslotte nog opgemerkt worden dat ook een elektrische stroomgeleider een magnetisch veld om zich heen heeft wanneer door dien geleider een stroom vloeit. De krachtlijnen zijn hier gelegen in vlakken loodrecht op den geleider, en vormen cirkels met een punt van den draad als middelpunt, zooals is aangegeven in fig.6. (ook weer met ijzervijlsel aan te toonen) Het is van deze eigenschap dat we gebruik maken bij de electromagneten. Ook hierover later meer.

... .

HOOFDSTUK II

-XIX-

KEERIS VAN DE BEGINSELLEN DER ELECTRICITEIT A.

Electrische verschijnselen. Wij allen kennen uit ons dagelijksch leven zooveler typische electrische verschijnselen dat het zeker onnoodig is hier lang bij stil te staan. Noemen we slechts het overspringen van vonken, het verwarmen van een draad waardoor stroom vloeit (el. kachel, gloeilamp) en het ontstaan van beweging (electromotor, el. schel) enz. enz.

We onderscheiden bij de electriciteitsleer statische en dynamische electriciteit. Statisch wil zeggen "in rust"; dynamisch beteekent "in beweging". Dynamische electriciteit kan alleen voorkomen in gesloten electrische kringlopen.

Statische electriciteit kan o.m. opgewekt worden door wrijving. De twee voorwerpen die we met elkaar wrijven worden electrisch geladen. Evenals we bij magneten onderscheid moeten maken tusschen de beide polen, hebben we bij electriciteit te maken met twee verschillende ladingen, t.w. positieve en negatieve ladingen. Zoo wordt bijvoorbeeld bij wrijving van een droge glasstaaf met een drogen wollen lap het glas positief, en de lap negatief geladen. Een verdere overeenkomst met magneten is, dat gelijknamige ladingen elkaar afstootten en ongelijknamige ladingen elkaar aantrekken. Tusschen een en een electrisch geladen voorwerpen is dus een electrisch veld aanwezig. De grootte der aantrekkende of afstotende kracht is weer te vinden met behulp van de wet van Coulomb:

$$\text{kracht} = \frac{e_1 \cdot e_2}{r^2}$$

als e_1 en e_2 de ladingen zijn en de afstand = r is.

Dielectrische constante. De voorgaande wet geldt alleen wanneer de geladen voorwerpen gegeven zijn door lucht. Bestaat de omgevende stof uit iets anders, dan moet de uit de wet van Coulomb verkregen uitkomst vermenigvuldigd worden met een getal, de z.g. dielectrische constante. (zie bekende gegevens uit de Radiotechniek -uitgave N.V.V.R.- pag. 45 tabel VII.) Bij de bespreking van condensatoren hierover meer.

Dynamische electriciteit kan, zooals we reeds gezegd hebben alleen in gesloten stroomketens voorkomen. De electrische stroom beweegt zich hierbij door een z.g. geleider. We kunnen de materie (de op aarde bekende stoffen) namelijk uit electrisch oogpunt verdeelen in geleiders eenzijdig en niet-geleiders of isolatoren anderzijds. We weten allen dat bijv. koper den electrischen stroom geleidt, en dat glas dit niet doet. Tusschen geleiders en niet-geleiders bestaat slechts een graduool verschil; er zijn stoffen die we met even veel recht een geleider als een niet-geleider kunnen noemen, d.w.z. dat zoo'n stof een slechte geleider en tevens een slechte niet-geleider is. Anders uitgedrukt: een geleider biedt den stroom slechts weinig weerstand, een niet geleider daarentegen veel weerstand. De grootte van dien weerstand wordt uitgedrukt in Ohms.

Voorwaarde voor het optreden van een electrischen stroom is behalve het bestaan van een gesloten geleidingsketen de aanwezigheid van een apparaat, dat den stroom door dien keten stuwt; een z.g. electriciteitsbron. Dit kan zijn een galvanisch element, ook wel kortweg element genoemd, een accumulator of een dynamo.

Elementen Het grondprincipe van een element is, dat chemische (scheikundige) energie wordt omgezet in electriciteit. Ieder element bestaat uit twee geleiders, (z.g. electroden) gedompeld in een vloeistof die eveneens de electriciteit geleidt (het z.g. electrolyt) Zoo bestaat bijvoorbeeld het Leclanché-element uit een zinkelektrode en een koolelektrode, gedompeld in een zalmiakoplossing. De koolstaaf is omgeven door bruinkool, hetwelk dient om te voorkomen dat door de scheikundige werking zich aan de koolstaaf gasballetjes vastzetten, welke verdere stroomdoorgang zouden belemmeren (polarisatie). Bij zinklantaarnbatterijtjes is de zinkelektrode als een cilindertje uitgevoerd, waarin de staafvormige koolelektrode is geplaatst. Het electrolyt is vermengd met gelatine en zaagsel om wegvieling te voorkomen. In principe is het evenwel eveneens een Leclanché-element. Er bestaan nog verschillende andere soorten elementen (bijv. die van

Bunsen en Daniël) welke hier niet nader zullen worden besproken. Een element geeft een zekere stuwkracht (spanning) waardoor stroom door een keten kan worden gedreven. Die spanning wordt uitgedrukt in Volts. We zeggen nu dat de stroom vloeit van de positieve electrode of pool, naar de negatieve. (Zoo is bij een Leclanché-element de kool-electrode de + pool) In het element loopt de stroom via het elektrolyet weer terug van - naar +.

Accumulatoren. Bij een element wordt zocals we hebben gezien, chemische energie in elektrische omgezet. Hierbij worden de stoffen die het element vormen aangetaast en chemisch onherstelbaar ontleed, zoodat het element na verloop van tijd onbruikbaar zal worden. Bij accumulators gebeurt precies hetzelfde, met dit verschil, dat hier de chemische omzettingen welke bij het afgeven van elektrische energie plaats hebben, omkeerbaar zijn, zoodat door in tegenovergestelde richting stroom door den accu te voeren de chemische ontleding weer ongedaan kan worden gemaakt. (het z.g. laden van accumulators) Een geladen accumulator bestaat uit electroden van lood (negatieve pool) en loodperoxyd (positieve pool) met verdund zwavelzuur als elektrolyet. Bij ontlading werkt het zwavelzuur op het lood en het loodperoxyd (uitspr. peroxyd) in onder vorming van loodsulfaat. Het zuurgehalte neemt dus bij ontlading af. Bij lading gebeurt precies het tegenovergestelde. De ontlading mag niet te ver worden doorgevoerd, daar het loodsulfaat zich dan in onoplosbaren vorm als een witte laag op de platen afzet, en niet meer door lading kan worden verwijderd.

Terloops hebben we reeds even de kwestie van de stuwkracht of spanning van stroombronnen aangeroerd. Hoe grooter deze spanning is, hoe grooter ook de stroom zal zijn welke door een keten van bepaalden weerstand wordt gestuwd. Dit is vastgelegd in de wet van Ohm:

DE STROOMSTERKTE IN EEN KETEN IS EVENREDIG MET DE SPANNING EN OMGEKEERD EVENREDIG MET DEN WEERSTAND.

Als formule wordt dit:

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

waarbij de stroomsterkte I is uitgedrukt in Ampères; de spanning E in Volts en de weerstand R in Ohms.

Hieruit kan worden afgeleid: $E = I \cdot R$ en $R = \frac{E}{I}$

Een goed begrip van de samenhang tusschen de grootheden spanning, stroomsterkte en weerstand kan als volgt verkregen worden. Men denke zich een buisleiding, waarvan de einden aan elkaar sluiten, zoodat een gesloten geleiding wordt gevormd. Ergens in deze geleiding bevindt zich een pomprichting die het water waarmede we de geleiding geheel gevuld hebben in een voortdurende rondgaande beweging houdt. (zie fig.8) Het is duidelijk dat alleen een waterstroom zal vloeien wanneer de pomp een zekeren druk uitoefent, terwijl het eveneens vanzelf spreekt dat de stroomsterkte, d.w.z. de hoeveelheid water die per seconde door de pomp wordt verplaatst, evenredig met den druk zal toenemen. Plaatst men dezelfde pomp in een andere buisleiding, waarvan de buisdoorsnede kleiner is, dan zal de pomp een grootere kracht moeten uitoefenen om per seconde dezelfde hoeveelheid water te verplaatsen als in het eerste geval. Dit is een gevolg van den grooteren weerstand die door de wanden der buizen op het water wordt uitgeoefend. De stroomsterkte is omgekeerd met den weerstand, d.w.z. dat als de weerstand twee maal zoo groot wordt, de stroomsterkte tot de helft afneemt.

Nu gaan we over tot een electrischen keten. De draad is hier de buisleiding, het element kan als pomp worden beschouwd en we kunnen een weerstand in den vorm van een minder goeden geleider in den keten opnemen. (in den regel heeft de draad zelf een te verwaarloozen weerstand) De electrische stroom die zal gaan vloeien wordt nu dus bepaald door de spanning van het element en door den totalen weerstand van den keten. Een en ander is getoekend in fig.9. Vanzelfsprekend is ook dat de stroomsterkte in een onvertakten keten overal gelijk is.

Practische eenheden.

De stroomsterkte in een keten wordt uitgedrukt in Ampères. Een stroom heeft de sterkte van één Ampère (geschreven 1 A) wanneer hij bij het passeren van een oplossing van zilvernitraat hieruit per seconde 1,118 miligram zilver neerslaat.

Ionentheorie. Iedere vloeistof die den electrischen stroom goed geleidt bevat stoffen die in oplossing gesplitst zijn in electrisch geladen deeltjes, z.g. ionen. Zoo is bijv. keukenzout gesplitst in positief geladen natriumionen en in negatief geladen chloorionen. Worden in zo'n oplossing twee electroden aangebracht waartuschen een zeker spanningsverschil bestaat, dan worden de positie-

Voorbeeld: Beschikbaar is een accumulator die bij een belasting van 0,2 A een spanning heeft van 6 Volt. We willen hierop laten branden een Amerikaansche ontvanglamp. Volgens opgave van de fabriek is de gloeispanning 5 V bij een stroomsterkte van 0,2 A. Een Volt moet dus vernietigd worden door gebruikmaking van spanningsval aan een serieweerstand. We kunnen ons dus denken dat over deze vereischte voorschakelweerstand een denkbeeldige stroombron staat van 1 V, terwijl de stroomsterkte in den weerstand 0,2 A bedraagt. (in een onvertakten keten is de stroomsterkte immers overal gelijk) Volgens de wet van Ohm moet die weerstand dan zijn $E/I = \frac{1}{0,2} = 5 \text{ Ohm}$.

Anders: Stel een stroombron verbonden met de gloeidraadpennen van die lamp heeft de voorgescreven spanning van 5 Volt. De stroomsterkte bedraagt dan volgens opgave 0,2 A. Uit de wet van Ohm volgt dan dat de weerstand van den gloeidraad $= \frac{5}{0,2} = 25 \text{ Ohm}$.

Wil de 6-Volts accumulator een stroom geven van 0,2 Ampère dan moet de totale belastingsweerstand volgens de wet van Ohm zijn: $\frac{6}{0,2} = 30 \text{ Ohm}$. De serieweerstand dien we moeten aanbrengen moet

dus zijn: $30 - 25 = 5 \text{ Ohm}$.

Ook kunnen we zeggen: de spanningsval aan den gloeidraad bedraagt 5 Volt bij een weerstand van 25 Ohm. De spanningsval aan den serieweerstand moet bij dezelfde belasting 1 Volt bedragen, dus moet deze weerstand $1/5$ van 25 = 5 Ohm zijn.

Warmteontwikkeling in weerstanden. De in een weerstand vernietigde elektrische energie wordt in warmte omgezet. Deze energie is gelijk aan de spanningsval aan den weerstand, vermenigvuldigd met de stroomsterkte, dus $= E \cdot I$; en aangezien $E = I \cdot R$ is de ontwikkelde warmte per seconde $I^2 R$ Watts. In t seconden wordt dus ontwikkeld een warmte van $I^2 R t$ Wattseconde = $I^2 R t$ Joules. Dit is de wet van Joule. Meer bekend als eenheid is de kilowattuur (afgekort kWh) = 1000 wattuur = 1000 . 60 wattminuut = 1000 . 60 . 60 wattseconde of Joules. Willen we de ontwikkelde warmte uitdrukken in warmteëenheden, dan maken we gebruik van de betrekking: 1 kWh = 859 kilogram-calorieën.

Parallelschakeling van weerstanden. Verbinden we de beide uiteinden van eenige weerstanden met elkaar, (z.g. parallelschakeling, zie fig. 11) dan kan de stroom verschillende wegen kiezen van de + pool naar de - pool. Het is duidelijk dat de totale weerstand dan kleiner zal zijn dan wanneer bijv. alleen R_1 aanwezig was.

DE PARALLELSCHAKELING VAN WEERSTANDEN IS DE OMGEKEERDE WAARDE VAN DEN TOTALEN WEERSTAND GELIJK AAN DE SOM VAN DE OMGEKEERDE WAARDEN VAN ELK DER WEERSTANDEN; of:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots \quad (\text{als } R = \text{de totaalweerst.})$$

De stroom I die door de stroombron geleverd wordt is na berekening van den totalen weerstand R weer te vinden door middel van de wet van Ohm.

Hoe staat het nu met de stroomhoeveelheden die door elk der weerstanden gaan? Over de weerstanden staat een spanningsbron welker spanning E te meten is met behulp van een voltmeter. Overeenkomstig het voorgaande is dus in de eerste weerstand de stroomsterkte $I_1 = \frac{E}{R_1}$; voor de tweede $I_2 = \frac{E}{R_2}$, enz.

Vanzelfsprekend is de totale stroomsterkte I gelijk aan de som van de stroomsterkten in elk der weerstanden, dus in ons voorbeeld is

$$I = I_1 + I_2 + I_3.$$

De brug van Wheatstone. Dit instrument dient tot het meten van weerstanden door vergelijking.

Zij bestaat uit een combinatie van 3 weerstanden, geschakeld volgens fig. 12. Over weerstand R_1 loopt een glijcontact, waardoor deze weerstand in twee deelen kan worden verdeeld. Hij bestaat uit een recht uitgespannen stuk homogeen (d.w.z. overal gelijk) weerstandsdraad, waarlangs een maatverdeling is aangebracht, met behulp waarvan we kunnen aflezen in welke verhouding hij door het glijcontact A wordt verdeeld. Van de weerstanden R_2 en R_3 moet één bekend zijn, de andere is dan de onbekende weerstand, dien we meten willen.

Stel nu eens dat $R_2 = R_3$. De spanningsval aan R_2 is dan even groot als die aan R_3 , d.w.z. B ligt electrisch midden tusschen de punten C en D in. Ligt het punt A nu ook op het midden van R_1 , dan is de spanning in A gelijk aan die in B. Wanneer we deze beide punten door een draad verbinden zal hierdoor dus geen stroom vloeien en een meter M in dien draad opgenomen zal dus geen stroom aanwijzen.

De werkwijze met de brug van Wheatstone is nu als volgt: Men zoekt door verschuiving van het glijcontact A over R_1 op dezen weerstand een punt van gelijke potentiaal als B. Dit punt is bereikt als de meter M geen stroom aanwijst. Is bijv. R_2 bekend en vinden we dat $CA = n$ maal AD , dan volgt hieruit dat ook $R_2 = n$ maal R_3 , of $R_3 = 1/n \cdot R_2$. We maken hierbij gebruik van het feit dat de potentiaal van een punt, ergens op een weerstand gelegen alléén afhankelijk is van de verhouding van de stukken waarin het den totalen weerstand verdeelt, en niet van de grootte van dien weerstand.

Inwendige weerstand. We hebben gezien dat de stroom van de pluspool van een stroombron door den uitwendigen keten naar de minpool loopt, en vervolgens dóór de stroombron van min naar plus terug te gaan. (fig. 7) Het is duidelijk dat in de stroombron óók een weerstand aan den stroom kan worden geboden. Dit is de z.g. inwendige weerstand (R_i). Een deel van de drijfkracht van de stroombron is dan noodig om dien weerstand te overwinnen. De hiervoor benodigde energie betekent voor ons verlies. Hieruit blijkt de wenschelijkheid van een lagen inwendigen weerstand. Bij accumulators is de R_i bijna verwaarloosbaar klein, bij elementen is hij veel hooger.

Rendement. Onder het rendement verstaan we de verhouding tusschen de nuttig gebruikte- en de totaal benodigde energie. Voor een stroombron is dus het rendement:

$$\text{rendement} = \frac{\text{uitwendige arbeid}}{\text{inwendige- + uitwendige arbeid}}$$

Het rendement is dus steeds kleiner dan 1, aangezien de inwendige weerstand steeds grooter dan nul is. Het rendement van accumulators is dus in het algemeen hooger dan dat van elementen, of anders gezegd: bij elementen gaat meer energie nutteloos verloren dan bij accumulators.

De spanningsval ten gevolge van den inwendigen weerstand is $I \cdot R_i$. Dit is het z.g. inwendig spanningsverlies, of wel de drijfkracht die noodig is om den inwendigen weerstand te overwinnen. Wat er overblijft is de spanning die den stroom door den uitwendigen weerstand R_u stuwt. Deze is dus $I \cdot R_u$. Deze spanning die overblijft na aftrek van het inwendig spanningsverlies en die dus nuttig kan worden aangewend, noemt men de klemspanning. Dit is dus de spanning die men meet aan de klemmen van een stroombron, wanneer deze stroom levert. Levert zij geen stroom, dan is I nul, dus is ook het inwendig spanningsverlies nul en de spanning die we dan aan de klemmen meten is de z.g. electromotorische kracht (EMK). Anders geformuleerd: de EMK is de klemspanning bij een belasting nul, of:

$$\text{KLEMSpanning} = \text{EMK} - \text{INWENDIG SPANNINGSVERLIES.}$$

Opmerking: Men denke hieraan bij het toepassen van de wet van Ohm.

Of men moet rekenen met EMK en totalen weerstand ($R_i + R_u$),

of met klemspanning en alleen R_u

Van een droge batterij kan de inwendige weerstand soms zeer hoog oploopen, bijv. door het uitdrogen van het electrolyet. (soms zelfs tot duizenden Ohms) Hierdoor zakt bij belasting de spanning aanzienlijk, of anders gezegd: het verschil tusschen EMK en klemspanning is zeer groot. Vandaar dat men de spanning van anodebatterijen steeds onder belasting moet meten. (evenals bij plaatstroomapparaten)

Parallelschakeling van stroombronnen. Schakelt men elementen parallel (alle gelijknamige polen met elkaar verbinden) dan blijft de EMK van de aldus ontstane batterij gelijk aan die van één element. (bij gelijke elementen!) De inwendige weerstand wordt echter kleiner. (Immers we schakelen de inwendige weerstanden onderling parallel)

Schakelen we 4 elementen met gelijke EMK's en gelijke inwendige weerstanden parallel, dan blijft de EMK van het geheel gelijk aan de EMK van elk der elementen, doch de inwendige weerstand wordt vier maal zoo klein. Practisch wordt parallelschakeling nooit toegepast. Is n.l. één element slechts iets hooger in spanning dan een ander, dan gaat een stroom vloeien tusschen die elementen, met het gevolg dat het element met de hoogste spanning wordt uitgeput, tot de spanning van beide elementen gelijk is geworden. Dit is natuurlijk zeer oneconomisch, aangezien de ontstaande vereffeningssstroom voor ons zuiver verlies betekent.

Voorbeeld: Twee Leclanché-elementen welke ieder een EMK hebben van 1,5 V bij een inwendigen weerstand van 4 Ohm, worden parallel geschakeld. De klemmen van de aldus ontstane batterij worden verbonden met de einden van een weerstand van 13 Ohm. Gevraagd de klemspanning en het rendement.

Allereerst berekenen we de inwendigen weerstand van de batte-

rij: (zie parallelschakeling van weerstanden)

$\frac{1}{R_i} = \frac{1}{4} + \frac{1}{4} = \frac{1}{2}$, of $R_i = 2$ Ohm. De totale weerstand van den keten = $R_i + R_u = 2 + 13 = 15$ Ohm. Volgens de wet van Ohm geldt

$I = \frac{E}{R}$; of $I = \frac{1,5}{15} = 0,1$ Ampère. Het inwendig spanningsverlies

bedraagt $I \cdot R_i = 0,1 \cdot 2 = 0,2$ Volt. De klemspanning is dus $1,5 - 0,2 = 1,3$ Volt.

Het rendement is $\frac{E \cdot R_u}{E \cdot R_i + E \cdot R_u} = \frac{R_u}{R_i + R_u} = \frac{13}{15} = \text{ca. } 0,87$

of 87%.

Men zal zien dat aan deze berekening nog wel het een en ander had vereenvoudigd kunnen worden, doch duidelijkshalve is dit hier niet gedaan.

Serieschakeling van stroombronnen. (zie fig. 14) Hierbij verkrijgen we een batterij waarvan de EMK gelijk is aan de som van de EMK's van elk der stroombronnen. De totale inwendige weerstand is eveneens de som van elk der inwendige weerstanden. Serieschakeling van stroombronnen treffen we bijv. aan bij anodebatterijen.

Voorbeeld: De kortsluitstroom van een Daniëlelement bedraagt 1 Ampère. Men schakelt nu 100 van zulke elementen in serie. Hoe groot zal van deze batterij de kortsluitstroom zijn, en hoe groot is de klemspanning hierbij?

De EMK van de batterij is 100 maal die van een element, doch de inwendige weerstand is eveneens 100 maal zoo groot geworden.

Aangezien bij kortsluiting $R_u = 0$, bepaalt alleen de inwendige weerstand de stroomsterkte volgens de wet van Ohm. Aangezien zowel E als R met 100 zijn vermenigvuldigd, zal I dus gelijk blijven. Bij kortsluiting is de stroom dus onafhankelijk van het aantal elementen. De klemspanning is $I \cdot R_u = 0$ Volt.

Soms wordt van batterijen de kortsluitstroom opgegeven. Een hoge kortsluitstroom wijst op een lage R_i . Hoe grooter dus de kortsluitstroom, hoe beter de batterij. Kortsluiting veroorzaakt evenwel snelle uitputting van de batterij, dus het opmeten van den kortsluitstroom moet snel, en niet te vaak geschieden.

Maximum-energie wordt door een stroombron afgegeven wanneer $R_u = R_i$. Het rendement is dan $\frac{E \cdot R_u}{E \cdot R_i + E \cdot R_u} = \frac{R_u}{2R_u} = \frac{1}{2} = 50\%$. Bij maximum energieafgave is het

rendement dus lager dan wanneer R_u groter is dan R_i (genoteerd: $R_u > R_i$; of $R_i < R_u$.)

Weerstand van een draad. De weerstand van een geleider is afhankelijk van de lengte, de doorsnede, het materiaal en de temperatuur.

De lengte. Als een stroom gaat door een draad van bijv. 1 m lengte, dan ondervindt hij daarin een weerstand. Het spreekt vanzelf dat die weerstand twee maal zoo groot wordt wanneer we dien draad twee maal zoo lang maken (serieschakeling van twee weerstanden)

De doorsnede. Hieronder verstaan we het oppervlak van den draad volgens een vlak loodrecht op de stroomrichting. Maken we de doorsnede half zoo groot, dan zal de weerstand het dubbele worden.

Het materiaal speelt natuurlijk ook een rol, hetgeen we reeds wisten uit onze beschouwingen over goede en slechte geleiders. Zilver blijkt de kleinste weerstand te hebben, dan volgt koper, enz. Men heeft van diverse stoffen den weerstand bepaald voor een kolom van 1 m lengte en 1 mm² (vierkante millimeter) doorsnede bij een temperatuur van 15° Celsius. Dezen weerstand noemen de soortelijke of specifieke weerstand. (zie "Beknopte gegevens uit de Radiotechniek" pag. 44 tabel III) Het omgekeerde van den soortelijken weerstand noemen we het geleidingsvermogen. Voor koper bijv. is de soortelijke weerstand 0,0167 Ohm. Het geleidingsvermogen is dan $\frac{1}{0,0167} = \text{ongeveer } 60$. Een koperdraad van 1 m lengte bij een doorsnede van 1 mm² heeft dus een weerstand van 0,0167 = ong. 1/60 Ohm, en 60 m is dus nodig om 1 Ohm weerstand te krijgen.

De temperatuur speelt ook een rol. Bij temperatuursverhoging blijkt de weerstand over het algemeen toe te nemen, enkele stoffen, o.a. kool, uitgezonderd, waarbij de weerstand juist afneemt. Deze verandering per graad Celsius per Ohm weerstand is de z.g. temperatuurscoëfficiënt. (zie dezelfde tabel; alle waarden zijn hier met 1000 vermenigvuldigd)

Als dus de weerstand van een ijzeren draadje (temp. coëff. = $\frac{4,6}{1000}$) bij een

temperatuur van 20° C. vijftig Ohm bedraagt, dan zal de weerstand van dit zelfde stuk draad bij 30° C. zijn: $50 + (30 - 20) \cdot \frac{4,6}{1000} = 50 + 0,23 = 50,23$ Ohm.

Dit is wel van belang wanneer groote temperatuursverschillen optreden, zooals bijv. bij gloeilampen. De gloeidraadtemperatuur van een Philips " $\frac{1}{2}$ Watt" lampen bedraagt ongeveer 2500°C . Geeft de fabriek nu op dat de lamp een gloeispanning heeft van 100 Volt bij een energieverbruik van 50 Watt, dan weten we dat de stroom welke de lamp neemt $\frac{50}{100} = \frac{1}{2}$ A bedraagt, zoodat volgens de wet van Ohm: $R = \frac{E}{I}$

$$= \frac{100}{0,5} = 200 \text{ Ohm.}$$

Anders: Het energieverbruik in Watts = $E \cdot I$. Nu is volgens de wet van Ohm $I = \frac{E}{R}$; dus $E \cdot I = \frac{E^2}{R}$. Of in ons voorbeeld: $50 = \frac{100 \cdot 100}{R}$ of $R = \frac{10000}{50} = 200 \text{ Ohm}$. Dit is dan de weerstand bij 2500°C .

Voor Philips " $\frac{1}{2}$ Watt" lampen is deze weerstand niet minder dan 16 maal zoo groot als de weerstand bij 15°C . Bij het gebruik van gloeilampen als weerstanden dient men hiermee terdege rekening te houden. Ook bij radiolampen hebben we het zelfde verschijnsel, vooral bij z.g. "holgloeiers", d.w.z. lampen met een gloeidraad van Wolfram. (TA-serie van Philips) Bij te lage gloeispanning nemen ze relatief méér stroom, omdat de weerstand dan lager is dan bij volle belasting.

Voorbeeld:

Gevraagd de weerstand van een ronden koperdraad, 5 m lang, met een middellijn van 0,2 mm bij een temperatuur van 20°C . Gegeven is de soortelijke weerstand van koper = 0,0167 Ohm, en de temperatuurs-coëfficiënt $\frac{3,7}{1000}$.

De oppervlakte van een cirkel = $\frac{3,14}{4}$ maal het kwadraat van de middellijn, dus de doorsn. van onze draad is $\frac{3,14}{4} \cdot 0,04 =$

$0,0314 \text{ mm}^2$. Een lengte van 1 m van dit draad heeft dus een weerstand van $\frac{1}{0,0314} \cdot 0,0167 = \frac{167}{314} = 0,53 \text{ Ohm}$ bij een temperatuur

van 15°C . De weerstand van 5 m bedraagt dus $5 \cdot 0,53 = 2,65 \text{ Ohm}$. (bij 15°) Bij 20° is de weerstand dus $2,65 + (20 - 15) \cdot \frac{3,7}{1000} =$

$2,70$
• $2,65 = \text{ongeveer } 2,70 \text{ Ohm}$.

Wetten van Kirchhoff.

Na hetgeen in het voorgaande in allerlei varianten over de wet van Ohm is gezegd, zal dit onderwerp, dat feitelijk op hetzelfde neerkomt, nog slechts weinig nadere toelichting behoeven. De wetten van Kirchhoff handelen over vertakte stroomketens. De eerste wet zegt iets over de knooppunten of vertakkingspunten, terwijl de tweede wet iets zegt omtrent elk der "mazen" van het net".

de eerste wet van Kirchhoff luidt n.l. als volgt:

VOOR EEN VERTAKKINGSPUNT IS DE SOM VAN DE STROOMEN WELKE IN DIT PUNT SAMENKOMEN GELIJK AAN DE SOM VAN DE STROOMEN DIE UIT DIT PUNT VERTREKKEN.

In fig. 15 is dus $i_1 + i_3 = i_2 + i_4 + i_5$.

Dat dit zoo moet zijn is gemakkelijk in te zien als we maar eens even aan ons ezelsbruggetje denken. Stel eens dat naar het punt P méér water werd toegevoerd, dan ervandaan werd afgevoerd. Er zou dan steeds meer water bij P opgehoopt worden. Electriciteit is evenwel evenals water onsamendrukbaar, dus een dergelijke toestand is ten eenen male onmogelijk. Omgekeerd is het natuurlijk ook onmogelijk dat uit P meer electriciteit zou worden afgevoerd, dan er aankomt, en dus blijft alleen de mogelijkheid over dat toe- en afvoer aan elkaar gelijk zijn.

De tweede wet van Kirchhoff zegt dat

VOOR EEN "MAAS" GELDT DAT DE ALGEBRAISCHE SOM DER IN DIEN KRING VOORKOMENDE ELK'S GELIJK IS AAN DE ALGEBRAISCHE SOM VAN DE PRODUCTEN VAN DE IN DEN KRING VOORKOMENDE WEERSTANDEN EN BIJBEHOORENDE STROOMSTERKTES.

Dus som $E = \text{som } (R \cdot I)$ We schrijven dit:

$$\sum E = \sum (R \cdot I)$$

(Σ is de Grieksche letter sigma, welke gebruikt wordt als somteeken)

Met de uitdrukking "algebraïsche som" willen we te kennen geven, dat we hiermee de som bedoelen, afgezien van het teeken. Zoo is de algebraïsche som van 5 en 2 = 7 en de algebraïsche som van 5 en -2 = 3. Loopen hier dus twee stroomen tegengesteld, dan moeten we de algebraïsche som nemen, d.w.z. ze van elkaar aftrekken, evenals we de spanningen van twee tegengesteld geschakelde spanningsbronnen van elkaar moeten aftrekken.

Beschouwen we nu fig. 16.

Kring. Schakelen we nu den meter in, dan behoort die stroomsterkte gelijk te blijven. Dit kan ondertusschen alleen het geval zijn wanneer de meterweerstand nul is. Dit is natuurlijk niet uitvoerbaar: de meter heeft altijd eenigen weerstand, doch deze behoort dus zoo laag mogelijk te zijn. Goede Ampèremeters zijn daarom als volgt uitgevoerd: zij bestaan uit een zeer gevooligen stroommeter, die reeds bij eenige milliampères vollen uitslag geeft. De klemmen van dezen meter worden dan verbonden door een n.g. parallelweerstand of shunt (zie fig. 18), welke slechts weinig weerstand heeft. De gevoeligheid van den meter wordt hierdoor natuurlijk kleiner, want een deel van de stroom zal niet meer door den meter gaan, doch zijn weg kiezen door de shunt, doch hoofdzaak is, dat de meterweerstand aldus verwaarloosbaar klein kan worden gemaakt. Slechts het maken van uiterst gevoelige stroommeters met zeer kleinen weerstand levert dus moeilijkheden op. Stel bijvoorbeeld eens dat de weerstand van een stroommeter zonder shunt 10 Ohm bedraagt. Het instrument geeft bij een stroomdoorgang van 10 mA vollen uitslag. We shuntten dien meter nu door een draad, welke een weerstand heeft van $10/9$ Ohm. De weerstand van de combinatie wordt dan:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{10} + \frac{9}{10} = \frac{10}{10} = 1; \text{ of } R = \frac{1}{1} = 1 \text{ Ohm.}$$

Wanneer nu door dit stelsel 10 mA vloeit, gaat volgens hetgeen we bij parallelgeschakelde weerstanden hebben besproken $9/10$ van den totalen stroom door de shunt, en $1/10$ door den eigenlijken meter. Nu is dus een 10 maal zoo sterke stroom noodig om het instrument op vollen uitslag te brengen. De weerstand van de combinatie is dus 10 maal zoo klein geworden als die van het meetinstrument apart, doch het bereik is hierbij ook 10 maal zoo groot geworden, of anders gezegd, de gevoeligheid is 10 maal zoo klein geworden. Als algemeene regel vloeit hieruit voort, dat wanneer de weerstand van den meter R Ohms bedraagt, we het bereik (d.w.z. het verschil tusschen de kleinste en de grootste stroomsterkte welke kan worden aangegeven) n maal kunnen vergrooten door een shunt aan te brengen van $\frac{R}{n-1}$ Ohms.

Voorbeeld: Een milliampèremeter heeft een bereik van 0 - 100 mA. We willen hiervan maken een ampèremeter met een bereik van 0 - 10 Ampères. De weerstand van den milliampèremeter bedraagt 20 Ohms. n Is in dit geval = 100 (immers 10 A = 100 maal 100 mA) dus de weerstand van de shunt moet zijn: $\frac{20}{100-1} = \frac{20}{99}$ Ohm.

Voltmeters. Tusschen de normale Voltmeter en Ampèremeter bestaat in wezen geen verschil. De gewone voltmeter is eigenlijk een stroommeter, dus een ampèremeter. Nu weten we uit onze beschouwingen over EMK en klemspanning, dat wanneer we een stroombron gaan belasten, door over de klemmen een voltmeter te schakelen waarvan de weerstand niet oneindig hoog is, de spanning die we meten niet de EMK zal zijn, doch de klemspanning behorende bij de door den voltmeter veroorzaakte belasting. Dit is nu niet onze bedoeling: door over de klemmen een voltmeter te schakelen mag de spanning niet zakken. De belasting door den meter moet dus zeer klein zijn, feitelijk oneindig klein, of wel de weerstand moet oneindig hoog zijn. Ook dit is weer niet geheel te verwezenlijken, zoolang die voltmeter een stroommeter blijft, die alleen maar wat aanwijst zoolang er een zekere stroom doorgaat, doch willen we den ideaaltoestand zoo veel mogelijk benaderen, dan moet die stroom zoo klein mogelijk zijn.

NORMALE VOLTMETERS ZIJN DUS ZEER WEINIG STROOM GEBRUIKENDE ("zuinige") AMPÈREMETERS, dus meters die een hoogen weerstand hebben. We drukken de deugdelijkheid van voltmeters daarom uit in Ohms per Volt Wanneer een voltmeter bijv. een weerstand heeft van 1000 Ohm en een bereik van 0 - 10 Volt, dan zeggen we dat deze meter een weerstand heeft van $\frac{1000}{10} = 100$ Ohm per Volt. Deze uitdrukking is hierom gekozen, omdat

we er onmiddellijk uit kunnen zien hoeveel stroom de meter bij vollen uitslag verbruikt. Dit ampèrage is namelijk het omgekeerde van het aantal Ohms per Volt. Gaat maar na: in ons voorbeeld was de meterweerstand 1000 Ohm, en het bereik 0 tot 10 Volt. Bij tien Volt gebruikt het instrument een stroom $I = \frac{10}{1000} = 1/100$ Ampère.

dit komt overeen met $\frac{1}{\text{aantal Ohms per Volt}} = \frac{1}{100}$

Stel nu dat we een voltmeter hebben van 400 Ohm per volt. Het bereik van het instrument is 0 - 100 Volt. Hieruit volgt dat de weerstand van den meter = $100 \cdot 400 = 40000$ Ohm. We willen hiervan nu een meter maken met een bereik van 0 - 1000 Volt. Dit kunnen we bereiken door voorschakeling van een serieweerstand, als is aangegeven in fig. 19. Hoe groot moet deze weerstand in dit geval nu zijn? De meter mag bij schakeling over de klemmen van een stroombron van 100V een stroom van $\frac{1}{100}$ Ampère. Deze stroom moet nu gelijk blijven. Ook al weer

volgens de wet van Ohm volgt hieruit, dat als we afzien van de inwendige weerstand van de stroombron, die in dit geval verwaarloosbaar klein is ten opzichte van den hoogen meterweerstand, de uitwendige weerstand even zoo vele malen groter moet worden als de spanning toeneemt. In ons voorbeeld wordt die spanning tien maal zoo groot, dus moet de totale weerstand ook 10 maal 40000 Ohm = 400000 Ohm worden. De grootte van den gevraagden serieweerstand is dus $400000 - 40000 = 360000$ Ohm. Algemeen uitgedrukt kunnen we zeggen, dat als de meterweerstand R Ohms bedraagt, en we willen het bereik n maal vergrooten, een serieweerstand noodig is van $(n - 1) R$ Ohms.

Opmerking: Voltmeters en Ampèremeters zijn dus in het algemeen beide stroommeters. Het principieele verschil bestaat hierin, dat bij Ampèremeters de meterweerstand zeer klein, en bij Voltmeters juist zeer groot moet zijn.

Een combinatie van beide metersoorten vinden we o.a. in den bekenden Maymether. Door verschillende shunts en serieweerstanden is de eigenlijke meter (een gevoelige milliampèremeter) naar keuze te gebruiken als Voltmeter of Ampèremeter voor verschillende bereiken.

H O O F D S T U K I I I

-XXI-

KENNIS VAN DE BEGINSELEN DER ELECTRICITEIT B.De condensator.

Onder een condensator wordt verstaan een samenstel van twee geleidende platen, waartusschen zich een isoleerende tussenstof bevindt. Deze tussenstof wordt diëlectricum genoemd. De condensator heeft de eigenschap een hoeveelheid electriciteit te kunnen opnemen. Men kan dit aantoonen door de beide condensatorplaten resp. aan de positieve en negatieve pool van een stroombron te verbinden onder tusschenschakeling van een Ampèremeter A en een drukknop S1 (zie fig. 20). Ook bij neerdrukken van S1 bestaat er geen gesloten kring, omdat het diëlectricum een blokkeering voor den gelijkstroom vormt. Toch ziet men bij het neerdrukken van den knop den wijzer van den meter even uitslaan, om onmiddellijk daarna weer naar den nulstand terug te keeren. De condensator heeft nu een zekere hoeveelheid electriciteit opgenomen; hij is geladen. Men zou kunnen zeggen dat, alhoewel geen stroomdoergang mogelijk was, toch wel een verschuiving van electriciteit heeft plaats gevonden. Is de condensator eenmaal geladen, dan wordt bij herhaald neerdrukken van den drukknop geen uitslag van den meter meer waargenomen, verondersteld natuurlijk dat de isolatie tusschen de platen goed is, zoodat de condensator zijn lading niet onmiddellijk weer verliest. De in fig. 20 weergegeven schakeling is inderdaad een goede methode om de isolatie van een condensator te onderzoeken.

Het valt gemakkelijk in te zien dat de lading van een condensator, d.i. de hoeveelheid electriciteit die op de platen opgehoopt is, grooter zal zijn als de oppervlakte der platen grooter wordt gemaakt. Evenzoo zal de lading toenemen als de aangelegde spanning aan de platen wordt verhoogd. De electricische grootte van den condensator noemt men de capaciteit. De capaciteit stelt voor de hoeveelheid electriciteit die een condensator bij 1 Volt spanning kan bevatten. Een condensator met grootere capaciteit kan bij gelijke spanning meer electriciteit bevatten dan een van kleinere capaciteit. De capaciteit wordt altijd aangegeven door de letter C, de spanning door E, terwijl de letter Q de lading aangeeft. Uit de definitie voor de capaciteit volgt, dat tusschen de lading van een condensator, de capaciteit en de aangelegde spanning de volgende betrekking bestaat:

$$Q = C \cdot E$$

ⁿ Hierin is Q uitgedrukt in Coulombs (een stroom van 1 Ampère verplaatst in 1 seconde een electriciteitshoeveelheid = 1 Coulomb), C in Farads en E in Volts. Bij één Volt spanning zou een condensator van 1 Farad dus een hoeveelheid van 1 Coulomb kunnen opnemen.

De eenheid van capaciteit, de Farad, is voor practisch gebruik een veel te groote maat; gewoonlijk wordt gerekend met micro-Farads (millicienste Farads); afgekort: μF . Een condensator van 1 micro-Farad behoort zelfs al tot de zeer groote! Niettemin moet ooraan gedacht worden dat in bovenstaande formule de capaciteit in Farads is uitgedrukt.

De capaciteit van een condensator wordt bepaald door:

1^o de grootte van het platenoppervlak

2^o de soort en de dikte van het diëlectricum.

men kan de capaciteit van een condensator berekenen uit de formule:

$$C = \frac{K \cdot O}{4\pi d} \cdot \frac{1}{900000} \mu F.$$

K is een factor, die afhankelijk is van de soort materiaal van het diëlectricum, en daarom diëlectrische constante genoemd wordt. (zie pag. 5)

De diëlectrische constante is bijv. voor lucht = 1

,, glas = 6

,, mica = 5

,, papier = 2 - 4

Hieruit valt op te maken, dat de capaciteit van een luchtcondensator bij overigens gelijken bouw aanzienlijk kleiner is dan van een die van een mica- of glasdiëlectricum voorzien is. O is het z.g. "werkzame" oppervlak (uitgedrukt in cm²) d.w.z. het oppervlak van de zijde van één plaat, waarmede deze zich tegenover de andere plaat bevindt. De oppervlakte dus van één zijde van één der beide platen.

d Is de platenafstand in centimeters, terwijl π (de Grieksche letter pie) een waarde heeft van ca. 3,14.

Parallelschakelen van condensatoren. Wanneer een de stroombron meer condensatoren parallel geschakeld (zie fig.21) dan gaan ze alle een lading opnemen. DE TOTALE CAPACITEIT VAN zulk EEN CONDENSATORBATTERIJ IS GELIJK AAN DE SOM VAN DE CAPACITEITEN VAN DE PARALLELGESCHAKELDE CONDENSATOREN. Bij parallelschakeling van condensatoren geldt derhalve de regel:

$$C_{\text{totaal}} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots$$

Condensatoren bestaan in de praktijk meestal niet uit slechts twee platen, doch uit twee stellen platen, zoodanig opgesteld, dat tusschen 2 platen die tot hetzelfde stel behooren, zich telkens een plaat van het andere stel bevindt. (zie fig.22) Deze constructie treft men meestal aan bij mica- en glascondensatoren en steeds bij luchtcondensatoren; ook de draaicondensatoren zijn op deze wijze uitgevoerd. Alleen bij uiterst kleine capaciteiten treft men in den regel slechts twee platen aan. Zoo'n samenstel van twee platengroepen kan gewoon beschouwd worden als een aantal parallelgeschakelde condensatoren, elk van twee platen. Wil men hiervan de capaciteit berekenen, dan gaat men eerst na, hoeveel condensatoren parallel staan. Men heeft hiervoor slechts het aantal tusschenruimten tusschen twee opeenvolgende platen te tellen (bij draaicondensatoren in ingedraaiden stand) Vervolgens bepaalt men op de hiervoor aangegeven wijze de capaciteit van één condensator, om die uitkomst tenslotte met het aantal parallelle "diëlectricums" te vermenigvuldigen.

Voorbeeld: (zie fig.22) Een luchtcondensator ($K = 1$) bestaat uit 5 tegen 4 platen, die elk een werkzaam oppervlak hebben van 6 maal 4 cm; de plaat-afstand $d = 2\text{mm}$. Hoe groot is de capaciteit?

Er zijn 8 parallelgeschakelde deelen. De capaciteit van elk deel is

$$\frac{K \cdot 0}{4\pi d} \cdot \frac{1}{900000} \mu\text{F}, \text{ of } \frac{1 \cdot 24 \cdot 1}{4 \cdot 3,14 \cdot 0,2 \cdot 900000} = \text{ca } 0,000015 \mu\text{F}.$$

De totaalcapaciteit is dus: $8 \cdot 0,000015 = 0,00012 \mu\text{F}$.

Als het diëlectricum glas zou zijn ($K = 6$) zou de capaciteit 6 maal zoo groot zijn, dus $0,00072 \mu\text{F}$.

In fig. 22 is tevens nog eens aangegeven wat onder werkzaam oppervlak wordt verstaan, (c-d) en wat onder de platenafstand (p)

Condensatoren in serie. Gaan we na wat de gevolgen zijn, als we twee gelijke condensatoren in serie schakelen. (fig. 23) Dan blijkt in de eerste plaats, dat de afstand tusschen de twee met de stroombron verbonden platen a en b grooter is dan bij elk der condensatoren. C_1 toch is met plaat a aan de eene pool van de stroombron verbonden, terwijl de andere pool verbonden is met plaat b van C_2 . We kunnen nu de twee in serie geschakelde condensatoren vervangen denken door één enkelen condensator met een platenafstand gelijk aan dien van C_1 plus dien van C_2 . Een blik op de formule voor de capaciteit voert dan onmiddellijk tot de conclusie dat de capaciteit van de beide in serie geschakelde condensatoren gelijk is aan de helft van die van elk der beide gelijke condensatoren. M.a.w. door serieschakeling van 2 condensatoren van elk bijv. $1 \mu\text{F}$, krijgt men een capaciteit van $\frac{1}{2} \mu\text{F}$. In het algemeen geldt:

BIJ SERIESCHAKELING VAN CONDENSATOREN IS DE OMGEKEERDE WAARDE VAN DE TOTAALCAPACITEIT GELIJK AAN DE SOM VAN DE OMGEKEERDE WAARDEN VAN ELK DER CAPACITEITEN.

in formule:

$$\frac{1}{C_{\text{totaal}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots$$

Voorbeeld: Drie condensatoren resp. van 2, 3 en $4 \mu\text{F}$ worden in serie geschakeld. Wat is de totaalcapaciteit?

$$\text{Oplossing: } 1/C = 1/2 + 1/3 + 1/4 = \frac{13}{12} \text{ of } C = \frac{12}{13} \mu\text{F}.$$

Opgemerkt wordt dat door serieschakeling de totaalcapaciteit kleiner wordt dan de kleinste der samenstellende condensatoren.

De doorslagspanning.

Uit de formule voor de lading van een condensator: $Q = C \cdot E$ volgt, dat de lading grooter wordt naarmate meer spanning op den condensator wordt aangesloten. Bij het opvoeren van de spanning dient overwogen te worden of de isolatie tusschen de platen de betreffende spanning zal kunnen verdragen. De spanning waarbij het diëlectricum doorslaat noemt men de doorslagspanning. Voor veilig gebruik moet men een behoorlijk percentage beneden deze spanningswaarde blijven. De doorslagspanning is natuurlijk niet voor alle materialen gelijk bij gelijke isolatiedikte. Zoo zal een condensator met lucht-diëlectricum eerder doorslaan dan wanneer dezelfde condensator bijv. in een bak met olie wordt geplaatst, of van een mica-diëlectricum wordt voorzien. Bij de constructie van condensatoren zal men er steeds voor zorgen dat de platen kleiner in oppervlak zijn dan het isolatiemateriaal. Zoo zal een condensator die uit plaatjes van koper en mica bestaat, bijv. koperplaatjes van $6 \cdot 4 \text{ cm}$ bevatten, tegen micaplaatjes van $6\frac{1}{2} \cdot 4\frac{1}{2} \text{ cm}$.

Om de doorslagspanning te verhoogen kan men condensatoren in serie plaatsen. De door-

slagspanning wordt bij serieschakeling van twee condensatoren, die elk een doorslagspanning van 500 Volt hebben, gelijk aan 1000 Volt. Men gelieve evenwel te bedenken dat bij serieschakeling de lading van beide condensatoren steeds gelijk is. Zijn de capaciteiten gelijk, dan is de spanning aan de klemmen van beide ook gelijk. Zijn de capaciteiten niet even groot, dan volgt uit de formule $Q = C \cdot E$ dat de kleinste condensator het grootste deel van de spanning te houden zal krijgen. Men dient dus, wanneer bij het serieschakelen de bedoeling voorziet de doorslagspanning te verhoogen, zooveel mogelijk gelijke capaciteiten gebruiken, tenzij de aangelegde spanning zoo laag is, dat geen gevaar voor doorslag bestaat. De aangelegde- of werkspanning dient overigens voor veilig gebruik steeds ruim beneden de door den fabrikant opgegeven beproevingsspanning te blijven. Men zie hierover ook onder "wisselstroom, aangesloten op een condensator".

Verliezen in een condensator.

Het diëlectricum, dat in den regel gemakshalve als ideaal wordt beschouwd, is dit in werkelijkheid niet. Het is inderdaad een hooge weerstand waardoor een grootere of kleinere lekstroom vloeit. De isolatieweerstand van goede mica-condensatoren is ongeveer 200 à 500 Megohm. Voor papier-isolatie (zooals meestal voorkomend in blokcondensatoren voor afvlakdoeleinden in plaatsspanning-apparaten) is deze waarde ongeveer $\frac{1}{2}$ tot 2 Megohm. Een goede condensator zal zijn lading dus langer behouden dan een slechte. Laadt men een blokcondensator van 4 microFarad met papierisolatie met bijv. 150 Volt, dan moet de lading na eenigen tijd nog grootendeels aanwezig zijn, (kortsluiting moet een vonk geven) In aansluiting op hetgeen bij de beschouwing over de doorslagspanning werd gezegd, dient hier nog gewezen te worden op een gevaar, verbonden aan het serieschakelen van condensatoren, teneinde de werkspanning op te voeren. Rekenen we in elken condensator een isolatielek aanwezig, dan volgt uit de wet van Ohm, dat aan de klemmen van elken condensator een spanning komt te staan van $E = I \cdot R$. Zijn nu de isolatieweerstanden niet gelijk, m.a.w. hebben we een goeden en een slechten condensator in serie, dan vloeit hieruit voort dat aan de klemmen van den besten condensator, d.i. die met de hoogste isolatieweerstand R , de hoogste spanning komt te staan. De beste condensator loopt dus het grootste gevaar voor doorslag. Slaat hij inderdaad door, dan volgt de slechte natuurlijk direct daarop. Men moet zich dus wel degelijk rekenschap geven van de mogelijke consequenties verbonden aan serieschakeling van condensatoren. De in serie geplaatste condensatoren behooren zoo veel mogelijk gelijkwaardig te zijn. Behalve de zoo juist genoemde isolatieverliezen hebben we ook nog te maken met de z.g. diëlectrische verliezen. Zooals de naam reeds aanduidt, worden deze verliezen veroorzaakt door het diëlectricum. Zij bestaan hierin, dat de ladingen blijkbaar gedeeltelijk tot in het diëlectricum doordringen en neiging vertoonen daar te willen achterblijven. Men zou het een soort traagheidsverschijnsel kunnen noemen. Deze eigenschap kan gedemonstreerd worden door een grooten condensator van bijv. $\frac{4}{F}$ te laden met 100 of 150 Volt. Sluit men nu den condensator even kort, dan springt een vonk over. Bij hernieuwde kortsluiting springt opnieuw een vonk over en dit blijkt soms nog wel een derde maal mogelijk te zijn. Bij de eerste ont-lading bleef blijkbaar een gedeelte der lading achter. Luchtcondensatoren vertoonden deze eigenschap niet. Op plaatsen in toestellen, waar de condensatoren gebruikt worden voor uiterst snel opeenvolgende ladingen en ontladingen, bijv. in afstemkringen in ontvangers en zenders, kunnen de diëlectrische verliezen zeer schadelijk worden. Om deze reden verdienen op dergelijke plaatsen luchtcondensatoren de voorkeur.

Evenals om- en tusschen de polen van een magneet een magnetisch veld bestaat, heerscht tusschen de platen van een condensator een electricisch- of electrostatisch veld. (zie ook pag.5) Tusschen de platen zijn electricische krachten werkzaam waardoor de platen naar elkaar toe getrokken worden, het veld bestaat uit electricische krachtlijnen. Elk isolatiemateriaal verzwakt de werking der krachtlijnen, zoodat in het veld zoo veel mogelijk isolatiemateriaal wordt vermeden. Men bepaalt zich bij gering-verlies-condensatoren (= "low loss") tot smalle stripjes, die zoo ver mogelijk buiten het veld worden aangebracht.

Ladings- en ontladingsenergie.

De spanning aan de condensatorenplaten is bij aansluiting aan een stroombron niet onmiddellijk maximaal. Bij sluiting van het contact stroomt electriciteit van de positieve pool van de stroombron naar den condensator. Heeft de stroom even gevloeid, dan bestaat aan de platen reeds een klein spanningsverschil, zoodat het spanningsverschil tusschen stroombron en condensator kleiner is geworden. De werkzame spanning is dus kleiner geworden, waardoor de laadstroom afneemt. Dit gaat zoo voort tot de spanning aan de platen gelijk is geworden aan de spanning van de stroombron. Dan is de condensator geladen. Het verloop van den laadstroom is in fig.24 afgebeeld. De ontlaadstroom verloopt op overeenkomstige wijze: bij sluiting van het contact bezit de condensator een zekere lading, dus tusschen de platen heerscht een

potentiaalverschil. Door den invloed hiervan gaat een stroom vloeien, afhankelijk van den weerstand waarover de condensator wordt ontladen. (denk aan de wet van Ohm; de geladen condensator doet hier even als stroombron dienst) Na een oogenblik is de spanning van den condensator afgenomen, waardoor de stroomsterkte daalt. (wet van Ohm) De aanvankelijk groote ontladingsstroom zal dus langzamerhand tot nul afnemen.

Een geladen condensator vertegenwoordigt dus een hoeveelheid energie. Deze energie wordt bij de lading aan de stroombron onttrokken, en bij ontlading wordt zij teruggeleverd.

--- --

De solenoïde

Een draad, spoelvormig opgewonden als in fig.25 is voorgesteld, wordt solenoïde genoemd. Dit woord is afkomstig van het Grieksche "solen", hetgeen "buis" beteekent. Om de verschijnselen te overzien, die bij de solenoïde of spoel optreden wanneer een stroom door den draad wordt gevoerd, bekijken we eerst een gewonen rechten draad. Als door een stroomgeleider een elektrische stroom gaat vloeien, ontstaan cirkelvormige krachtlijnen om den draad, liggend in vlakken loodrecht op de stroomrichting. (zie fig.6) Indien we een draad door een stuk papier steken, zooals in de figuur is aangegeven, dan zien we, als een stroom van voldoende sterkte door den draad wordt gevoerd, op het papier gestrooid ijzervijzel zich in concentrische cirkels (cirkels met het rechte middelpunt) om den geleider schikken. Zooals dit bij een magneet het geval is, wordt bij de rechte stroomgeleider ook van een richting der krachtlijnen gesproken. Om deze richting ten opzichte van de stroomrichting te onthouden, gebruikt men den z.g. "kurketrekkerregel". Deze luidt:

DE RICHTING DER KRACHTLIJNEN IS TEN OPZICHTE VAN DE STROOMRICHTING, ZOALS DE DRAAIRICHTING VAN EEN KURKETREKKER PAST BIJ DE RICHTING VAN VOORGAANG.

Loopt de stroom dus, zooals zooals de figuur aangeeft, dan loopen de krachtlijnen in de richting van de pijlen. Keeren we den stroom om, dan loopen de krachtlijnen eveneens andersom. Als richting der krachtlijnen is weer aangenomen de weg, dien een denkbeeldig Noordpooltje zou beschrijven indien het in het krachtlijnenveld werd geplaatst. Hieromtrent luidt de regel van Ampère: Spannen we een stroomgeleider over een naaldingreet, en kijken we in de richting van den stroom, dan zal de Noordpool naar links uitwijken.

Het magnetisch veld rondom een rechten draad is echter zeer zwak. Om een krachtiger veld te krijgen, wordt de draad tot een spoel opgewikkeld. Als de geleider tot een lus gebogen wordt (zie fig.26), dan kan op elk punt met behulp van den kurketrekkerregel het verloop der krachtlijnen worden bepaald. Het resultaat is, dat we een bundel krachtlijnen krijgen, die bij de aangegeven stroomrichting uit de lus naar ons toe komt. Buiten de lus verspreiden de krachtlijnen zich, en loopen van ons af. Een solenoïde bestaat nu uit een aantal draadlussen of windingen achter elkaar, waarvan elke winding een aantal krachtlijnen produceert. Men kan zich een vlak aangebracht denken door de solenoïde, zoodanig aangebracht, dat alle windingen dit vlak snijden. In fig.27 is dit geteekend. De dikke punten stellen de draaddoorsneden voor. Loopt de stroom in de punten a, a_1, a_2 enz. van ons af, dan komt hij in de punten b, b_1, b_2 enz. naar ons toe. Om alle doorsneden is in fig.27 de richting der krachtlijnen aangegeven. Men ziet dat binnen in de spoel alle krachtlijnen dezelfde richting hebben, evenals buiten de solenoïde. Tusschen de windingen in loopen ze evenwel tegengesteld. Het gevolg hiervan is, dat de krachtlijnen elkaar gaan afstooten, waardoor ze zullen gaan afbuigen. Hierdoor ontstaat het in fig.28 voorgestelde krachtlijnenbeeld voor een solenoïde. Het valt oogenblikkelijk op, dat dit beeld geheel analoog is met het krachtlijnenbeeld van een staafmagneet. Inderdaad gedraagt een solenoïde die stroom voert zich geheel als een staafmagneet. Men spreekt daarom ook hier van een Noord- en een Zuidpool, en ook hier is de Noordpool die, waar de krachtlijnen uittreden en de Zuidpool die waar zij wederom binnenkomen.

Om bij een draadspoel vast te stellen welke zijde de Noord- en welke zijde de Zuidpool zal worden, moeten we letten op de stroomrichting. Hiervoor geldt de volgende regel. Kijken we aan een der uiteinden in de spoel, en loopt de stroom dan rechtson (dus met de wijzers van een uurwerk mee) dan loopen de krachtlijnen in de spoel van ons af, we kijken dan blijkbaar tegen de Zuidpool. Ook hier kan de kurketrekkerregel worden toegepast. Als richting van voorgang geldt nu echter de richting van de krachtlijnen en de stroomrichting is de richting van draaiing.

De veldsterkte, die in de omgeving van een spoel heerscht, wordt, evenals bij den magneet, uitgedrukt in het aantal krachtlijnen (eigenlijk krachtbuiszen) per cm^2 . Binnen de spoel is de veldsterkte overal even groot, we zeggen dan

dat dit veld homogeen is. Buiten de spoel verspreiden de krachtlijnen zich. hier is de veldsterkte overal kleiner dan binnen de spoel, en bovendien neemt de veldsterkte af evenredig met den afstand tot de spoel. De veldsterkte, dus het aantal krachtlijnen per cm^2 is evenredig met het aantal windingen en omgekeerd evenredig met de lengte van de spoel. Bovendien is het aantal krachtlijnen evenredig met den stroom, die door de windingen vloeit. Hoe sterker de stroom en hoe meer windingen per eenheid van lengte, hoe sterker het veld.

Het aantal krachtlijnen dat door de spoel gaat, noemt men den krachtstroom. De krachtstroom kan aanzienlijk vergroot worden door de spoel met ijzer te vullen. De door de spoel gaande krachtlijnen gaan nu door het ijzer, waardoor de magneculen gericht worden. Het ijzer wordt dus magnetisch, en scheidt dus zelf ook krachtlijnen, welke zich bij die van de spoel voegen. Het aantal krachtlijnen kan zodoende tot duizende malen vergroot worden! De eigenschap van ijzer, om onder invloed van krachtlijnen magnetisch te worden, heet permeabiliteit) d.w.z. "doordringbaarheid" voor krachtlijnen. Het verschijnsel is niets anders dan een van van magnetische inductie (zie pag.2) We spreken in dit geval van electromagnetische inductie.

Electromagneet.

Een stuk ijzer, waaromheen een draadspoel gewikkeld is, noemt men een electro-magneet. Als geen stroom door de draadwindingen vloeit, is van magnetisme niets merkbaar. Zoodra de spoel echter door een stroom doorlopen wordt krijgt het ijzer ten gevolge van de electromagnetische inductie magnetische eigenschappen, waarvan de sterkte blijkens het voorafgaande evenredig is met: 1^e de sterkte van den stroom; 2^e het aantal windingen. De magnetische kracht is dus evenredig met het product van stroomsterkte en aantal windingen, kortweg gezegd het aantal ampère-windingen. Men ziet hieruit, dat dezelfde magnetische sterkte bereikt kan worden met 1000 windingen bij een stroomsterkte van 0,1 A dan wel met 100 windingen bij een stroomsterkte van 1 A. In beide gevallen heeft men 100 ampère-windingen. Hoe sterker men den stroom maakt, des te sterker zal het magnetisch veld worden. We moeten echter niet uit het oog verliezen, dat we twee krachtlijnenbronnen hebben: de spoel en de ijzerkern. Het aantal krachtlijnen van de spoel zal bij het opvoeren van den stroom steeds groter worden. Theoretisch is hieraan geen grens te stellen, aangenomen natuurlijk dat de draaddikte een onbegrensde stroomsterkte toestaat. Bij het ijzer is het anders. Bij het stijgen van het aantal krachtlijnen, door de spoel opgewekt, zullen steeds meer magneculen worden gericht. Dit gaat zoo door tot alle magneculen gericht zijn, en het ijzer verzadigd is. Is deze toestand eenmaal bereikt, dan neemt bij nog grootere stroomsterkten de krachtstroom alleen nog maar toe met de stijging van het aantal krachtlijnen van de draadspoel. Aangezien dit aantal, vergeleken bij het aantal ijzerkrachtlijnen gering is, wordt de magnetische kracht van een electromagneet practisch begrensd door de magnetische verzadiging van het ijzer.

De permeabiliteit van ijzer is dus geen constant getal. Hoe meer het ijzer zijn verzadiging nadert, hoe minder de versterking van den krachtstroom zal zijn. Was de toename van het aantal krachtlijnen door de aanwezigheid van het ijzer in het begin bijv. 2000, dan zal zij dicht bij het verzadigingspunt bijv. nog 10 zijn. Een kleine ijzerkern is zeer onvoordeelig!

Bij verbreking van den stroom verdwijnen de krachtlijnen van de spoel, en daarmee het magnetisme van het ijzer. (afgezien van het remanent magnetisme) De magneculen, die in week ijzer uiterst gemakkelijk beweegbaar zijn, zullen immers zoo goed als alle onmiddellijk hun gerichten stand verliezen. Electromagneten vinden een zeer veelvuldige toepassing. Electriche schellen, relais, de lijntelegrafie, telefonen en luidsprekers berusten o.a. op de werking van electromagneten.

Het inductieverschijnsel. (zie fig. 29)

Stellen we in de nabijheid van een spoel een tweede spoel op, dan zal, als door de eerste een stroom wordt gevoerd, een deel der hierdoor ontstane krachtlijnen door de tweede spoel gaan. Als we aan de tweede spoel een gevoelige voltmeter verbinden, zien we op het moment van sluiting van het contact a. even een

*) De permeabiliteit wordt uitgedrukt in het getal, dat aangeeft hoeveel malen het veld van een spoel sterker wordt door het inbrengen van den ijzerkern. Is dus bijv. de krachtstroom bij zekere stroomsterkte in een spoel H Gauss, en wordt hij na inbrengen van den ijzerkern 1000 . H Gauss, dan is de permeabiliteit voor dien kern bij die stroomsterkte = 1000.

uitwijking van den wijzer. Onmiddellijk daarna keert de wijzer naar den nulstand terug. Bij verbreking van den stroom valt hetzelfde verschijnsel waar te nemen, alleen zal de meter (indien hij tevens de stroomrichting aangeeft) een tegengestelde uitwijking vertoonen, doch ook nu keert de wijzer direct weer naar den nulstand terug. Dezelfde verschijnselen treden op als een sterke permanente magneet naar de draadspoel bewogen, of ervan verwijderd wordt. Blijkbaar wordt door het feit, dat krachtlijnen de spoel L_2 treffen, aan de uiteinden van die spoel een spanning opgewekt. (= geïnduceerd) Uit het verschijnsel dat opnieuw een spanning ontstaat als het contact a verbroken wordt, dus als de krachtlijnen wegvallen, valt op te maken dat alleen den van een inductiespanning sprake is, als we te maken hebben met een verandering van het aantal krachtlijnen dat door spoel L_2 gaat. Men zegt in zoo'n geval dat de spoelen L_1 en L_2 magnetisch gekoppeld zijn.

Hoe groot zal nu de geïnduceerde spanning zijn aan L_2 ? Hieromtrent leert de wet van Faraday: DE GEÏNDUCEERDE SPANNING IS UITSLUITEND AFHANKELIJK VAN DE VERANDERING VAN HET AANTAL KRACHTLIJNEN PER TIJDSEENHEID.

Verandert een veld bijv. met 100000 krachtlijnen in een duizendste seconde, dan zal de opgewekte inductiespanning 100 maal zoo groot zijn als in het geval dat diezelfde verandering in een tiende seconde zou hebben plaats gevonden. Een verandering van 1000 krachtlijnen in 1 seconde geeft een even groote inductiespanning als een verandering van 100 krachtlijnen in 1/10 seconde. Zoolang het magnetisch veld dus aan verandering onderhevig is, wordt een inductiespanning opgewekt. (hierop berusten de dynamo's)

Keeren wij nu tot ons voorbeeld (fig. 29) terug. Bij sluiting van den stroom is er natuurlijk een uiterst korte tijd, waarin de stroom aangroeit van nul tot maximum. In dienzelfden korten tijd verandert het aantal krachtlijnen eveneens van nul tot maximum. In dien tijd wordt het veld opgebouwd, d.w.z. een deel van de door de stroombron geleverde energie wordt omgezet in een magnetisch krachtlijnenveld. Is de stroom eenmaal op volle sterkte, en daardoor ook het veld, dan is er ook geen veldverandering meer en dientengevolge is er ook van een inductiespanning geen sprake meer. Bij verbreking van het contact a redeneeren we andersom: Er is een korte tijd, waarin de stroom van maximum op nul valt; de krachtlijnen verdwijnen en deze verandering doet, aan de klemmen van L_2 wederom een inductiespanning ontstaan.

Zouden we door L_2 ook een stroom laten loopen, dan zou een deel der in deze spoel ontstane krachtlijnen door L_1 gaan, en wel percentsgewijs even veel als er krachtlijnen van L_1 door L_2 loopen. In dit geval spreken we van wedzijdse inductie.

Bekijken we nu alleen spoel L_1 . Gedurende het aangroien van het aantal krachtlijnen door het sluiten van den stroom passeert door L_1 eveneens een veranderend veld, al vindt deze verandering haar oorsprong ook niet elders, doch in de spoel zelf. Tengevolge van deze veldverandering wordt aan de uiteinden van L_1 ook een spanning geïnduceerd. In dit geval spreken we van zelfinductie-spanning.

Nu moeten we ons nog bezig houden met de richting der geïnduceerde spanningen. Het blijkt dat zij steeds tegengesteld gericht zijn aan de spanning die hun doet ontstaan. Deze eigenschap is vastgelegd in de wet van Lenz:

DE GEÏNDUCEERDE SPANNING HEEFT ALTIJD EEN ZODANIGE RICHTING, DAT ZIJ DE OORZAAK VAN HAAR ONTSTAAN TEGENWERKT.

De inductiespanningen verzetten zich a.h.w. tegen veranderingen. Gedurende het aangroeien van het veld ontstaat dus in L_1 zoowel als in L_2 een spanning, tegengesteld aan die van de stroombron, terwijl bij verbreking aan beide spoelen een spanning ^{ontstaat} die dezelfde richting heeft als die van de stroombron. De zelfinductiespanning is oorzaak dat het op sterkte komen van den stroom bij sluiting van de keten even wordt vertraagd, en daarom wordt zelfinductie wel een traagheidsverschijnsel genoemd. Bij het verbreken van de keten zal de zelfinductiespanning, die ook wel EMK van zelfinductie wordt genoemd, volgens de wet van Lenz den stroom willen handhaven, waardoor een vonk ontstaat aan de contacten van a. Deze stroom, die dus ontstaat, nadat de batterijstroom verbroken werd, is de z.g. extra-stroom. Men zou kunnen zeggen, dat de energie, die bij sluiting van den stroom in een magnetisch veld werd omgezet, nu weer in de keten terugkeert. Het optreden van vonken bij het verbreken van een contact is een typisch zelfinductieverschijnsel. Als in een stroomkring in het geheel geen zelfinductie voorkomt, treedt absoluut géén vonk op, doch meestal bezitten de verbindingsdraden enz. reeds zóóveel zelfinductie, dat wel een zwakke vonk ontstaat. Hoe grooter de zelfinductie van een keten is, hoe sterker de verbrekingsvonk zal zijn.

De zelfinductiespanning, die aan de klemmen van een bepaalde spoel zal optreden, staat voor een belangrijk deel in verband met de constructie van de spoel.

Hoe meer krachtlijnen een spoel kan produceeren, des te hooger zal de zelfinductiespanning kunnen worden. Elke spoel bezit dus een zekere zelfinductiewaarde of zelfinductie-coëfficiënt. Deze hangt vanzelfsprekend weer ten nauwste samen met het aantal windingen per eenheid van lengte, de spoeldoorsnede en bij ijzerkernspoelen de dikte van den ijzerkern. Een spoel wordt ook wel kortweg "zelfinductie" genoemd.

Zelfinducties in serie en parallel.

Men kan meer zelfinducties in serie schakelen en het zal niemand moeilijk vallen in te zien dat de totale zelfinductie nu gelijk is aan de som van elk der zelfinducties, dus:

$$L_{\text{totaal}} = L_1 + L_2 + L_3 + \dots$$

Zelfinductie wordt altijd met de letter L aangeduid. De eenheid van zelfinductie is de Henry. Als in een spoel één Volt spanning wordt opgewekt door een stroomverandering van 1 Ampère in 1 seconde, dan is de zelfinductie-coëfficiënt van die spoel 1 Henry. Zowel spoelen met een zelfinductie-coëfficiënt van enkele micro-Henry's als spoelen met een zelfinductie-coëfficiënt van honderd en meer Henry's vinden praktische toepassing. De groote waarden zijn ijzerkernspoelen.

Bij parallelenschakeling van twee gelijke zelfinducties over een stroombron zal door elke spoel slechts de helft van den stroom vloeien, die door één spoel zou gaan, als de andere er niet was. De sterkte van het veld wordt dus door de aanwezigheid van de andere spoel gehalveerd. In het algemeen kunnen we schrijven bij parallelenschakeling van zelfinducties:

$$\frac{1}{L_{\text{totaal}}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} + \dots$$

Men merke op dat dit juist andersom is bij condensatoren.

Deze formule, en ook die voor serieschakeling van zelfinducties, geldt alleen als er géén koppeling tusschen de spoelen bestaat.

Men kan de spoelen n.l. zoodanig opstellen dat het veld van een spoel dat van een andere spoel versterkt of verzwakt. Dit wordt gedaan bij den variometer. Deze bestaat uit twee binnen elkaar draaibare, gelijke spoelen, die of in serie, of parallel geschakeld zijn. De opstelling der spoelen is zoo gekozen, dat resp. een zeer vaste, een nul-koppeling en een z.g. tegenkoppeling verkregen kan worden. Bij de vaste koppeling gaan bijna alle krachtlijnen van de eene spoel ook door de andere. In dit geval is de stroomrichting door beide spoelen dezelfde, zoodat de velden elkaar versterken. De totale zelfinductiewaarde van de twee spoelen is dan grooter dan de som der beide zelfinducties.

Wordt een der spoelen nu 180° (een halve slag) ten opzichte van de andere gedraaid, dan is de stroomrichting in beide spoelen tegengesteld, en dientengevolge loopen de krachtlijnen ook in tegengestelde richtingen. (tegen elkaar in) De velden verzwakken elkaar dan, en de totale zelfinductiewaarde van den variometer is nu niet alleen kleiner dan de som der beide seriespoelen, doch bijna nul. Tusschen deze twee uiterste standen in is er nog een, waar de koppeling vrijwel nul is. Dit is n.l. het geval wanneer de spoelen ten opzichte van elkaar onder een hoek van 90° (rechte hoek) staan. In dezen stand is de zelfinductie juist de som van die der beide spoelen. (altijd nog sprekend over een variometer met in serie geschakelde spoelen) Een variometer is blijkens het bovenstaande dus een continu variabele zelfinductie, evenals een draaicondensator een continu variabele capaciteit voorstelt.

Aangaande de magnetische koppeling mag hier nog wel eens nadrukkelijk gezegd worden dat alléén de stroomrichting in de gekoppelde spoelen de veldrichting bepaalt, en niet de wikkelrichting. Het is steeds onverschillig hoe de wikkelrichting is als men er maar voor zorgt dat de stroomrichting in orde is. Dit kan steeds verkregen worden, door eventueel de aansluitingen aan een spoel te verwisselen.

Opheffing van het magnetisch veld.

Alhoewel het optreden van magnetische krachtlijnen in een stroomgeleider en meer speciaal in een spoel een der meest waardevolle verschijnselen is, kan het soms noodzakelijk blijken het ontstaan van het krachtlijnenveld geheel of gedeeltelijk te voorkomen.

Wanneer we bijv. een weerstand willen vervaardigen, en daartoe een langen draad opwinden, is het eindresultaat niet alleen een weerstand, doch eveneens een grootere of kleinere zelfinductie. Deze zelfinductie kan in sommige gevallen zeer lastig zijn, bijv. door het optreden van vonken bij contactverbreking. Teneinde nu te voorkomen dat zich een magnetisch

veld vormt, kunnen we den draad z.g. bifilair (= tweedradig) wikkelen, welke wikkelmethode in fig.30 is weergegeven. Aan een zijde verbinden we de beide naast elkaar opgewonden draden door. (A) Zoals de figuur aantoon, liggen nu overal twee draden naast elkaar, waardoor de stroom in tegengestelde richting loopt. Om beide draden ontstaat een magnetisch veld, doch deze velden hebben tegengestelde richtingen zodat ze elkaars werking geheel opheffen. Op deze wijze is een z.g. inductievrije weerstand verkregen.

Het afschermen.

In het voorgaande hebben we het magnetisch veld geheel onderdrukt. Soms kan het echter voorkomen dat we een magnetisch veld nodig hebben, dat zich slechts in een bepaalde ruimte mag bevinden. De werking van spoelen in ontvangers en zenders berust geheel op de aanwezigheid van een magnetisch veld rondom de spoel (zelfinductiewerking); zouden we dit veld opheffen, dan zouden de toestellen niet kunnen werken. Een spoel bezit, zoals bekend, een in- en een uitwendig veld. (immers de krachtlijnen die aan de Noordpool uit treden beschrijven wijde bogen en treden aan de Zuidpool weer binnen) Het uitwendig veld gebruiken we in sommige gevallen voor koppelingsdoeleinden, (fig.29) doch dit veld kan ook gemakkelijk koppelingen veroorzaken op plaatsen waar deze in het geheel niet gewenscht zijn. In zoo'n geval kunnen we alléén het uitwendig veld opheffen en op die manier een ruimte vrij maken van krachtlijnen. De werking laat zich gemakkelijk verklaren aan de hand van fig.31. De spoel is aan alle zijden omgeven door een zeer goed geleidend scherm. (Liefst rood koper) De krachtlijnen die uit de spoel treden zullen gedeeltelijk binnen het scherm naar de Zuidpool omlopen, doch gedeeltelijk dóór het scherm gaan en buiten het scherm omlopen. (in de figuur gestippeld) Het scherm kan nu beschouwd worden als een spoel met één winding, die met de eigenlijke spoel gekoppeld is. De door het scherm passerende krachtlijnen wekken daarin een inductiespanning op, waardoor stroom in de (kortgesloten) winding zal gaan lopen, waardoor een veld ontstaat, tegengesteld aan het induceerende veld. (wet van Lenz) De twee velden heffen elkaar in de buurt van het scherm dus op. Duidelijk is hier, dat het scherm van goed geleidend materiaal moet zijn, daar anders het geïnduceerde veld in het scherm niet groot genoeg kan zijn om het oorspronkelijke veld op te heffen. Rood koper, niet te dun, is hier noodzakelijk althans verre te prefereren. Na rood koper is aluminium het beste. Voorts blijkt uit het bovenstaande dat volledige afscherming aan alle zijden noodzakelijk is. Openingen in het scherm geven gelegenheid aan krachtlijnen om te passeeren zonder dat een tegen-EMK wordt opgewekt. De afscherming is dan niet volkomen. Een scherm, bestaande uit een enkel metaal plaatje is vrijwel geheel zonder effect. We moeten immers een kortgesloten winding hebben, omdat anders geen stroom kan ontstaan, die juist nodig is tot opwekking van een tegengesteld veld.

Door afscherming verliest een spoel een deel van haar zelfinductie-waarde en dit verlies zal grooter zijn naarmate het scherm zich dichter bij de windingen bevindt. Een koker, nauweluikend om de windingen aangebracht, heft bijna alle zelfinductie-werking op. Een afgeschermd spoel heeft voor dezelfde zelfinductiewaarde dus meer windingen nodig dan een niet afgeschermd spoel.

HOOFDSTUK IV

-xxx-

KENNIS VAN DE BEGINSIELEN DER ELECTRICITEIT 2.Wisselstroom.

In de voorgaande hoofdstukken hebben we ons uitsluitend beziggehouden met gelijkstroom, d.w.z. een stroom, die steeds van een bepaald punt in dezelfde richting naar een ander punt vloeit, bijv. van de positieve pool van een batterij, door een keten naar de negatieve pool. In de radiotechniek spelen gelijkstroomen echter slechts een ondergeschikte rol. Veel belangrijker is de wisselstroom, d.i. een stroom, die periodiek, d.w.z. regelmatig in sterkte verandert en van richting wisselt. Figuur 32 toont grafische voorstellingen van resp. gelijk- en wisselstroom. Horizontaal is de tijd uitgezet en verticaal de bijbehorende stroomsterkten. Bij een normalen gelijkstroom blijft de stroomsterkte op elk oogenblik constant; bij den wisselstroom daarentegen ziet men dat op het tijdstip a de stroomsterkte nul is doch langzaam in positieve richting aangroeit tot een zeker maximum. Na het bereiken van de maximumwaarde (ook wel topwaarde of piekwaarde genoemd) neemt de stroom weer af tot nul, om hierna opnieuw aan te groeien, doch in tegengestelde richting. Ook nu bereikt de stroom een maximumwaarde, waarna hij weer in sterkte vermindert, totdat opnieuw een nulwaarde optreedt. (punt b in de figuur). Dit punt komt geheel overeen met punt a. Het gedeelte van een wisselstroom waarin deze eenmaal een positieve waarde en eenmaal een negatieve doorloopt, heet periode.

Men duidt een wisselstroom aan met het noemen van het aantal perioden per seconde; de frequentie. De wisselstroomen, zooals die door de electriciteitsbedrijven geleverd worden, hebben in ons land een frequentie van 50, d.w.z. dat per seconde 50 perioden voorkomen, zoodat in een seconde de stroom 50 maal in de eene en 50 maal in de andere richting stroomt en dus 100 maal per seconde de nulwaarde passeert.

Een wisselstroom ontstaat door een wisselspanning evenals een gelijkstroom ontstaat door de druk eener gelijkspanning. Het beeld van een wisselspanning is geheel gelijk aan dat van den wisselstroom in fig. 32. Het is immers duidelijk, dat, indien men aan de klemmen van een wisselspanningsbron een weerstand (een lamp bijvoorbeeld) aansluit, op elk moment de wet van Ohm kan worden toegepast: $I = \frac{E}{R}$. Hier is E steeds aan verandering onderhevig, doch R is constant. Het gevolg is dat, op de momenten, dat E groot is, ook I groot zal zijn. Is E nul, dan is ook I nul enz. Bij wisselspanningen spreken we derhalve ook van periode, frequentie, enz.

In de radiotechniek komen wisselspanningen en wisselstroomen voor van zeer uiteenlopende frequenties: van enkele tientallen perioden per seconde, tot miljoenen per seconde. We spreken daarom van "laagfrequente" en "hoogfrequente" stroomen en spanningen. Frequenties tot ca. 20000 noemt men nog laagfrequent.

De waarde van een wisselstroom.

Aangezien de sterkte van een wisselstroom en de spanning van een wisselspanning steeds aan verandering onderhevig is, is het niet zoo gemakkelijk de waarde aan te geven. De waarde op een bepaald moment is niet van groote betekenis omdat die elk volgend oogenblik weer anders is. We kunnen echter wel over zekeren tijd een gemiddelde waarde bepalen. Bezien we daartoe nog eens fig. 32, dan leidt een korte overweging reeds tot de slotsom, dat de gemiddelde waarde van een wisselstroom over een geheel aantal perioden nul moet zijn, immers na elke positieve halve periode volgt een even groote negatieve, zoodat in één periode evenveel electriciteit van plus naar min, als van min naar plus stroomt. Denselven redenering geldt ook voor wisselspanning: hier heerscht in één periode gedurende de eerste halve periode een gelijke druk in de ééne richting, als in de andere richting gedurende de tweede halve periode.

Het is duidelijk dat deze gemiddelde waarde geen beteekenis kan hebben aangezien in elke halve periode stroom, dus arbeid geleverd wordt. Al heeft dan ook in een zekeren tijd even veel stroom in de ene als in de andere richting gevloeid, daarom kunnen we toch de uitwerking van dien stroom niet gelijkstellen aan nul. Bekijken we daarom eens de gemiddelde waarde voor een halve periode. Hiertoe moeten we even stilstaan bij het ontstaan van een wisselstroom. We weten dat die ontstaat onder den invloed van een wisselspanning. Om in te zien hoe deze wisselspanning ontstaat moeten we ons eerst het principe van den wisselstroomgenerator (= dynamo) eigen maken.

In fig. 33 is dit principe voorgesteld. N en Z (fig. 33a) zijn de polen van een magneet. Tusschen deze polen heerscht een krachtlijnenveld, hetwelk door horizontale lijntjes is aangegeven. In dit veld is een draadwinding draaibaar opgesteld, zoodanig, dat de krachtlijnen door het vlak van de winding kunnen passeeren. Draait deze winding nu in het magnetisch veld rond, in de richting van den pijl, dan hebben we een zelfinductie (de winding) waardoor op een bepaald moment een veranderend aantal krachtlijnen gaat. Hierdoor ontstaat, zooals bekend, een inductiespanning in de winding. Bevindt de winding zich in stand ab (zie fig. 33b, waarin het vlak der winding loodrecht op het vlak van teekening is afgebeeld) dan passeert het maximum-aantal krachtlijnen door de winding. In stand ed passeert slechts een aantal krachtlijnen wat zich tot het maximumaantal verhoudt als pq tot ab, terwijl in stand ef ($\frac{1}{4}$ slag = 90° gedraaid) het aantal door de winding gaande krachtlijnen nul bedraagt. Uit de figuur is duidelijk te zien dat als de winding $1/8$ slag = 45° draait, het aantal krachtlijnen niet met de helft afneemt. De verandering in het aantal krachtlijnen is het grootst als de winding het punt passeert, waar géén krachtlijnen door de winding gaan, terwijl deze verandering nabij stand ab het kleinste is. De grootste wisselspanning wordt dus opgewekt als de winding stand ef passeert en de kleinste als zij door stand ab gaat, enz. Door alle momenteele waarden grafisch uit te zetten op een gelijkmatig verdeelde tijdlijn, ontstaat fig. 34, die geheel overeenkomt met fig. 32b. De aldus ontstane lijn noemt men sinuslijn of sinusoïde, en de wisselspanning sinusvormig. De meerdere of mindere steilheid van de sinuslijn in de diverse punten komt overeen met respectievelijk een grotere of kleinere verandering in het aantal krachtlijnen. Een beweging van de winding van ab tot ef (fig. 33b) komt overeen met een kwart-periode. Na den stand ef gaat het aantal passeerende krachtlijnen weer toenemen, eerst snel, daarna langzamer, tot stand ba bereikt is. Nu is een halve periode voltooid. Vervolgens komt de tweede halve periode. Het verloop hiervan is blijkbaar gelijk aan de eerste, doch de krachtlijnen passeeren door de winding in tegengestelde richting, want de winding is een halve slag gedraaid. (vergelijk fig. 33 met fig. 34.)

Door het eigenaardige verloop van de sinuslijn is de gemiddelde waarde van een halve periode niet zoo eenvoudig te bepalen. Zij bedraagt $\frac{2}{\pi}$ maal de maximale of topwaarde.

Ook deze waarde wordt weinig gebruikt; evenwel is het in sommige gevallen noodzakelijk de formule ervoor te kennen.

De waarde waarmede men bij wisselspanningen en -stroomen steeds rekent, is de z.g. effectieve- of middelbare waarde (niet te verwarren met de zoojuist besproken gemiddelde waarde !)

Men heeft n.l. onderzocht welke wisselstroom nodig was om in een keten dezelfde hoeveelheid warmte te ontwikkelen als die welke ^{door} een gelijkstroom van een zeker aantal ampères werd geproduceerd. Werd een bepaalde hoeveelheid warmte door een gelijkstroom van 5 amp. b.v. geleverd, dan kende men aan den wisselstroom, die een gelijke hoeveelheid warmte ontwikkelde, de effectieve waarde van 5 amp. toe.

Deze effectieve of middelbare waarde is:

$I_{\text{eff}} = \frac{1}{\sqrt{2}}$ maal de maximale waarde (I_{max})
dus ongeveer 0,7 maal I_{max} .

Bij spanningen eveneens: $E_{\text{eff}} = \frac{1}{\sqrt{2}}$ maal E_{max} .

Spreekt men over een wisselspanning van 220 volt, dan wordt steeds bedoeld 220 volt effectief. De maximale waarde bedraagt dan echter $\frac{220}{0,7} = 308$ volt

In vele gevallen laat ons dat onverschillig, doch er zijn gevallen denkbaar waarin we er wel degelijk mee rekening moeten houden dat in elke periode de spanning 2 maal de waarde van 308 volt bereikt, bijvoorbeeld als een condensator op een wisselspanning wordt aangesloten. (doorslagspanning)

De verhouding tusschen de gemiddelde waarde en de effectieve of middelbare

waarde is bij een sinusvormigen wisselstroom:

$$\frac{1/\sqrt{2}}{2/\pi} \text{ maal } I_{\text{max.}} = \frac{1/\sqrt{2}}{2/\pi} = 1,11 \text{ (ruw: } \frac{0,707}{0,667} = \text{ bijna } 1,1)$$

Dit getal noemt men de vormfactor.

In berekeningen worden altijd uitsluitend sinusvormige wisselstroomen en -spanningen gerekend. Het is echter duidelijk, dat het vaak voorkomt, dat we met zeer afwijkend gevormde wisselstroomen te rekenen krijgen. Men kan evenwel aantonen, dat elke wisselstroom hoe afwijkend van vorm ook, als een samenstel van sinusvormige wisselstroomen kan worden beschouwd, welke samenstellende wisselstroomen verschillende sterktes hebben en frequenties, die veelvouden zijn van de frequentie van de oorspronkelijke stroom. Bijvoorbeeld kan een niet zuiver sinusvormigen wisselstroom van 1000 perioden beschouwd worden als een zuivere wisselstroom van 1000 perioden plus een zuivere wisselstroom van 2000 perioden, plus nog een van 3000 perioden enz. Deze veelvouden van de grondfrequentie noemt men "harmonischen". Harmonischen ontstaan altijd als een frequentie niet sinusvormig is, en zij zijn steeds een veelvoud van de grondfrequentie.

Wisselstroomketens

1. Wisselspanning aangesloten op een weerstand.

Zooals in de voorgaande bladzijden reeds gezegd, brengt een keten, bestaande uit een wisselspanningsbron -een generator bijv. in fig. 35- waarop een weerstand R is aangesloten, geen enkele moeilijkheid mede. Op elk moment kunnen we de wet van Ohm toepassen: $I = \frac{E}{R}$. Door de verandering in de waarde van

E toont de stroom I hetzelfde beeld als de spanning E. Spanning en stroom zijn beide tegelijk nul, tegelijk maximaal, enz. Men zegt dat stroom en spanning in fase zijn (zie fig. 36). Opgemerkt wordt nog dat als weerstand bedoeld wordt een zelfinductievrije, dus zuiver Ohmsche weerstand.

Gaat het ons erom het effect van den stroom te weten, dan kunnen we gewoon de wet van Ohm toepassen: $I_{\text{eff.}} = \frac{E_{\text{eff.}}}{R}$

Voorbeeld: Hoe groot is de effectieve stroomsterkte welke zal loopen door een weerstand van 100 Ohm, welke is aangesloten op 125 Volt wisselspanning?

$$I_{\text{eff.}} = \frac{E_{\text{eff.}}}{R} = \frac{125}{100} = 1,25 \text{ A.}$$

2. Wisselspanning aangesloten op een condensator.

Als een condensator op een gelijkspanningsbron wordt aangesloten, vloeit even een laadstroom (verschuivingsstroom) doch daarna vindt geen stroomdoorgang meer plaats. Een condensator vormt dan ook voor gelijkstroom een blokkeering.

Bij het aansluiten van wisselspanning op een condensator (fig. 37) ontstaat eveneens een laadstroom. Een ampèremeter, in den kring opgenomen, zal dus een uitslag geven. Is de condensator echter geladen, dan keert de stroomrichting om en de condensator krijgt gelegenheid zijn lading weer af te staan. Nadat dit gebeurd is wordt de condensator opnieuw, doch in tegengestelde richting geladen, waarna weer een ontlading en hernieuwde ontlading in de eerste richting aanvangt, enz. Hieruit zien we, dat de afwisselende ladingen en ontladingen den schijn wekken, alsof de condensator wisselstroom doorlaat. De ampèremeter in fig. 37 geeft inderdaad een blijvend uitslag. Het ligt voor de hand, dat als de condensator grootere capaciteit bezit, telkens ook grootere ladingen worden opgenomen en afgegeven, terwijl het eveneens duidelijk is, dat als het periodental van een wisselspanning wordt opgevoerd, dus meer ladingen en ontladingen per seconde optreden, ook meer electriciteit per seconde door den condensator wordt verplaatst.

Deze verschijnselen hebben ertoe geleid om bij een condensator te gaan spreken van een wisselstroomweerstand of capacitieve reactantie. Is de gelijkstroomweerstand van een condensator theoretisch oneindig hoog, voor wisselstroom is de weerstand dit geenszins. Blijkens het voorgaande is de wisselstroomweerstand voor verschillende frequenties niet dezelfde, en wel zal hij voor hoogere frequenties lager zijn. (meer ladingen per seconde) Voorts zal de weerstand kleiner zijn naarmate de capaciteit grooter is. De wisselstroomweerstand van een condensator drukt men uit door de formule

$$R = \frac{1}{2\pi nC}$$

waarin π de frequentie is; C de capaciteit in Farads en $\pi = 3,14$.
Voorbeeld: Hoe groot is de wisselstroomweerstand van een condensator van $2 \mu F$ voor het 50 perioden stadsnet?

$$R = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,000002} = \text{bijna } 1600 \text{ Ohm.}$$

Een condensator van $1 \mu F$ heeft dus voor dezelfde frequentie 3200 Ohm weerstand en een exemplaar van $0,001 \mu F$ 1000 maal 3200 = 3200000 Ohm. Voor een frequentie van 10000 perioden zal die condensator van $0,001 \mu F$ slechts een weerstand hebben van

$$\frac{50}{10000} \cdot 3200000 = 16000 \text{ Ohm.}$$

Men ziet hieruit hoe de frequentie en de capaciteit de wisselstroomweerstand van een condensator bepalen. Bij het toepassen van een condensator op een bepaalde plaats in een radiotoestel, dient men zich dus af te vragen wat de functie van dien condensator zal zijn. De zoojuist genoemde condensator van $0,001 \mu F$ vormt voor den stroom van het stadsnet practisch een blokkeering. (3200000Ω) Voor 10000 perioden per seconde was de waarde nog slechts 16000Ω ; voor hogefrequenten stroom van bijv. 1000000 perioden per seconde bedraagt de wisselstroomweerstand niet meer dan 160 Ohm, terwijl hogefrequente stroommen van 18000000 perioden per seconde, zooals in onze kortegolf ontvangers en -gevers voorkomen (20 m golflengte) in dienzelfden condensator niet meer dan ongeveer 10 Ohm weerstand ondervinden! Op plaatsen waar het erop aankomt wisselstromen van zeer hoge frequentie te laten passeeren, is het niet nodig blokcondensatoren van $1 \mu F$ en dergelijke te gebruiken, doch is $0,001$ tot $0,010 \mu F$ vaak afdoende. Daar komt nog bij, dat deze laatste condensatoren, als ze van mica- en metaalplaatjes gemaakt zijn een veel korteren weg bieden aan den h.f. stroom, dan de groote blokcondensatoren. Deze toch worden veelal gemaakt van zeer lange strooken papier, die met een metaal-laagje bedekt zijn. De strooken worden opgewikkeld, waardoor een zeer lange weg voor den stroom ontstaat en zelfs zelfinductieverschijnselen kunnen optreden, die juist een weerstand voor den h.f. stroom vormen. Ook om deze reden is het vaak beter goede micacondensatoren van kleinere capaciteit te gebruiken.

Keeren we nu terug tot fig. 37. Bij het sluiten van den keten gaat stroom vloeien eerst in een bepaalde richting. Naarmate de condensator geladen wordt ontstaat een tegenspanning. Deze is steeds even groot als de toegevoerde spanning, doch juist tegengesteld van richting. (vandaar het woord tegenspanning) Fig. 38A geeft het verloop van de aangelegde spanning aan, terwijl fig. 38B de tegenspanning van den condensator weergeeft. Fig. 38C geeft de condensatorstroom aan. Als de eerste halve periode gestroomd heeft (zie de punten a in fig. 38) is de tegenspanning aan de condensatorplaten juist maximaal. De laadstroom is op dat moment nul. De stroom begint nu weer in omgekeerde richting toe te nemen, waardoor de spanning op de platen afneemt, totdat de stroom zijn maximum weer bereikt (b) op welk moment de condensator juist ontladen is. Vervolgens begint de lading in tegengestelden zin, de tegenspanning ontstaat weer, en de stroom neemt af. Bij het bereiken van de nulwaarde door den stroom (c) is de spanning aan de platen wederom maximaal, enz.

Hieruit kunnen we deze belangrijke conclusie trekken, dat bij aansluiting van een condensator aan een wisselstroombron, stroom en spanning niet tegelijk nul en tegelijk maximaal zijn, dus niet in fase zijn, zooals dat bij den weerstand het geval was. De stroom is hier een kwart-periode aan de aangelegde spanning vooruit. Men drukt dit uit door te zeggen dat er een faseverschuiving tusschen stroom en spanning optreedt van een kwart-periode of 90° en dat de stroom 90° bij de spanning voor-ijlt.

4. Wisselspanning, aangesloten op een zelfinductie.

Bij de schakeling volgens fig. 39 ontstaat eveneens een merkwaardige situatie. Vooropgesteld wordt, dat L een zuivere zelfinductie voorstelt, dus een spoel zonder Ohmschen weerstand. Natuurlijk is zoo'n spoel alleen een denkbeeldig iets, want eenige Ohmsche weerstand zal steeds aanwezig zijn. Echter kan deze zoo gering zijn, dat hij verwaarloosd mag worden.

Terwijl door de spoel een wisselstroom vloeit worden als gevolg van de hierdoor ontstane veldveranderingen voortdurend tegenspanningen opgewekt welke steeds even groot, maar tegengesteld zijn aan de aangelegde spanningen. Met verwijzing naar het gezegde bij fig. 33 en naar de bespreking van het zelfinductieverschijnsel (pag. 20) wordt nogmaals opgemerkt dat de grootste veldverandering optreedt als de stroom door het nulpunt gaat. Aan den vorm

van de sinuslijn is ook te zien dat op dat punt de lijn het steilst is. We weten dat de sterkte van het veld met het veranderen van den stroom varieert, zoodat de stroomlijn tevens het verloop van de intensiteit van het krachtlijnenveld aangeeft. Aan het meer of minder steile verloop van de stroomlijn kunnen we dus de grootte van de tegenspanning nagaan. De wet van Faraday zegt immers, dat de grootte van de zelfinductiespanning evenredig is met de snelheid waarmee het veld verandert.

Naar aanleiding van het bovenstaande kunnen we in fig. 40 aan de hand van de stroomlijn de tegenspannings- (zelfinductie) lijn teekenen. Als de stroomlijn horizontaal verloopt (topwaarde) is er ook geen verandering in het veld en daarom zal op dat moment de tegenspanning nul zijn. De spanning bereikt haar maximumwaarde als de stroom door nul gaat, enz. We zien dus dat ook hier een faseverschuiving van 90° of een kwart-periode ontstaat, doch de stroom ijlt hier bij de aangelegde spanning na.

Ezelsbruggetje. Onthoud hiertoe het woordje Lien (bij een zelfinductie L is de stroom I bij de spanning E na. Bij een condensator is het juist andersom.

We hebben aangenomen dat de zelfinductie geen Ohmschen weerstand bezit, dus een gelijkstroom zou geen weerstand hierin ondervinden. De wisselstroom ondervindt evenwel wel een weerstand in de keten, door het ontstaan van de tegenspanningen. Hoe groot zal die weerstand zijn? Hoe sneller de veldveranderingen plaats vinden, des te hoger zullen de zelfinductiespanningen zijn en hoe grooter de weerstand is, dien de wisselstroom ondervindt. Een wisselstroom van hooge frequentie zal dus een grooteren weerstand ondervinden dan een van lage frequentie. Voorts weten we dat het krachtlijnenveld toeneemt, dus ook de tegenspanning, naarmate de zelfinductiewaarde van de spoel grooter is. De schijnbare weerstand die een zelfinductie aan wisselstroom biedt, en die inductieve reactantie genoemd wordt, kan aldus uitgedrukt worden:

$$R = 2\pi nL \text{ Ohms.}$$

waarbij L in Henry's is uitgedrukt en n weer de frequentie van den wisselstroom aangeeft. Belangrijk is op te merken, dat aan de waarde van den wisselstroomweerstand van een spoel juist tegengestelde voorwaarden ten grondslag liggen als bij den condensator. Hier geldt: hoe hoger de frequentie en ook hoe grooter de zelfinductie, des te grooter is de weerstand.

Wat is nu de waarde van den wisselstroomweerstand van een 50 Henry smoerspoel voor 50 perioden wisselstroom?

$$R = 2\pi nL = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 50 = 15700 \text{ Ohm.}$$

(de Ohmsche weerstand van zoo'n spoel is in den regel 500-à 1000 Ohm)

Voor 100 perioden is de weerstand 2 maal 15700 = 31400 Ohm, enz.

Van deze eigenschap maken we o.a. een dankbaar gebruik bij de afvlakfilters in plaatsspanningsapparaten.

Een ander voorbeeld: Een hoogfrequent-smoerspoel heeft een zelfinductie van 60 mili-Henry's. Voor 7500 kp/s (= 7500 kiloperioden per seconde of 7500000 perioden per seconde) welke frequentie voorkomt in ontvangers en zenders werkende op 40 m golflengte, heeft die smoerspoel een wisselstroomweerstand van $2\pi nL = 2 \cdot 3,14 \cdot 7500000 \cdot 0,06 = 2826000 \text{ Ohm}$. De gewone Ohmsche- of gelijkstroomweerstand bedraagt echter bijv. 150 Ohm! Gelijkstroom zal dus niet veel weerstand ondervinden. Op plaatsen waar het er dus op aan komt wisselstroom van gelijkstroom te scheiden, gebruiken we dergelijke zelfinducties. De naam "smoerspoel" is voldoende duidelijk.

In de figuren 37 en 39 zijn in de kringen van resp. condensator en zelfinductie, ampèremeters opgenomen, die de door de keten vloeiende wisselstromen aanwijzen. Aangezien de generator een zekere EMK bezit, zou men kunnen concludeeren, dat de energie (in Watts) die geleverd wordt, gevonden zou kunnen worden door de spanning van den generator te vermenigvuldigen met den stroom, dien de ampèremeter aanwijst. We moeten er echter aan denken, dat onder energie verstaan wordt, het vermogen, dat in warmte wordt omgezet. Bij de zelfinductie hebben we echter geen Ohmschen weerstand verondersteld, zoodat de formule voor warmteomzetting: $E \cdot I = I^2 \cdot R$ op nul uitwerkt. Immers er is geen Ohmschen weerstand, dus in de formule is R gelijk aan nul. Op grond van het bovenstaande noemt men een stroom volgens fig. 40 wattloos. Er wordt geen warmte-energie geleverd. Wel ontstaat magnetische veldenergie, en deze is de oorzaak van de spanning die aanwezig is aan de klemmen van de spoel. Als er een faseverschuiving van 90° tusschen stroom en spanning optreedt

is de stroom altijd wettloos.

De stroom in fig. 38 is eveneens 90° in fase verschoven ten opzichte van de spanning en deze stroom is daarom eveneens wettloos. Ook hier ontbreekt de Ohmsche weerstand; we hebben slechts met ladingen en ontladingen en daarmee gepaard gaande elektrische krachtlijnen-variatiën te maken.

Dit verschijnsel is uitermate belangrijk; hierop berust voor een groot deel de werking der trillingskringen. Daarin toch hebben we uitsluitend te maken met magnetische- en elektrische krachtlijnen-velden en elke energie-omzetting in warmte beteekent verlies.

4. Een keten met capaciteit en weerstand in serie. (fig. 41)

De stroom doorloopt den weerstand R waardoor een spanningsval ontstaat van $E = I \cdot R$. Deze Ohmsche weerstand geldt evenzeer voor wisselstroom als voor gelijkstroom. Aan den condensator ontstaat een spanning van $E_c = I \cdot R_c$. R_c is de wisselstroomweerstand $\frac{1}{2\pi nC}$ van den condensator. Stel nu de span-

ning van den generator op 220 Volt, 50 perioden per seconde, de waarde van R op 500 Ohm en de capaciteit van den condensator op $2 \mu F$. Om den stroom te berekenen, die door het geheel gaat, mogen we evenwel nu niet den weerstand van R en den wisselstroomweerstand van C bij elkaar optellen, zooals dat bij serieweerstanden in een gelijkstroomketen gebruikelijk is. De spanningsval aan R is in fase met den stroom die door de keten vloeit, doch de spanning aan C ijlt 90° na bij den stroom dus de spanning aan C ijlt ook 90° na bij de spanning aan R . Wat we nu moeten doen om den vervangingsweerstand te berekenen, is in fig. 42 aangegeven. Dit is een z.g. vectorteekening.

R_c en R zijn hier getoekend zoowel in hun onderlinge grootteverhouding als in de faseverhouding, waarin de aan deze weerstanden optredende spanningen verkeerden. ($R_c = 1600$ Ohm en $R = 500$ Ohm, terwijl de hoek die ze maken, 90° is.) De vervangingsweerstand wordt gevonden door de stippellijntjes evenwijdig aan R_c en R te trekken en in den aldus ontstanen rechthoek de diagonaal te tekenen. Deze diagonaal Z is nu de vervangingsweerstand van R en R_c .

De som van alle weerstanden in een wisselstroomketen, heet impedantie. Impedantie duidt men altijd aan met de hoofdletter Z .

Uit de vectorteekening kunnen we de lengte van de diagonaal berekenen en daarmee den vervangingsweerstand bepalen. Deze vervangingsweerstand kan echter ook gevonden worden zonder dat men iets berekent.

Voor de berekening gebruiken we de meest bekende stelling uit de vlakke meetkunde, n.l. de stelling van Pythagoras. Deze luidt: in een rechthoekigen driehoek is het kwadraat van de schuine zijde gelijk aan de som van de kwadraten van de beide andere zijden. In fig. 41 is de impedantie nu volgens fig. 42: $Z^2 = R^2 + R_c^2$ of $Z = \sqrt{R^2 + R_c^2}$.

Uitgerekend: $Z = \sqrt{1600^2 + 500^2}$ of $Z = \sqrt{2560000 + 250000}$ of $Z = \sqrt{2810000}$ dus $Z =$ ca 1680 Ohm (dus niet $7600 + 500 = 2100$ Ohm.)

Zonder berekening komt men er als volgt:

Teeken R_c zoodanig, dat elke centimeter lengte 100 Ohm voorstelt, dus $R_c = 16$ cm. Teeken R hier rechthoekig op, $= 5$ cm. Trek Z en meet die lijn. De vervangingsweerstand is zooveel maal 100 Ohm als de lijn Z in centimeters lang is. De stroomsterkte in den keten is nu: $I = \frac{E}{Z} = \frac{220}{1680} = 0,13$ A. Aan de klemmen van R staat dus een spanning van $500 \cdot 0,13 = 65$ Volt en aan de platen van C $1600 \cdot 0,13 = 208$ Volt. Men ziet dat deze twee spanningen niet tezamen 220 Volt opleveren. Dit is een gevolg van de faseverschuiving.

5. Een keten met zelfinductie en weerstand in serie.

Heeft men het voorgaande goed gevolgd, dan men hiermede geen moeilijkheden ondervinden. R en R_L hebben ook een faseverschuiving van 90° . De berekening van de impedantie is derhalve geheel gelijk als in het voorgaande geval, n.l.

$$Z = \sqrt{R_L^2 + R^2}$$

R_L is hier de wisselstroomweerstand van de spoel $= 2\pi nL$ Ohms.

6. Een keten met zelfinductie en capaciteit in serie.

De schakeling vindt men in fig. 43. De spanning aan L ijlt 90° vóór bij den stroom die door de keten vloeit, terwijl de spanning aan C 90° bij dien stroom náijlt. Zooals in fig. 44 te zien is zijn de twee spanningen juist in tegenfase, m.a.w. ze werken elkaar tegen. Het spreekt vanzelf dat de spanning aan C ($= E_c$) grooter kan zijn dan die aan L (E_L) of omgekeerd. Het hangt er slechts van af welke weerstand grooter is: $2\pi nL$ of $\frac{1}{2\pi nC}$.

Om de impedantie van zoo'n keten te bepalen behoeven we dus slechts de twee wisselstroomweerstand van C en L van elkaar af te trekken.

We krijgen dan:

$$Z = R_C - R_L = \frac{1}{2\pi nC} - 2\pi nL. \text{ (of omgekeerd)}$$

Een heel eigenaardig geval krijgen we als de wisselstroomweerstand van den condensator juist even groot is als die van de spoel, dus als $\frac{1}{2\pi nC} = 2\pi nL$.

Dan is blijkbaar in het geheel geen totaalweerstand in de keten aanwezig en de spanning tusschen a en b (zie fig. 45) is daarom nul. Om dezelfde reden is de stroom door de serieschakeling maximaal en theoretisch oneindig hoog. Figuur 45 toont duidelijk, dat de totaalspanning nul is.

Dat de keten geen impedantie heeft, kan ook zoo ingezien worden. De impedantie in de keten is: $Z = \frac{E}{I}$. E is hier nul, dus Z moet ook nul zijn, wil I een eindige waarde hebben.

Echter hebben L en C elk voor zich wel degelijk hun wisselstroomweerstand. Het bovenbehandelde verschijnsel, hetwelk natuurlijk alleen optreedt als $\frac{1}{2\pi nC} = 2\pi nL$ noemt men serieresonantie of spanningsresonantie. Het is

een van de allerbelangrijkste eigenschappen van den wisselstroom.

7. Een keten met zelfinductie en capaciteit parallel. (fig. 46)

De stroom van den generator bereikt in a een splitsingspunt. We weten dat de stroom in den capaciteiven tak 90° voorijlt bij de spanning, terwijl de stroom door de zelfinductie 90° bij de spanning najilt. Het phaseverschil tusschen de beide stroomen bedraagt dus 180° , d.w.z. dat ze elkaar tegenwerken.

Hadden we bij de serieschakeling twee tegengestelde spanningen, bij de parallelschakeling zijn het de stroomen, die in tegengestelde richting vloeien.

Om de totaalstroom, die door A wordt aangewezen, te bepalen, moeten we de beide stroomen van elkaar aftrekken; dus: $I = I_L - I_C$, of omgekeerd, want natuurlijk kan I_C groter zijn dan I_L .

$$I_L = \frac{E}{2\pi nL} \text{ en } I_C = \frac{E}{1/2\pi nC} \text{ Ampères, of } I_C = E \cdot 2\pi nC \text{ Ampères.}$$

Evenals bij serieresonantie krijgen we weer een zeer bijzonder geval als de twee stroomen juist even groot zijn. Dit geval doet zich wederom voor als $2\pi nL = \frac{1}{2\pi nC}$. Het merkwaardige is, dat waar de (tegengestelde)

stroomen in de beide takken zeer groot kunnen zijn, de totaalstroom welke door A zal worden aangewezen, nul zal zijn. In fig. 46 zijn beide stroomen met pijltjes aangegeven. Het resultaat is, dat tusschen de punten a en b een theoretisch oneindig hoge weerstand aanwezig is. ($R = \frac{E}{I}$ en $I = \text{nul}$ dus R is oneindig groot.)

Dit geval noemt men parallelresonantie of stroomresonantie. Het treedt alleen op als de takstroomen even groot zijn en dit is weer uitsluitend het geval als $2\pi nL = \frac{1}{2\pi nC}$.

Van de stroomresonantie-eigenschap wordt wel het meest in de radiotechniek gebruik gemaakt. Afstemkringen berusten op dit verschijnsel.

In de beide resonantiegevallen hebben we steeds alleen Ohmschen weerstand afwezig gedacht, doch we moeten toch even den invloed bezien dien Ohmsche weerstand uitceft. Bij afwezigheid hiervan wordt de stroom bij serieresonantie oneindig hoog en de spanning nul, terwijl bij parallelresonantie de stroom nul en de impedantie oneindig hoog wordt. Dit is uitsluitend een gevolg der faseverschuivingen en we hebben gezien, dat dit alleen kan gebeuren als géén verliezen optreden door warmteontwikkeling. Is er eenige Ohmsche weerstand in de keten aanwezig, dan vindt daarin warmteontwikkeling plaats. In het geval van de stroom- of parallelresonantie uit zich dat, doordat de stroom die door dien weerstand gaat in fase is met de spanning. De stroom door den capaciteiven tak kan nu wel den stroom door de zelfinductie compenseeren, doch nooit dien door den Ohmschen weerstand. Bij aanwezigheid van Ohmschen weerstand wordt de totaalstroom dus nooit nul. Bij serieresonantie heffen de beide wisselstroomweerstand van C en L elkaar schijnbaar op door de tegengestelde faseverschuivingen van elk 90° der beide spanningen. Ohmsche weerstand in die keten die wederom een spanningsval veroorzaakt in fase met den stroom zal nooit door een der beide wisselstroomweerstand kunnen worden teniet gedaan. De invloed die Ohmsche weerstand hier doet gelden is, dat de stroom door de serieschakeling niet

oneindig hoog kan worden.

Men zal inzien, dat het dus uiterst schadelijk is als een resonantiekring Ohmsche weerstand bevat. Hoe hoger deze weerstand, hoe kleiner de stroom bij serieresonantie zal zijn en hoe minder parallelresonantie op een oneindig grooten weerstand blijft lijken. Voor verliesvrije kringen moet dus Ohmsche weerstand worden vermeden.

In fig. 47 is in enkele vectordiagrammen de waarde van de impedantie Z aangegeven. In fig. 47a ziet men de wisselstroomweerstand R_L en R_C in een seriekring uitgezet; ab is R_C en ac is R_L . De impedantie is $R_C - R_L = ad$. Fig. 47b toont ons hetzelfde geval als in fig. 47a, met dit verschil, dat thans in de keten ook een Ohmsche weerstand aanwezig is. We bepalen dan eerst weer overeenkomstig het bij fig. 47a gezegde de waarde van ad . De impedantie is dan te vinden door ad met R samen te stellen op de in fig. 42 aangegeven wijze.

Opmerking: Bij resonantie heffen $2\pi nL$ & $1/2\pi nC$ elkaar op, zoodat alleen R overblijft. De impedantie is in dit geval dus gelijk aan den Ohmschen weerstand.

Men kan aan fig. 47b tevens zien, dat de invloed, dien de Ohmsche weerstand uitoefent, neerkomt op het verschijnsel dat de faseverschuiving (hoek RaZ) kleiner wordt dan 90° . Hierdoor zijn de stroomen ook niet meer wattloos en gaat energie in warmte verloren. In een keten met zelfinductie, capaciteit en weerstand in serie is :

$$Z = \sqrt{R^2 + (R_C - R_L)^2} \text{ of } Z = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{2\pi nC} - 2\pi nL\right)^2}$$

(vergelijk hiermede wat gezegd is bij wisselstroomketens geval 6 en geval 4 en 5)

Resonantiescherpte.

We hebben gezien dat bij resonantie geldt dat $\frac{1}{2\pi nC} = 2\pi nL$, dus dat de wisselstroomweerstand van condensator en spoel juist gelijk zijn. Stel dat dit voor een bepaalden kring het geval zal zijn bij een frequentie van n perioden per seconde. n is dus voor dien kring de resonantiefrequentie. Wanneer we nu de frequentie van de aangelegde wisselspanning gaan opvoeren, zal de wisselstroomweerstand van den condensator afnemen, terwijl die van de spoel juist zal toenemen. Bij stroomresonantie zal de stroom in den capaciteiven tak toenemen en die in den inductieiven tak verminderen. Wordt de frequentie lager genomen, dan zou juist de condensatorweerstand toenemen en de zelfinductieweerstand afnemen. Resonantie geldt dus slechts voor één enkele frequentie. Om voor verschillende frequenties resonantie te kunnen krijgen moeten de condensator en/of de zelfinductie gevarieerd kunnen worden. Fig. 48 toont grafisch het verloop van den door den Ampèremeter A (fig. 46) aangewezen stroom bij het passeeren van de resonantiefrequentie. (stroomresonantie) Het punt waar de stroom door de parallelschakeling minimaal is, is daar waar $\frac{1}{2\pi nC} = 2\pi nL$. Uit deze voorwaarde kan men gemakkelijk afleiden

dat de resonantiefrequentie voor elken kring is:

$$n = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Deze zeer belangrijke formule is de z.g. formule van Thomson.

De grafische voorstelling van fig. 48 is een z.g. resonantiekromme. Is de

Ohmsche weerstand in de keten hoog (eenige Ohmsche weerstand is altijd wel aanwezig) dan heeft dit als invloed op de resonantiekromme dat deze flauwer verloopt, want de minimum-stroomsterkte wordt grooter. De kromme zal dan bijv. als de gestippelde lijn verlopen. Ook hier ziet men duidelijk den schadelijken invloed van Ohmschen weerstand. De afstemscherpte wordt kleiner, m.a.w. het punt van minimum stroomsterkte, dus grootste impedantie, is lastiger te vinden. In fig. 49 ziet men de resonantiekromme voor serieresonantie. Bij resonantie is de stroomsterkte het grootst. Bij het hoger of lager worden van de frequentie gaat resp. de weerstand van de spoel of condensator overwegen, waardoor de totale impedantie niet nul blijft en de stroomsterkte afneemt. Ohmsche weerstand in de keten verflauwt ook hier de resonantiekromme. (gestippeld geteekend.)

De Transformator.

Een voordeel van wisselspanning boven gelijkspanning is dat de eerste kan worden omgezet ("getransformeerd") in een hogere of lagere spanning. Het toestel waarmee dit kan gebeuren is de transformator. Een schematische voorstelling van een transformator vindt men in fig. 50. Om een weekijzeren kern liggen twee afzonderlijke draadwikkelingen (zelfinducties), resp. primaire (P) en secundaire (S) genaamd. Aan P wordt de te transformeerende wisselspanning gelegd en aan de klemmen van S ontstaat de getransformeerde spanning. Of deze secundaire spanning hoger of lager zal zijn dan de primaire, hangt van de constructie van den transformator af. De werking van den transformator berust geheel op het inductieverschijnsel, zoodat men, als men hetgeen daarover in hoofdstuk III pag. 19 e.v. is geschreven goed heeft gevolgd, geen moeite zal hebben een inzicht betreffende deze werking te krijgen.

Vooropgesteld wordt, dat, alhoewel men secundaire spanningen kan verkrijgen die vele malen hoger zijn dan die, welke aan de primaire zijde aangelegd worden, er nooit een energiewinst geboekt kan worden. Indien de transformator verliesvrij was, zou men derhalve hoogstens secundaire dezelfde energie kunnen afnemen, als primair werd toegevoegd. Aangezien de energie berekend wordt uit het product van stroom en spanning, krijgen we dus:

$$I_p \cdot E_p = I_s \cdot E_s \quad (p \text{ primair, } s \text{ secundair})$$

Indien de secundaire spanning dus hooger is dan de primaire, moet vanzelf de aan de klemmen der secundaire wikkeling te verkrijgen stroomsterkte lager zijn dan de primaire stroomsterkte.

Steeds zullen in een transformator verliezen optreden zoodat de zoojuist gegeven formule beter aldus kan worden gelezen:

$$\text{Secundaire energie} = \text{Primaire energie} - \text{Verlies.}$$

Voor al bij kleine transformatoren zijn de verliezen vrij groot (tot ca. 30%.)

Over de werking het volgende: Wanneer de primaire wikkeling op een wisselspanning wordt aangesloten, zullen door de steeds optredende stroomveranderingen tegenspanningen in de primaire zelfinductie ontstaan, als gevolg van een steeds veranderend krachtlijnenveld, welk veld door de aanwezigheid van een ijzerkern aanzienlijk wordt versterkt. De secundaire wikkeling die, zeer vast met de primaire gekoppeld, om dezelfde ijzerkern ligt, wordt eveneens door het veranderend krachtlijnenveld doorlopen, met het gevolg, dat in de secundaire een inductiespanning ontstaat, die dezelfde richting heeft als de zelfinductiespanning in de primaire, en dus een tegengestelde richting als de aangelegde primaire wisselspanning. In fig. 51 is dit weergegeven, terwijl fig. 52 de fazeverhoudingen aangeeft van resp. I_p , E_p en E_s . E_p ijlt 90° voor bij I_p , terwijl E_s die in tegenfaze is met E_p , 90° naijlt bij I_p . De zelfinductie van de primaire is gewoonlijk zoo groot, dat de primaire stroomsterkte als de secundaire "open" is, d.w.z. niet belast wordt, uiterst klein is. Wanneer aan de secundaire een stroomverbruikend toestel, lamp, weerstand, enz. wordt aangesloten, begint door de secundaire wikkeling stroom te vloeien, waardoor een krachtlijnenveld ontstaat dat door de ijzerkern versterkt wordt. Deze secundaire stroom ijlt 90° na bij de secundaire spanning en is dus in tegenfaze met den primair stroom (verg. fig. 53). Het gevolg hiervan is dat het totale krachtlijnenveld verzwakt wordt. Immers het veld, door de secundaire opgewekt, werkt het primaire tegen. Dit heeft dezelfde invloed alsof de zelfinductie-waarde van de primaire lager is geworden, en daarmee ook de wisselstroomweerstand. De primaire stroom stijgt dus. Dit is een merkwaardige eigenschap van den transformator, dat de secundaire afgegeven stroom den primair stroom regelt. Aan de hand van de formule

$$I_p \cdot E_p = I_s \cdot E_s$$

is dit overigens duidelijk. Als de secundaire geen energie afgeeft, behoeft de primaire ook geen energie op te nemen. Het omgekeerde is echter ook waar, n.l. dat kortsluiting van de secundaire ook kortsluiting van de primaire beteekent. Immers door kortsluiting van de secundaire ontstaat een krachtig veld tegengesteld aan het primaire. Het primaire veld wordt hierdoor nagenoeg opgeheven en daarmee tevens den wisselstroomweerstand, zoodat alleen de Ohmsche weerstand van den draad de primaire stroomsterkte zal bepalen. Aangezien die Ohmsche weerstand gering is, zal de primaire stroomsterkte zeer aanzienlijk worden.

Hierbij is verondersteld dat de koppeling tusschen P en S zoo vast is, dat ook werkelijk alle krachtlijnen van de eene spoel door de andere worden omvat. Bij goede transformatoren wordt dit practisch geheel benaderd. Indien de koppeling tusschen P en S echter niet zoo ideaal is, zoodat een groot gedeelte van de krachtlijnen niet door beide spoelen omvat wordt, zal kortsluiting aan de secundaire zijde niet zulke ernstige gevolgen aan de primaire zijde tengevolge hebben. Men zegt in zoo'n geval dat de transformator een groote "spreiding" heeft, d.w.z. een groot aantal onbenutte krachtlijnen.

De spanning die men aan S krijgt hangt af van de verhouding van het aantal wikkelingen op P en S. Men noemt dit de transformatieverhouding. Wil men bv. aan S een een viertmaal zoo groote spanning krijgen als aan P, dan zal de secundaire ook viermaal zooveel windingen moeten hebben als de primaire. Bij een secundaire spanning van $1/10$ van de primaire, moet de secundaire ook $1/10$ van het aantal primaire windingen hebben.

Het aantal primaire windingen wordt voor een zekere spanning uitsluitend bepaald door de doorsnede van den ijzerkern. Hoe groter deze doorsnede, met hoe minder windingen men voor een bepaalde spanning kan volstaan. In het algemeen kan men zeggen, dat men per vierkante cm kerndoorsnede $1/100$ V per winding kan verkrijgen. Dit cijfer is aan den tegen kant $1/75$ V is nog een uitstekend praktisch cijfer. Een primaire voor 220 V moet dan als de ijzerkern 1 cm^2 doorsnede heeft, 22000 windingen hebben. Heeft men een kern met 4 cm^2 doorsnede, dan kan men met 5500 windingen volstaan.

Nog een ander voorbeeld: Men heeft een transformator met een kern van $8 \times 8 \text{ cm}^2 = 64 \text{ cm}^2$ doorsnede voor 220 V primair. Aan de hand van het voorgaande kunnen we dus direct zeggen dat het aantal windingen primair ongeveer 330 zal moeten zijn. Men heeft secundair 8 V nodig. Het aantal secundaire windingen zal dan $220/8$ of 110x kleiner moeten zijn, dus ongeveer 33. Wil men secundair bv. 20 A kunnen afnemen, dan moet de draad een doorsnede van minstens 4 mm^2 hebben. Dit de formule:

$$I_p \cdot E_p = I_s \cdot E_s$$

kunnen we bepalen hoe dik de primaire draad moet zijn: $I_s \cdot E_s = 40 \text{ W}$, dus $I_p \cdot E_p$ is ook gelijk aan 40 W. Daar $E_p = 220 \text{ V}$ is $I_p = 40/220$ of ongeveer 0,2 A. Hiervoor kan dun draad gebruikt worden.

Het bovenstaande zijn slechts ruwe benaderingen en worden alleen gegeven om een inzicht te geven. Ook de transformatorverliezen zijn niet in rekening gebracht. Duidelijk spreekt echter de invloed van den kern, welke dan ook de mogelijkheden die met een bepaalde transformator te verkrijgen zijn, geheel bepaalt.

De toelaatbare stroomsterkten hangen af van de draaddoorsnede. De maximale stroomsterkte per vierkante millimeter wordt voor transformatoren op 2,5 vaak 2 A gesteld. Men voorziet transformatoren in den regel van zgn. gesloten kernen, d.w.z. dat het ijzer buiten den spoel in zich zelf gesloten is. Dit vergemakkelijkt het verloop der krachtlijnen. Om de ijzerverliezen laag te houden, bouwt men den kern op uit dunne, onderling geïsoleerde plaatjes ("laminier"). Dit verhindert het optreden van dwarselstromen in het ijzer. Een massieve kern kan als een kortgesloten winding worden beschouwd, waarvoor de krachtlijnen passeeren. Daardoor worden er in het ijzer inductiestromen opgewekt, die men dwarselstromen noemt. Van groot belang is ook ijzer met kleine hysteresisverliezen: hierop werd onder het hoofdstuk Magnetisme reeds gewezen. Bij een onbelaste secundaire moet de primaire zooveel energie opnemen dat de ijzerverliezen worden gecompenseerd.

Naar den vorm van den kern onderscheidt men kerntransformatoren en manteltransformatoren, in fig. 53 resp. met a en b aangegeven. De draadspoelen worden bij kerntransformatoren om één of beide beenen gewikkeld, bij manteltransformatoren om het middenbeen. Bij de laatste is de doorsnede van het middenbeen de effectieve kern-dikte, en deze doorsnede moet tweemaal zoo groot zijn als die der mantel.

De koppeling tusschen P en S kan op verschillende wijzen geschieden: men kan eerst P op de kern wikkelen en daaropvereen S. Wikkelex van P op het eene been en S op het andere been is eveneens een mogelijkheid. Ook wel wordt op elk been de helft van P en de helft van S gewikkeld. Op deze manieren worden meer of minder goed vaste koppelingen verkregen. De beste methode is zowel primaire als secundaire als platte schijfspoelen uit te voeren, die op den kern geschoven kunnen worden. Tusschen elke twee secundaire schijven komt één primaire schijf te liggen. Fig. 54 geeft een beeld van deze zgn. wikkeling in "sandwich".

Voor al bij hoogspanningstransformatoren moet aandacht besteed worden aan de isolatie tusschen P en S en ook ten opzichte van den kern. Bij het warm worden van transformatoren bij flinke belasting (het ijzer door de voortdurende beweging van de magnetische en het koperdraad tengevolge van de daardoor vloeiende stroom) droogt de isolatie op den duur uit waardoor zij kan gaan uiteenvallen. Men dient de isolatie dus steeds ruim te kiezen.

De Auto-transformator.

Dit is een ijzerkern met slechts één wikkeling, die één of meer aftakkingen heeft, zie fig. 55. Beschouwt men ab als de primaire van een transformator die op bv. 220 V is aangesloten, dan bestaat tusschen elke twee opeenvolgende windingen een spanningsverschil van 220 V gedeeld door het aantal windingen. Zijn er bv. 2200 windingen dan is dit spanningsverschil $1/10$ V. Heeft de transformator nu een aftakking halverwege, dan is het niet moeilijk in te zien dat tusschen a en c een spanningsverschil van 110 V bestaat, evenzoo tusschen c en b.

Omgekeerd, als men tusschen a en c 110 V wisselspanning aanslegt, zullen de door de kern gaande krachtlijnen door ab omvat worden en een spanning opwekken die evenredig is met de wikkelingsverhouding van ac en ab.

Autotransformatoren moet men alleen gebruiken op plaatsen waar het niet noodzakelijk is, dat men van het electriciteitsnet geïsoleerd is aan de secundaire zijde. Zij zijn zeer gemakkelijk, als ze verscheidene aftakkingen hebben om de spanning van plaatsspanningsapparaten te regelen. Aan a en b komt dan bijv. het electriciteitsnet en tusschen b en de aftakkingen sluit men den hoogspannings-transformator van het plaatsspanningsapparaat aan. Hiermede regelt men dan de primaire spanning van dezen transformatoren en daar de transformatieverhouding dezelfde blijft, dus ook de secundaire spanning.

....

Gelijkrichters.

Alhoewel we in het hoofdstuk over transformatoren als een voordeel van wisselspanning boven gelijkspanning het feit hebben genoemd, dat de eerste zich gemakkelijk laat omzetten in een hogere of lagere spanning, zal het toch dikwijls noodzakelijk blijken, de getransformeerde spanning in gelijkspanning om te zetten. Deze noodzakelijkheid laat zich het meeste gevoelen, wanneer het de hoogspanning voor anodevoeding der lampen betreft.

Het gelijkrichten van wisselspanning komt in principe neer op het onderdrukken of "omklampen" van halve perioden. In figuur 56 is onder a een wisselspanning geteekend. Bij b ziet men deze spanning gelijkgericht. Het gelijkrichten bestaat hier in het wegnemen van de onderste halve perioden. Wat overblijft is een zgn. "pulseerende" gelijkspanning aangezien de spanning niet constant is doch stootsgewijs optreedt. Bij c is een zgn. dubbelfazig gelijkgerichte wisselspanning geteekend in tegenstelling met de enkelfazig gelijkgerichte spanning van b. Strikt genomen kan men bij c pas van gelijkrichting spreken omdat hier de onderste halve perioden dezelfde richting hebben gekregen als de bovenste. Bij b. werden de onderste halve perioden eenvoudig onderdrukt.

Om in te zien hoe het onderdrukken of gelijkrichten van halve perioden kan geschieden, is het noodzakelijk even stil te staan bij de moderne theorie over de samenstelling van de stof.

Men neemt aan dat het kleinste deeltje van elke stof is opgebouwd uit een positief elektrische kern waaromheen negatief geladen deeltjes cirkel- of ellipsvormige banen beschrijven, op dezelfde wijze als de planeten om de zon. Het genoemde kleinste mogelijke stofdeeltje, "atoom" genaamd, is hierdoor elektrisch neutraal, omdat de gezamenlijke negatieve lading der wentelende negatieve elektrische deeltjes (electronen genaamd) juist de positieve waarde van de atoomkern compenseert. Een electron is de kleinste denkbare negatieve lading en is de kleinste hoeveelheid electriciteit die bestaat. In dit verband moet men zich wennen aan het denkbeeld dat er slechts één soort electriciteit bestaat, en wel de negatieve in den vorm van electronen. Een positieve lading beteekent een tekort aan electronen. Dit is gemakkelijk in te zien aan de hand van het zoeven gezegde over de lading van een atoom. Het geheele atoom is neutraal, d.w.z. vertoont geen lading. Zouden we echter één electron wegnemen, dan zou er een tekort aan negatieve electriciteit ontstaan, m.a.w. het atoom vertoont de eigenschappen van één positieve lading.

Een atoom waaruit een of meer electronen zijn weggenomen noemt men een ion. Ionen zijn dus atoomresten die tekort aan electronen hebben; als gevolg daarvan zijn zij positief.

Het is niet moeilijk electronen van een atoom los te maken, tenminste bij sommige stoffen, en speciaal bij metalen. Waar wij gezien hebben, dat electronen de kleinste denkbare electriciteitshoeveelheden beteekenen, kunnen we onmiddellijk de conclusie trekken dat een elektrische stroom dan een transport van electronen moet zijn. Goede geleiders zullen dus die stoffen zijn waarin de electronen zich gemakkelijk kunnen bewegen, terwijl in slechte geleiders de electronen zich moeilijker kunnen bewegen.

Brengen we een gloeidraad aan in een luchtledig gepompte glazen ballon, en we sluiten den gloeidraad aan op een spanningsbron (bijv. een accu), dan vloeit er een stroom door den draad, hetgeen dus zeggen wil dat er een rondgaand electronen transport door den draad plaats vindt. Door het sterk verhit worden van den gloeidraad, komen de electronen in den draad in steeds heftiger beweging, waardoor het voorkomt dat electronen uit den draad worden geslingerd en terecht komen in de luchtledige ruimte in den glazen ballon. Deze wolk van electronen om den gloeidraad heet "ruimtelading". Brengen we nu in de glazen ballon een metalen plaatje aan tegenover den gloeidraad, en geven we dit plaatje een positieve spanning ten opzichte van den gloeidraad, dan zullen de vrije (negatieve) electronen zich naar de plaat gaan bewegen. Zie fig. 57.

In dit geval gaat er dus een electronenstroom van den gloeidraad door de luchtledige ruimte naar de plaat, en verder door de batterij naar den gloeidraad terug. Wanneer we de batterij andersom zouden schakelen, zoodat de minpool met de plaat verbonden zou worden, dan zou er geen sprake van een electronenstroom kunnen zijn

omdat de plaat de vrije electronen nu zou afstooten.

Nog een belangrijk feit kunnen we zien uit fig. 57, nl. dat de electronen juist in tegengestelde richting loopen als de richting van den elektrischen stroom, die naar wij steeds aannemen, loopt in een uitwendige keten van plus naar min en in de batterij van min naar plus. Men dient steeds te bedenken dat de electronen van min naar plus loopen, en door de batterij van plus naar min. Als men denkt aan den gloeidraad die electronen uitzendt, is dit niet moeilijk te ontvooien.

Een ballon met gloeidraad en plaat noemen we een twee-electrodenlamp of diode. Later zullen we ook de drie-electrodenlamp (triode), de vier-electrodenlamp of tetrode en de vijf-electrodenlamp of pentode leeren kennen. Het grondprincipe van alle vacuümlampen is evenwel steeds hetzelfde, nl. een gloeidraad met electronen emissie. De belangrijkste eigenschap van de diode is blijkens het voorgaande dat zij slechts stroom doorlaat in één richting, en deze eigenschap stempelt haar tot gelijkrichter.

De grootte van den electronenstroom door de lamp is als vanzelf sprekend afhankelijk van de grootte der aangelegde plaatspanning. Hoe hoger de plaatspanning is, des te sterker wordt de electronenstroom. In fig. 58 is dit schematisch weergegeven. Langs de horizontale as zijn de verschillende plaatspanningen uitgezet, terwijl men verticaal de bijbehorende stroomsterkten kan aflezen. Zoo'n grafische voorstelling noemt men de "lampkarakteristiek", aangezien zij de eigenschappen van een speciale lamp "karakteriseert". Men ziet bij het verhoogden der plaatspanning den electronenstroom, ook wel plaatstroom genaamd, eerst langzaam en daarna sneller toenemen, terwijl tenslotte een punt bereikt wordt waar een nog hogere plaatspanning geen plaatstroomvergrooting meer teweeg brengt. Dit punt A heet het verzadigingspunt en de waarde van den plaatstroom in dit punt de verzadigingsstroom of ook wel saturatiestroom. De verzadigingsstroom treedt op wanneer de electronenstroom een zoodanige waarde heeft bereikt dat alle uit den gloeidraad tredende electronen naar de plaat van de lamp vliegen. Een vergrooting van den plaatstroom kan dus nu alleen nog verkregen worden door de emissie van den gloeidraad te verhoogden, en dit kan alleen geschieden door opvoeren van de temperatuur. Aangezien elke lamp een voorgeschreven maximalen gloei-stroom heeft, is het niet raadzaam deze waarde te overschrijden; immers de levensduur van den draad wordt hierdoor sterk verkort.

De plaat van een lamp wordt ook wel "anode" genoemd, terwijl men den gloeidraad vaak den naam van "kathode" geeft.

Het Plaatspanningsapparaat. (Zie fig. 59).

De transformator T is met de primaire wikkeling aangesloten op het lichtnet. Secundair bezit hij een tweetal wikkelingen: een laag- en een hoogspanningswikkeling. De laagspanningswikkeling dient om den gloeidraad van de diode te verhitten waardoor electronen kunnen uittreden. Het hoogspanningsgedeelte van den transformator levert de wisselspanning die wij willen gelijkrichten. Natuurlijk kan men ook twee afzonderlijke transformatoren bezigen, een voor de hoogspanning en een voor de laagspanning. De primaires worden in dit geval parallel geschakeld.

De werking van het geheel is nu als volgt:

Als de primaire op het net wordt aangesloten ontstaat aan de klemmen der beide secundaire wikkelingen een wisselspanning. Dat de wisselspanning van de laagspanningswikkeling direct gebruikt wordt om den gloeidraad te voeden behoeft geen verwondering te wekken; immers de eenige functie van den door den draad vloeienden stroom is den draad te verhitten. Hoe die verhitting geschiedt is geheel vellekeurig. Wanneer het practisch uitvoerbaar was, zouden we den draad ook langs niet-electrischen weg tot gloeien kunnen brengen.

De uiteinden a en b van het hoogspanningsgedeelte worden beurtelings positief en negatief (wisselspanning). Stel op een bepaald moment is a positief. Er gaat nu een electronenstroom van den gloeidraad naar de plaat, via a, b, door het gestippeld geteekende verbruikstoestel naar het midden van de gloeidraadwikkeling terug naar den gloeidraad. Het volgend moment is a negatief, waardoor geen electronenstroom kan vloeien. Gedurende dien tijd wordt dus geen stroom geleverd. Hierna volgt weer een moment dat a positief is en er loopt weer een electronenstroom, enz. Uit de richting van de electronen kunnen we ook onmiddellijk de elektrische stroomrichting afleiden. Deze loopt immers juist andersom: dus van gloeidraad via laagspanningswikkeling, door het verbruikstoestel en via hoogspanningswikkeling naar de plaat. We kunnen dus onmiddellijk plus en min bepalen.

Tot dusver hebben we nog niet gesproken over de condensatoren C₁ en C₂ en de smoorspoel met ijzerkern L. Deze combinatie van condensatoren en smoorspoel noemt men de afvlakkring van den gelijkrichter.

Blijkens fig. 56 levert de gelijkrichter een gelijkstroom, die het beeld van b. vertoont. Dergelijke pulsaties treden op aan de punten x en z in fig. 59. Gedurende den tijd nu, dat de lamp stroom levert, wordt tevens de condensator C_1 opgeladen. Deze lading wordt aan het verbruikstoestel afgeleverd in de halve perioden waarin geen stroom door de lamp wordt doorgeleten. C_1 dient dus als reservoir, waardoor de afgeleverde stroom niet meer het karakter heeft van fig. 56b, waarin telkens een stroomlooze halve periode optreedt. C_1 vult het stroomlooze tijdperk dus gedeeltelijk aan. Indien alleen C_1 aanwezig was, zou de afgegeven stroom nog verre van een zuiveren gelijkstroom zijn, doch nog een sterk pulseerend karakter hebben. (fig. 60) Voor de verdere afvlakking zorgt o.a. smoorspoel L.

Een pulseerende gelijkstroom kan worden ontleed in een zuiveren gelijkstroom plus een of meer sinusvormige wisselstromen. Men zegt in zoo'n geval dat een wisselstroom op den gelijkstroom is gesuperponeerd en dat de pulseerende gelijkstroom bestaat uit een gelijkstroom- en een wisselstroomcomponent. De gelijkstroom zal in L niet anders dan een ohmschen weerstand ondervinden. Heeft de smoorspoel een ohmschen weerstand van 1000 Ohm, dan zal de spanningsval dus 1 Volt bedragen voor elke milliampère stroom die wordt afgegeven. De wisselstroomcomponent echter ontmoet in L een weerstand, groot: $2\pi nL$ Ohm. Wanneer L (zooals gewoonlijk) 50 Henry is en $n = 50$ perioden, dan is deze weerstand $2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 50 = 15700$ Ohm. Terwijl de gelijkstroomcomponent dus gemakkelijk de smoorspoel L passeert, wordt de wisselstroomcomponent "gesmoord". Tusschen de punten y en q zal natuurlijk nog wel een wisselspanning aanwezig zijn, doch deze zal belangrijk kleiner zijn dan die tusschen de punten x en z. Aan y-q treedt dus een gelijkspanning op, met daarop gesuperponeerd een zeer kleine wisselspanning. C_2 vormt voor de gelijkspanning een volkomen blokkeering, terwijl de wisselstroomcomponent slechts een weerstand van $\frac{1}{2\pi nC}$ Ohm ondervindt. Bij een 50 per. wisselstroom en een condensator van 4

microfarad wordt dit ongeveer 800 Ohm. De wisselspanning zal dus door C_2 afvloeien, zoodat we tusschen y en q een nagenoeg zuivere gelijkspanning overhouden. De hierboven beschreven gelijkrichter is een z.g. enkelfasige gelijkrichter. De schakeling voor dubbele gelijkrichting vindt men in fig. 61. De afvlakking is in de teekening weggelaten. Als plaatsspanning wordt hier beurtelings de eene en andere helft van de transformatorspanning benut. Nu worden geen halve perioden onderdrukt, want als de eene plaat negatief is, is de andere positief, zoodat er in elke halve periode een electronenstroom vloeit. (zie fig. 56c.) De pulseerende gelijkstroom die nu ontstaat levert niet 50, doch 100 stroomstootjes per seconde. Dubbelfasig gelijkgerichte wisselstroom is dientengevolge gemakkelijker af te vlakken dan enkelfasige. De smoorspoel L van 50 Henry toch heeft, zooals we hebben uitgerekend, voor 50 per. een wisselstroomweerstand van 15700 Ohm. De dubbelfasig gelijkgerichte wisselstroom bestaat echter uit een gelijkstroomcomponent plus een wisselstroomcomponent van 100 perioden. L heeft hiervoor dus een twee maal zoo hoge weerstand (31400 Ohm), terwijl de door de condensatoren geboden weerstand slechts half zoo groot is (voor C_2 dus 400 Ohm).

In plaats van een lamp met twee platen kan men natuurlijk ook twee lampen, elk met één plaat benutten, waarbij dan de gloeidraden parallel- of in serie geschakeld kunnen worden, al naar gelang dit in verband met de gloeidraadvoeding het beste uitkomt. Het plaatsspanningsapparaat wordt gebruikt als voedingsbron voor de anodes van ontvang- en zendlampen. Een onaangename eigenschap van het plaatsspanningsapparaat is, dat het een spanningsbron is met een vrij hoogen inwendigen weerstand. (de inwendige weerstand der gelijkrichtlampen bedraagt steeds eenige duizenden Ohms) Onder verwijzing naar hetgeen hierover in het hoofdstuk over inwendigen weerstand van batterijen is gezegd (zie pag. 9) kan hier volstaan worden met erop te wijzen dat de klemspanning zeer sterk varieert bij verandering der belasting. Bij het verhoogen van de afgenomen stroomsterkte neemt het inwendig spanningsverlies ($I \cdot R_i$) zeer aanzienlijk toe. Wanneer geen stroom wordt afgegeven loopt de klemspanning daarentegen hoog op. Om hieraan eenigszins tegemoet te komen plaatst men wel continu een weerstand over de klemmen van het plaatsspanningsapparaat. Ook al vloeit door dezen weerstand slechts een geringen stroom, wordt toch het hoog oploopen der spanning voorkomen. Het fluctueeren der spanning bij belastingen niet-belasting is uitermate lastig, vooral wanneer bij zenders het sleutelen geschiedt door de hoogspanning aan- en af te schakelen. (niet constant zijn van de uitgezonden frequentie z.g. "chirp" of "tjoep", sterk vonken van de onderbrekingscontacten enz.) Om de spanning van het plaatsspanningsapparaat zooveel mogelijk constant te houden bij verschillende belasting maakt men in den laatsten tijd wel gebruik van neon-lampen, die over de klemmen van het p.s.a. geschakeld worden. Een neon-lamp bestaat uit twee elektroden, geplaatst in

een luchtledig gepompte ballon, waarin een weinig neongas onder lagen druk is toegelaten. Leggen we tusschen de beide electoden een spanningverschil aan, en maken we dit geleidelijk grooter, dan zal bij een zekere spanning het neon onder de spanning der electronen gasplijst worden in electrisch geladen deeltjes, waardoor aan de electronen doorgang wordt verleend van de eene electrode naar de andere. Het gas licht hierbij rood op. Deze doorslagspanning ligt meestal tusschen 70 en 120 Volt. Bedraagt de klemspanning meer dan genoemde waarde, dan dient men meerdere neonlampen in serie te schakelen. Wordt het plaatspanningsapparaat niet belast, dan loopt een zekere stroom door de neonlampen. Belast men vervolgens het plaatstroomapparaat, door bijv. den sleutel naar te drukken, dan nemen de neonlampen nagenoeg zooveel minder stroom af, als door de uitwendige keten (zender) wordt verbruikt. Deze eigenaardige eigenschap der neonlampen kan voor het constant houden der spanning zeer nuttig worden toegepast. (Zie ten overvloede fig. 62.) Veelal worden voor dit doel de z.g. nachtlampen aangewend, waaruit de in de voet ingebouwde weerstand is verwijderd of kortgesloten.

Accugelijkrichters hebben geen afvlakrichting noodig in tegenstelling met plaatspanningsapparaten, welke zuivere gelijkstroom moeten leveren. De accu wordt derhalve met pulserende gelijkstroom geladen. Om de waarde van pulserenden gelijkstroom te bepalen, moeten we ons, evenals bij wisselstroom, rekenschap geven van hetgeen we wenschen te weten. Bij pulserenden gelijkstroom hebben we immers ook een gemiddelde waarde en een effectieve of middelbare waarde. De gemiddelde waarde is voor een pulserenden gelijkstroom uit fig. 56b $\frac{1}{\pi}$ of ongeveer $\frac{1}{3}$ van de maximale waarde. De ef-

fectieve of middelbare waarde bedraagt $\frac{1}{2} I_{\max}$, terwijl deze beide waarden voor een pulserenden gelijkstroom van fig. 56c resp. $\frac{2}{\pi} \cdot I_{\max}$ en $\frac{1}{2} \sqrt{2} \cdot I_{\max}$ bedragen, of

ongeveer $0,6 \cdot I_{\max}$ en $0,707 \cdot I_{\max}$. Derselbe getallen gelden weer voor de spanningen. Men merke op dat deze laatste waarden precies gelijk zijn aan de overeenkomstige waarden bij zuiver sinusvormigen wisselstroom en in dit verband wordt erop gewezen dat dat C_1 een doorslagspanning moet hebben ruim boven de maximale waarde van de pulserende gelijkspanning.

De vormfactor is voor dubbel gelijkgerichten wisselstroom dus ook gelijk aan dien van wisselstroom, n.l. 1,11; terwijl die van enkel gelijkgerichten wisselstroom gelijk is aan $\frac{\sqrt{2}}{1} = \text{ca. } 1,57$. Hierop komen we terug bij de behandeling van de meetinstrumenten.

Behalve de z.g. hoogvacuum gelijkrichtlampen, d.w.z. lampen die tot een zeer hoogen graad van luchtledigheid gepompt zijn, maakt men ook gebruik van z.g. gasgelijkrichtlampen, dit zijn lampen die een gasvulling bezitten van bepaalde samenstelling, onder geringen druk. De electronen welke door den gloeidraad geëmitteerd worden, zullen op hun weg naar de plaat tegen gasdeeltjes botsen, waardoor electronen uit de gasatomen geschoten worden. Hierdoor wordt de electronenstroom welke zich naar de plaat begeeft grooter, terwijl de overblijvende positieve gasionen zich naar den gloeidraad begeven en daar hun positieve lading afstaan. Gasgelijkrichters kunnen grooter stroomsterkten voeren; men gebruikt ze dan ook vooral in accu-gelijkrichters. Ook de bij de stabilisatie van de spanning van plaatstroomapparaten besproken neonlampen vertoonen deze eigenschap, wanneer de eene electrode grooter is dan de andere.

Meetinstrumenten

Meetinstrumenten vormen voor den amateur onontbeerlijke hulpmiddelen bij de instelling van den zender. Is het al mogelijk geheel zonder meters een zender in bedrijf te stellen, een behoorlijk nuttig effect is zonder hulp van meetinstrumenten practisch niet te verkrijgen.

De voor amateurgebruik in aanmerking komende meters zijn:

- 1e Voltmeters voor gloeijspanning
- 2e gelijkstroommilliampèremeter in de anode- of roosterketen der zendlamp
- 3e ampèremeter voor hoogfrequenten wisselstroom
- 4e gelijkstroom-hoogspanningsvoltmeter voor het meten van anodespanningen.

In Hoofdstuk III pag. 12 e.v. is reeds uiteengezet dat het principe van den voltmeter geheel gelijk is aan dat van den ampèremeter: het zijn beide stroomverbruikende instrumenten met uitsluitend dit verschil, dat de voltmeter parallel aan de stroombron staat, dus weinig stroom mag doorlaten, dus een hoogen weerstand moet hebben, terwijl de ampèremeter een deel van de keten uitmaakt en als gevolg daarvan een zoo laag mogelijken weerstand moet hebben. We kunnen de meters dus verdeelen in drie groepen,

- t.w. a gelijkstrooinstrumenten
- b wisselstrooinstrumenten
- c hoogfrequente wisselstrooinstrumenten

De types a en b berusten op de magnetische werking van den stroom, het type C heel of gedeeltelijk op het warmte-effect door stroomen in een weerstand te-
weegebracht.

a gelijkstrooinstrumenten

De meeste gelijkstrooinstrumenten zijn van het z.g. Deprez-d'Arsonval type, doch zijn meer bekend onder den naam "draaispoelmeters". De werking wordt gemakkelijk verklaard aan de hand van fig. 63. Tusschen de polen van een permanenten magneet is een om een as draaibaar draaispoeltje opgesteld. De einden van dit spoeltje zijn verbonden met de aansluitklemmen van den meter. Bij aansluiting van den meter in een keten of over een spanningsbron, wordt het draaispoeltje door een stroom doorlopen, waardoor het de eigenschappen van een magneet gaat vertoonen. (zie Hoofdstuk III pag.18) Men kan zich nu indenken dat bij een bepaalde stroomrichting de polen van dit magneetje zullen zijn, als in de figuur geteekend is. De polen van den permanenten magneet en die van het spoeltje oefenen een aantrekkende en afstootende werking op elkaar uit volgens de pijlen (a) Het resultaat zal zijn dat het spoeltje zal gaan draaien ten gevolge van de twee gelijke, tegen elkaar werkende krachten (pijlen) die niet in elkaars verlengde werken en die tezamen een z.g. koppel vormen. Uit fig. b. ziet men, dat de invloed van het koppel bij verdraaiing van het spoeltje steeds kleiner wordt en ten slotte, als het spoeltje in stand c gekomen is, dus loodrecht op de krachtlijnen van den permanenten magneet staat, nul geworden is. De twee krachten van het koppel werken dan in elkaars verlengde, en heffen elkaar dus op. Aan het spoeltje is de wijzer verbonden. Om dezen wijzer weer naar den nulstand terug te brengen bij afschakeling van den stroom zijn koperen spiraalveertjes aangebracht, welke tevens als toevoerleidingen voor den stroom dienst doen. Uit het bovenstaande volgt, dat de schaal van den meter volgens de beschreven constructie niet evenredig verdeeld kan zijn. Immers staat het spoeltje in beginstand a dan zal een zekere stroomsterkte van 1 Ampères het over een zekeren hoek doen draaien, zoodat het komt in stand b. Maken we nu de stroomsterkte twee maal zoo groot (2 i Amp.) dan is de toename dus 1 Ampères.

Deze toename zal wederom een draaiing veroorzaken, welke evenwel kleiner zal zijn dan de eerste, omdat de beginstand thans b is. De verdeelstrepen der schaal zullen dus naar het einde steeds dichter bij elkaar komen te liggen.

In figuur 64a ziet men de krachtlijnen tusschen de polen van den magneet geteekend. Men ziet hier nog eens dat slechts in één stand de krachtlijnen evenwijdig loopen met het vlak der windingen van het spoeltje (bij benadering zijn de krachtlijnen zuiver horizontaal geteekend, wat in werkelijkheid niet geheel juist is).

In de praktijk voert men draaispoelmeters uit volgens fig. 64b. Aan de polen van den magneet zijn uitgeholde poolschoenen aangebracht en hier tusschen in is een ijzeren cylindertje opgesteld. De krachtlijnen, die zooals bekend gemakkelijker door ijzer passeeren dan door lucht, zullen eenigszins gaan afbuigen en door het ijzer verlopen. In de spleet, die tusschen de poolschoenen en het ijzeren cylindertje overblijft krijgen zij daardoor een richting die overeenkomt met de stralen van het cirkelvormige cylindertje. Het veld in de spleet wordt daarom straalvormig of radiaal genoemd (radius = straal). Men zal nu gemakkelijk inzien dat zoolang het spoeltje zich blijft bewegen tusschen poolschoenen en cylindertje, de krachtlijnen steeds evenwijdig blijven loopen aan het vlak van het spoeltje. Binnen deze grenzen is de draaiing tengevolge van een bepaalde stroomsterkte dus steeds even groot en onafhankelijk van den beginstand van het spoeltje. D.w.z. dat bijv. 1 A aan het begin van het meetbereik een even groot deel van de schaal inneemt als 1 A aan het eind of in het midden.

De windingen van het draaispoeltje zijn gelegd op een koperen raampje. Dit raampje vormt een kortgesloten wikkeling welke zich eveneens bevindt in het veld van den permanenten magneet. Bij draaiing van het spoeltje ontstaat dan in het koperen raampje een inductiestoot welke volgens de wet van Lenz de oorzaak van haar ontstaan tegenwerkt (de draaiing). De bewegingen van het spoeltje worden zoodoende geremd waardoor hinderlijk heen en weer slingeren van den wijzer voorkomen wordt. Bij vele meetinstrumenten vindt men tot dit doel de een of andere inrichting tot damping der bewegingen.

Fig. 65 toont de uitvoering van den draaispoelmeter met de opstelling van het spoeltje. Het spreekt vanzelf dat bij omdraaien van de stroomrichting het spoeltje ook in omgekeerde richting zal bewegen: men noemt deze meters daarom "polair". Een

draaispoelmeter is dus slechts voor gelijkstroom geschikt.

Opm. Soms worden deze meters zoo gebouwd, dat de nulstand zich in het midden van de schaal bevindt. De meter kan dan beide kanten uitslaan.

b. Het weekijzerinstrument.

Figuur 66 geeft schematisch de constructie van dit instrument aan. Binnen een draadwikkeling zijn twee stukjes weekijzer, a en b, geplaatst. Het staafje a staat vast terwijl b draaibaar is en een wijzer draagt. Een spiraalveertje zorgt ervoor dat in den ruststand de twee staafjes zich dicht bij elkaar bevinden. Wordt de draadwikkeling nu door een stroom doorlopen, dan worden beide staafjes gemagnetiseerd en wel in gelijke richting omdat ze evenwijdig staan. De staafjes gaan elkaar dus afstooten. De magnetische kracht is evenredig met het aantal ampère-windingen van de draadspoel. Een voltmeter van het weekijzertype zal dus veel windingen van dun draad bevatten, terwijl een ampèremeter slechts enkele of één enkele wikkeling(en) van dik draad bezit. Aangezien beide staafjes steeds in gelijke richting worden gemagnetiseerd, onverschillig hoe de stroomrichting is, leent dit instrument zich speciaal voor het meten van wisselstroom, ofschoon het ook voor gelijkstroom kan worden gebruikt. De schaal van een weekijzermeter zal niet gelijkmatig verdeeld kunnen zijn, maar zal in het begin gedrongen zijn en naar het einde toe steeds meer gerekt worden. De verklaring hiervan is het volgende. Loopt een bepaalde stroom door de windingen, dan zullen de staafjes elkaar zoover afstooten, dat er evenwicht bestaat tusschen de afstootende magnetische kracht en de terugdraaiende kracht van het veertje. Wordt de stroom twee maal zoo groot, dan worden beide magneetjes twee maal zoo sterk, waardoor de afstootende magnetische kracht vier maal zoo groot wordt. (de magnetische kracht is immers evenredig met het product der poolsterkten, bij gelijke poolsterkten dus met het kwadraat).

Men noemt deze meters dan ook wel "kwadratisch" omdat de uitslag verband houdt met het kwadraat van de stroomsterkte. Natuurlijk gaat dit practisch niet geheel op omdat de onderlinge afstand tusschen de staafjes verandert, afgezien dan nog van andere afwijkingen. Door aan de staafjes een speciale vorm te geven tracht men de deelstrepen even groot te krijgen. Zoo precies gelijkmatig als bij den draaispoelmeter kan men de schaal echter niet krijgen. Aan de gedrukte schaal herkent men dan ook den weekijzermeter.

Een weekijzermeter wijst, op wisselstroom aangesloten, de middelbare of effectieve waarde aan. Een draaispoelmeter blijft op nul staan, omdat de wijzer 50 maal per seconde de eene- en 50 maal de andere richting zou moeten uitslaan en hij die snelle beweging niet maken kan.

Schakelt men een weekijzermeter en een draaispoelmeter in serie in een kring waardoor pulseerende gelijkstroom vloeit, dan wijst de weekijzermeter de effectieve waarde aan, de draaispoelmeter echter de gemiddelde waarde. Het verschil in uitslag houdt hier dus verband met den vormfactor en wel zal de weekijzermeter in een kring waarin dubbelasig gelijkgerichte wisselstroom loopt, 1,11 maal zooveel aanwijzen als de draaispoelmeter en bij enkelfasig gelijkgerichten stroom zelfs, 1.57 maal zooveel.

c. Meters voor hoogfrequenten wisselstroom.

De meestbekende meter van dit soort is de z.g. hittedraadmeter. (Zie fig. 67) Het instrument bestaat uit een weerstanddraad AB, waaraan in het midden een spandraadje bevestigd is, dat geslagen is om het wielkje W en bij C door een veertje wordt strak getrokken. Vloeit nu door AB stroom, dan zal de draad verwarmd worden en dus gaan uitzetten. Door het veertje wordt de spandraad naar boven getrokken, hetgeen een draaiing van het wielkje W met den daaraan verbonden wijzer tengevolge heeft. De meting berust dus op de warmteontwikkeling $I^2 R$ van den stroom. Bij verdubbeling van de stroomsterkte zal de warmteontwikkeling viermaal zoo groot worden. De toename is dus kwadratisch en dus vertoont de hittedraadmeter een soortgelijke schaal als de weekijzerinstrumenten. Door het wielkje W excentrisch te maken tracht men de schaal een gelijkmatiger verdeling te geven.

Hittedraadmeters zijn dus zoowel voor gelijkstroom als wisselstroom bruikbaar; in het laatste geval wijzen zij aan de effectieve of middelbare waarde. Een bezwaar van hittedraadmeters is evenwel dat een gedeelte van den door te laten stroom in warmte wordt omgezet en dus verloren gaat; verder verlopen verwarming en afkoeling vrij langzaam zoodat de meters vrij "traag" te noemen zijn. Deze onaangename eigenschappen komen bij de zgn. thermokoppel- of thermokruismeters in veel geringere mate voor. De stroom wordt bij deze instrumenten door een klein thermo-element gevoerd, dat uit twee strippen van verschillend metaal bestaat welke op een punt aan elkaar zijn gelascht. Dit laschpunt wordt door den te meten stroom verwarmd, waar door een gering spanningsverschil ontstaat dat met een zeer gevoeligen draaispoelmeter gemeten kan worden. Men koppelt dus thermo-element aan draaispoelmeter.

Ook deze meter heeft een schaal die aan het begin gedrukt is. Immers het warmte-effect is proportioneel aan het kwadraat van den te meten stroom en de door het thermo-elementje geleverde spanning is evenredig aan de temperatuur.

Deze en overigens alle meters welke een aan een zijde gedrukte schaal bezitten moet men dan ook steeds zoo kiezen, dat het gewenschte meetbereik ongeveer in het midden van de schaal ligt, want anders wordt de aflezing zeer onnauwkeurig.

De Microfoon.

Een microfoon heeft tot taak geluidstrillingen om te zetten in elektrische stroomstooten. Het is dus de tusschentrap tusschen speaker en telefoniezender.

De microfoon bestaat uit een tweetal stukjes kool die met een lichte druk tegen elkaar aan rusten. Voert men een stroom door den microfoon, dan zal op de plaats van aanraking een overgangsweerstand optreden. Essentieel is nu dat deze overgangsweerstand zich kan wijzigen in het rythme van geluidstrillingen welke in de omgeving van den microfoon worden voortgebracht. Daardoor kan de elektrische stroom niet dezelfde waarde behouden en zal hij voortdurend in sterkte veranderen (zie fig. 68). Gewoonlijk wordt de microfoon in serie met een batterij aangesloten op de primaire van een transformator, om de spanningsvariaties te verhoogen (zie fig. 69). De primaire van dezen microfoontransformator heeft een zeer lage weerstand om de microfoonstroom niet noodeloos te verzwakken (weinig wikkelingen van dik draad.) De spanningen die aan de secundaire zijde van den transformator optreden worden door een of meerdere versterkertrappen versterkt en tenslotte aan den zender toegevoerd.

Het koolmateriaal kan op verschillende wijzen zijn aangebracht; gewoonlijk treft men zgn. koolkorrelmicrofoons aan waarbij de stroom vloeit door een of meerdere doosjes die gevuld zijn met kleine ronde koolkorrels. Ook kan fijn koolpoeder worden gebruikt. De gevoeligheid van een microfoon hangt geheel af van den aard van het aanrakingsoppervlak der korrels en van de kwaliteit van de gebruikte kool. Behalve de zooeven genoemde korrelmicrofoon wordt soms een type gebruikt waarbij een spoeltje aan een trilplaat is bevestigd; zij trillen tezamen snel mede in de frequentie van de tonen die voor den microfoon worden voortgebracht. Het spoeltje trilt nu in een sterk magnetisch veld, gewoonlijk door een electro-magneet opgewekt. Als gevolg van het meer of minder omvatten van krachtlijnen zullen er kleine stroomen in het spoeltje ontstaan, welke weer een getrouw beeld van het geluid vormen waaraan zij hun ontstaan te danken hebben.

Om resoneeren van het microfoonhuis tegen te gaan wordt dit wel uit een zwaar blok marmer gemaakt en elastisch opgehangen.

De Telefoon.

Een telefoon bestaat uit een ijzeren trilplaat die aangetracht is boven een magneet, waarbij om de beenen vele wikkelingen dun draad zijn gelegd. (zie fig. 70). De permanente magneet zal een constante aantrekkingskracht uitoefenen op den trilplaat, maar geen toon of geluid voortbrengen. Indien echter een gelijkstroom vloeit door de draadwindingen zal het reeds aanwezige magnetisme worden versterkt of verzwakt, al naar gelang het totaal aantal krachtlijnen wordt vermeerderd of verminderd. Het gevolg hiervan zal zijn dat de trilplaat iets meer of minder wordt aangetrokken en een kleine verplaatsing van de omringende lucht wordt teweeggebracht, hetgeen we geluid noemen. Wanneer de stroom door de wikkelingen weer verbroken wordt zal de trilplaat in zijn vorigen stand terugveeren en wederom een kleine luchtverplaatsing teweegbrengen.

Wanneer de stroom door de wikkelingen om den magneet een wisselstroom is, zal de trilplaat in het rythme van het periodental worden aangetrokken en losgelaten, en een voortdurenden toon voortbrengen, althans wanneer de frequentie van den wisselstroom binnen het gebied der hoorbaarheid valt. Naar gelang de permanente magneet sterker is, zal de aantrekking van den trilplaat krachtiger zijn en het voortgebrachte geluid sterker. Vandaar dat bij luidsprekers sterke hoefmagneten worden gebruikt of zelfs afzonderlijk bekrachtigde electromagneten (electrodynamische luidsprekers).

In een vorig hoofdstuk is aangegeven dat het opgewekte magnetisme afhankelijk zal zijn van het aantal ampère-windingen. Daarom zal een telefoon met veel draadwindingen gevoelig zijn voor heel zwakke stroomvariaties. Noodzakelijkerwijze dient men dan heel dun draad te gebruiken, zoodat de Ohmsche weerstand zeer hoog wordt. Een hoge Ohmsche weerstand is dus een noodzakelijk kwaad ontstaan door opvoeren van de gevoeligheid. Om aan de vraag van telefoons met hoogen weerstand te voldoen treft men wel eens spoeltjes aan bewikkeld met nikcelinedraad, waardoor weinig wikkelingen (minder werk en lagere kosten!) reeds een zeer hoogen weerstand geven. Het is echter duidelijk dat hier een geringer aantal ampère-windingen ontstaat, zoodat - ook al is de weerstand hoog - de gevoeligheid er niet op vooruitgaat. Oorzaak en gevolg zijn hier verwisseld.

HOOFDSTUK V

-xxx-

KENNIS VAN DE MECHANIEKEN DER RADIO-TECHNIEK.Voortplanting van hoörfrequentie trillingen.

Teneinde het hierna volgende schijnsel aanschouwelijk voor te stellen, zullen we nu eerst even een uitstapje moeten maken naar een woertje, waarvan het water in absolute rust is. We denken ons nu in het midden van het water een plankje, drijvend op het water, hetwelk we in een regelmatige op- en neergaande beweging brengen. Het plankje volbrengt dus een trilling. Ten gevolge van deze trilling wordt het water om het plankje in beweging gebracht; er zal aan het oppervlak een golfbeweging ontstaan, zooals in fig. 71 is afgebeeld, welke zich kringvormig uitbreidt en, wanneer geen verliezen of hinderpalen optreden, tot in het oneindige zou voortgaan. De weg welke per seconde door de evenwichtsverstoring wordt afgelegd, blijft steeds gelijk en noemen wij de voortplantingssnelheid. Beschouwen we nu een deel van de golfbeweging eens nader. Vergroot is zulk een deel in fig. 72 afgebeeld. We noemen het deel van de slingerlijn tusschen A en B één golf, terwijl we de rechte lijn AB de golf-lengte noemen, welke steeds wordt aangegeven met de grieksche letter λ (uitspr. lambda). Verder onderscheiden we de amplitude a , welke des te grooter is, naarmate de trilling door het plankje uitgevoerd, krachtiger is, en golfberegen en golffalen.

Wordt het plankje nu n maal per seconde op- en neer bewogen (dus volbrengt het n trillingen per seconde) dan gaan er dus van het plankje n golven per seconde uit en is de eerste golf $1/n$ -de seconde onderweg als de tweede trilling begint. Als de voortplantingssnelheid V meters per seconde is, dan legt de eerste golf in $1/n$ seconden dus $\frac{V}{n}$ meters af. De golf-lengte is dus:

$$\lambda = \frac{V}{n}$$

n is dan het aantal trillingen per seconde, of wel de frequentie.

Voor een bepaalde stof is V voor alle frequenties constant, dus voor een bepaalde stof behoort bij een bepaalde frequentie ook een bepaalde golf-lengte.

De onze beschouwingen over evenwichtsverstoringen aan het wateroppervlak zullen we tot ons onderwerp: de radio, terugkeeren. Bij zondantennes gebeurt n.l. iets soortgelijks. In de zondantenne brengen we door middel van een zender electriciteit aan het schommelen. Die heen en weer schommelende electriciteit is volkomen te vergelijken met het plankje van zooeven. Waar om het plankje water aanwezig was, hetwelk door de trillingen van het plankje in beweging kwam, veronderstellen we om de zendantenne ook zoo'n dergelijke stof, die de elektrische evenwichtsverstoringen voortplant. Die stof noemen we aether. Die aether is het, die volgens onze veronderstellingen ervoor zorgt, dat de in de zendantenne optredende electriciteitsschommelingen worden overgedragen naar de op een afstand gelegen ontvangantennes. In werkelijkheid bestaat dien aether in het geheel niet. We nemen zijn tegenwoordigheid slechts aan om een verklaring voor de door ons waargenomen voortplantingsverschijnselen te vinden. Tegenwoordig is trouwens wel bekend, waardoor ook zonder tegenwoordigheid van dien aether voortplanting van trillingen mogelijk is. Hierop in te gaan, zou ons evenwel te ver voeren. Men verwarre dus dezen hypothetischen aether vooral niet met den c.a. in de geneeskunde gebruikte aether! Gemakshalve aannemend, dat die aether wel bestaat, kunnen we dus ook hier weer spreken van een bepaalde voortplantingssnelheid en ook hier moet dus de formule $\lambda = \frac{V}{n}$ gelden, hetgeen dan ook inder-

daad het geval is. V is in dit geval zeer groot, n.l. ca. 500 miljoen meter per seconde en blijkt gelijk te zijn aan de voortplantingssnelheid van Röntgen- en lichtstralen. Inderdaad behooren Röntgen- licht- en radiostralen alle tot dezelfde familie van de z.g. electromagnetische trillingen. Zooals de naam aangeeft, wordt volgens de moderne theorieën aangenomen, dat de voortplanting van deze trillingen een gevolg is van het optreden van electromagnetische evenwichtsverstoringen.

Zij hebben hun verschillend karakter slechts te danken aan de sterk uiteenloopende trillingsgetallen.

Doordat de voortplantingssnelheid zoo geweldig groot is, grooter nog dan de omtrek der aarde, is het moeilijk haar met groote nauwkeurigheid te meten. Uit verschillende metingen heeft men dan ook verschillende uitkomsten verkregen. Daarom is ook de golflengte van een radiosignaal niet met groote nauwkeurigheid op te geven. Om deze en andere redenen geeft men er tegenwoordig den voorkeur aan om van een radiostation niet de golflengte, doch de frequentie op te geven. Deze frequentie is wel met absolute nauwkeurigheid te meten.

De frequentie wordt uitgedrukt in trillingen of perioden per seconde. Het Engelsche woord voor periode is cycle. Bij hoge frequenties (= korte golven; denk aan de formule $\lambda = V/n$) wordt gerekend met kiloperioden of kilocycles per seconde, zelfs wel met megaperioden. Ook treft men wel aan de Herz als eenheid. Eén Herz is één periode per seconde, dus 7000 kiloperioden per seconde = 7000 kiloHerz = 7 megaHerz.

Voorbeelden.

1. De frequentie van een amateurzender is 7200 kiloHerz. Hoe groot is bij benadering de golflengte van dien zender?

$$\lambda = \frac{V}{n} = \frac{300000000}{7200000} = \frac{3000}{72} = 41.67 \text{ m.}$$
2. Indien een zender werkt op 21 m golflengte, dan is de frequentie

$$\frac{300000000}{21} = 14300000 \text{ per. per seconde.}$$
3. Wanneer gevraagd wordt tusschen welke golflengten een telegrafiezender mag werken in den 40 m band, dan luidt het antwoord (zie bepalingen der zendmachtiging art. 7 sub. 1 en art. 10 sub. 6):
tusschen $\frac{300000000}{7280000} = 41,2 \text{ m}$ en $\frac{300000000}{7020000} = 42,7 \text{ m.}$

-...-

Gedempte en ongedempte golven.

Onder gedempte golven verstaan we trillingen waarvan de amplitude a steeds kleiner wordt om tenslotte nul te worden. In een dergelijk geval spreekt men van uittrillen. Frequentie (en dus ook de golflengte) blijven constant. Zie fig. 73. Een dergelijke trilling treedt bijvoorbeeld op in een afgestemde kring, welke even wordt aangestooten (zie ook bij "trillingskringen", waarbij behoort fig. 77) en daarna uittrilt. De damping wordt veroorzaakt o.a. door warmteontwikkeling ten gevolge van Ohmschen weerstand. Verder is zij afhankelijk van de verhouding van zelfinductie tot capaciteit en eventueel van de energieverdracht aan andere kringen. De relatieve invloed van deze factoren bepaalt dus de snelheid van damping, d.i. de tijd noodig om den rusttoestand te herstellen. Men beschouwt een gedempte golf als geëindigd wanneer de amplitude een waarde heeft bereikt die gelijk is aan een honderste van de oorspronkelijke amplitude. Een zoo'n gedempte uittrilling noemt men een golftrein. De oudste zenders (vonkzenders) produceeren dergelijke gedempte trillingen. Aan boord van schepen wordt dit soort zenders tot op heden ten dage gebruikt. Meestal zijn voorzieningen getroffen teneinde het aantal golftreinen per seconde te vergrooten, in den ontvanger hoort men dit soort signalen als een krassend tot sissend geluid, buiten genereeren hoort men een toon, welke in hoogte overeenkomt met het aantal golftreinen wat per seconde door den zender wordt geproduceerd. Meer en meer wordt dit soort zenders verdrongen door de moderne ongedempte zenders.

Bij ongedempte golven blijft de grootte van de amplitude steeds dezelfde (zie fig. 74). Om een ongedempte golfbeweging blijvend te doen zijn dient voortdurend energie te worden toegevoerd teneinde de verliezen aan te vullen. De amplitude neemt dan toe tot die waarde, waarbij de verliezen juist gedekt worden door de aangevoerde energie. Ongedempte golven kunnen worden opgewekt door een lampgenerator, waarbij de trillingsketen in den plaatkring voortdurend in het juiste ritme spanningsveranderingen induceert op de zelfinductie, opgenomen in den roosterkring, en dus ook op het rooster.

(zie fig. 75 en verder onder "generator" en "zendschema's".)

-...-

Trillingskringen.

Deze bestaan uit een condensator C en een zelfinductie L, welke in serie- of parallel geschakeld kunnen zijn. Beide mogelijkheden zullen we afzonderlijk beschouwen, a. parallelschakeling. (fig. 76)

Veronderstellen we eens dat de condensator geladen is en dat daarna plotseling de zelfinductie ingeschakeld wordt. Tusschen de condensatorplaten a en b bestaat een

zeker spanningsverschil: beide platen hebben gelijke, doch tegengestelde ladingen. Verbinden we a en b nu door de spoel L, dan zal hierdoor een stroom gaan vloeien. Hebben a en b dezelfde potentiaal gekregen, dan wordt de vereffeningsstroom weer nul. Ten gevolge van de zelfinductie zal daarna nog een oogenblik stroom blijven vloeien (extrastroom, zie pag. 20.) Deze extrastroom is oorzaak dat er te veel electriciteit van de ene condensatorplaat naar de andere vloeit. Dit "teveel" wil weer terug, zoodat hetzelfde spelletje zich in omgekeerde richting herhaalt. Door verliezen, welke reeds op de vorige pagina werden genoemd, is echter het spanningsverschil tusschen a en b de tweede maal kleiner dan de eerste maal, de derde maal nog kleiner, enz., zoodat we na eenig heen- en weer slingeren een toestand van rust krijgen. (fig. 77) Er ontstaat dus een gedempte trilling. We kunnen het bovenbeschreven verschijnsel vergelijken met een slinger of schommel, welke langzaam tot rust komt.

De tijd waarin een heen- en weerslingering geschiedt noemen we de vrije trillingstijd T. Hij is afhankelijk van de waarden van L en C. De weerstand in de kets beïnvloedt den trillingstijd vrijwel niet; een zeer groote weerstand maakt vrij uittrillen evenwel onmogelijk, zoodat men dan van een aperiodische kets spreekt. Daar de trillingstijd per definitie de tijd benodigd voor een volledige heen- en weerslingering is, uitgedrukt in seconden, is het dus duidelijk dat we ook kunnen zeggen dat het uittrillen geschiedt in een bepaalde frequentie. Immers duurt één trilling T seconden, dan treden per seconde $\frac{1}{T}$ trillingen op, of de frequentie $n = \frac{1}{T}$.

We zien dus dat elke trillingskring voorkeur heeft voor een bepaalde frequentie, m.a.w. hierin kan "meetrillen" (= resoneeren) wanneer hij in een wisselstroomveld van gelijke frequentie wordt gebracht. Voeren we namelijk aan den kring een diergelijke frequentie toe, dan wordt de heen en weerslingering regelmatig onderhouden door nieuwe trillingen. (Vergelijk dit weer met de slingerende schommel, die men bij elke heen- en weergang een "zetje" geeft, waardoor zij in beweging blijft.) Plaats men een kring als in fig. 76 in geteekend in een geleiding AB waardoor alle mogelijke frequenties passeeren (bijv. een antenne-aardverbinding), dan zullen alle trillingen ongehinderd passeeren, behalve die trilling, waarvoor de kring in resonantie is. Deze trilling wordt tegengehouden en omgezet in electriciteitsschommelingen in den kring. Voor die ééne frequentie is de kring tusschen A en B als een oorspronkelijk bestand te beschouwen. Principe van een zeefkring. De resonantiefrequentie wordt gedefinieerd. De resonantiefrequentie is, zooals we gezien hebben, afhankelijk van de waarden van L en C. De algemeene formule voor de resonantiefrequentie van een trillingskring is, zooals we reeds in H oofdstuk IV zagen:

$$n_{\text{res.}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{CL}} \quad (\text{formule van Thomson})$$

Voor de resonantie-golflengte ($\lambda = \frac{V}{n}$) vinden we dan:

$$\lambda_{\text{res.}} = 1885\sqrt{CL}$$

In de eerste formule zijn C en L uitgedrukt in Farads en Henry's; in de tweede in microFarads en microHenry's. λ is dan uitgedrukt in meters.

Zijn dus van een kring L en C bekend, dan zijn de resonantiefrequentie en de resonantie-golflengte met behulp van bovenstaande formules te berekenen.

De volgens bovenstaande formules gevonden waarden voor $n_{\text{res.}}$ en $\lambda_{\text{res.}}$ kloppen niet geheel met de practisch gemeten waarden. Dit is een gevolg van het feit dat we bij de berekening den invloed van den weerstand buiten beschouwing hebben gelaten. De aanwezigheid van weerstand zal ten gevolge hebben dat de resonantiefrequentie iets kleiner zal zijn, dan uit de berekening volgt; de golflengte zal dus iets grooter zijn. In de practijk kan de invloed van den weerstand echter in de meeste gevallen worden verwaarloosd. Vooral geldt dit voor de hooge frequenties waarmee wij amateurs te maken hebben, aangezien hier het maken van kringen met verwaarloosbaar kleinen weerstand niet moeilijk is.

b. serieschakeling. (fig. 78)

Waar deze schakeling tegenwoordig zelden of nooit meer wordt toegepast, willen we hier volstaan met te vermelden dat ook in dit geval voor een zekere frequentie resonans zal optreden. In tegenstelling met het onder a besprokene worden nu alle trillingen welke door den kring van A naar B trachten te komen, tegengehouden, terwijl slechts de resonantiefrequentie wordt doorgelaten. Dus dit is juist andersom als bij parallel-resonantie.

Afstemscherpte. Een trillingskring kan meer of minder gemakkelijk worden aangestooten in een frequentie die iets van zijn resonantiefrequentie ($n_{\text{res.}}$) verschilt. We zeggen, dat hoe moeilijker dit gaat, hoe grooter de afstemscherpte (selectiviteit) is. Fig. 79 toont ons de resonantiecurve voor een kring welke een groote afstemscherpte bezit, terwijl fig. 80 een geval van geringe afstemscherpte weergeeft. De afstem-

scherpthe is afhankelijk van de onderlinge verhouding van den in den kring voorkomenden weerstand R , zelfinductie L en Capaciteit C , doch ook van de wijze waarop de kring is geschakeld, zooals uit het onderstaande overzicht blijkt:

bij parallelresonantie
geeft een grootere R een kleinere afstemscherpte

„ „ „ „ L „ „ „ „
„ „ „ „ C „ „ „ „

bij seriesonantie
geeft een grootere R een kleinere afstemscherpte

„ „ „ „ C „ „ „ „
„ „ „ „ L „ „ „ „

In beide gevallen is bij zeer grooten weerstand geen resonantie meer mogelijk.

Toepassing van serieschakeling. Een kwartsplaatje is te beschouwen als een serieschakeling van een zéér groote zelfinductie en een zéér kleine capaciteit. (bijv. 36 Henry en 0,045 μ F.) Hierdoor wordt de enorme afstemscherpte verlaagd. De vrije trilling van een dergelijk plaatje wordt derhalve gebruikt voor het constant houden van de frequentie van zenders.

Bij omroepontvangers is, aangezien de zendstations slechts zéér weinig in frequentie verschillen, groote afstemscherpte gewenscht. Waar in dergelijke ontvangers bijna steeds parallelresonantie wordt toegepast, moet dus de condensator een groote- en de zelfinductie een kleine waarde hebben. Allereerst dient men er echter voor zorg te dragen dat de weerstand zoo klein mogelijk gehouden wordt. Spoelen en condensatoren dienen dus van prima kwaliteit te zijn.

Bij frequentiemeters behoeft het geen nader betoog dat hier de afstemscherpte zoo groot mogelijk dient te zijn. Het is dus nadeelig in den kring een gloeilampje (weerstand) op te nemen.

De rechte draad als resonator.

Ook bij een recht uitgespannen draad doen zich resonantieverschijnselen voor. Zoo is iedere zendantenne een draad, welke behoort te resoneren bij de frequentie waarop de zender werkt. Het doel van zulk een resonantie is n.l. de door den zender geproduceerde trillingen over te dragen aan de hypothetische middenstof: de ether. Het optreden van resonantie kunnen we voor dit geval als volgt berekenen: Voeren we aan een draad bij een bepaald punt een elektrische evenwichtsverstoring toe, dan zal deze zich naar de beide uiteinden van den draad voortplanten. Stel bijv. dat bij het voedingspunt een overmaat aan electriciteit wordt toegevoerd. Deze electriciteits-opstopping zal zich langs den draad voortplanten (loopen) en tenslotte bij de uiteinden aankomen, waar zij niet verder kan. Aangezien electriciteit onsamendrukbaar is, wordt zij met even groote kracht teruggeduwd, als zij naar het uiteinde opdringt: er vindt dus een terugkaatsing plaats. De teruggekaatste evenwichtsverstoring plant zich nu naar het andere uiteinde voort, maar zal ergens onderweg de van dat uiteinde electriciteitsopstuwing ontmoeten. Die twee in tegengestelde richtingen opdringende electriciteitsopeenhoopingen zullen dus onvermijdelijk ergens tegen elkaar botsen en weer terugkeeren naar de uiteinden van den draad, wederom teruggekaatsd worden en weer naar elkaar toelopen. Weer zullen ze elkaar dus ergens ontmoeten, elkaar afstooten, enz., en zoo zou dit spelletje zich tot in het oneindige herhalen, wanneer niet door alle mogelijke verliezen (damping), w.o. de nuttige verliezen ten gevolge van straling, waarom het ons hier juist te doen is, de zich heen- en weer bewegende electriciteit evenals een zich vrij heen en weer bewegende slinger tenslotte weer tot rust kwam. Er gebeurt hier dus iets soortgelijks als bij een afgestemden kring.

Dit alles speelt zich in werkelijkheid in ondenkbaar korten tijd af. Wat gebeurt er nu, wanneer we aan het voedingspunt niet één evenwichtsverstoring toevoeren, doch een reeks van onderling gelijke, elkaar in regelmatig tusschen opvolgende evenwichtsverstoringen (trillingen). In het algemeen zal dan een toestand optreden, waarbij overal botsingspunten ontstaan en opeenvolgende evenwichtsverstoringen elkaar zullen tegenwerken. In speciale gevallen (bij resonantie) zullen evenwel de later toegevoerde trillingen juist samenvallen met teruggekaatste vroegere trillingen. Denken we weer aan ons voorbeeld van een heen- en weer slingerende schommel, dan zal dus in het algemeen een volgende stoot of "zet" niet op het juiste moment aankomen, en we weten dat de beweging van de schommel dan wordt tegengewerkt. Bij resonantie komt de "zet" juist wel op het goede moment.

Bij resonantie treffen we op den draad op gelijke afstanden botsingspunten aan, waartusschen de electriciteit heen- en weer schommelt (staande golven). Verschillende mogelijkheden doen zich hierbij voor, waarvan de eenvoudigste in fig. 81 zijn geteekend. Bij deze figuren is de hoeveelheid stroom in ieder punt in grootte en richting voorgesteld door een lijntje loodrecht op AB, terwijl de toppen van deze loodlijntjes door een vloeiende kromme lijn zijn verbonden. (de loodlijntjes zijn in de figuur niet geteekend) Den afstand tusschen twee punten waardoor gelijke en in gelijke richting gaande stroomhoeveelheden loopen noemen we weer de golflengte (λ) van de trilling. Zoo is bijv. in fig. 81c de afstand tusschen P_1 en $P_2 = \lambda$. (P_1 en P_2 zijn twee stroommaxima)

Gaan we nu eens even aan de hand van het bovenstaande na, waarvan het optreden van resonantie afhankelijk is. Drie factoren beheerschen de verwezenlijking hiervan, n.l. de af te leggen weg (m.a.w. de antennelengte) en de voortplantingssnelheid der evenwichtsverstoringen, benevens de snelheid waarmee de trillingen elkaar opvolgen. (= de frequentie) Aangezien de voortplantingssnelheid steeds gelijk blijft, volgt hieruit, dat bij een bepaalde frequentie de draad slechts bepaalde lengten kan bezitten, wil resonantie optreden. Theoretisch zou volgens fig. 81 de draadlengte der antenne dus een geheel aantal halve golflengten lang moeten zijn. In de practijk blijkt dat deze lengte te groot is, en wel om twee redenen. Ten eerste verlaagt de capaciteit van de antenne t.o.v. de aarde de eigenfrequentie, en verder is de voortplantingssnelheid der evenwichtsverstoringen in den antennedraad kleiner dan in den aether, zoodat volgens de formule $V = n \cdot \lambda$ ook de golflengte kleiner zal zijn. Hoewel het feit dat de capaciteit t.o.v. de omringende massa's bij verschillende antennes nooit gelijk zal zijn, het onmogelijk maakt om de juiste antennelengte met groote nauwkeurigheid van te voren te berekenen, is bij benadering als gemiddelde van diverse metingen aan amateurantennes gevonden, dat

$$l = \frac{a \cdot 71323}{\text{gewenschte frequentie in kiloHerz}}$$

waarin l = de lengte van den draad in meters en a het aantal kwartgolven aangeeft.

Dit geldt uitsluitend voor eendraadsantennes. Hoewel het vroeger algemeen gebruik was om meendraadige zendantennes te gebruiken, zijn we hiervan teruggekomen om de eenvoudige reden, dat gebleken is, dat bij de door ons gebruikte hoge frequenties de bereikte resultaten met eendraadsantennes bijna even goed genoemd konden worden, terwijl de verschijnselen bij meendraadsantennes meestal zóó ingewikkeld waren, dat aan de eenvoudige eendraadsstralers verreweg de voorkeur diende gegeven te worden wegens gemakkelijker opbouw en afregeling. Bij antennes is het een eerste vereischte, dat we precies weten hoe de stroomverdeling is; vandaar de afscheffing van aardleidingen als onderdeel van stralende systemen, van meendraadsantennes, kippengas-tegencapaciteiten en meer van dat fraais. We teekenen dus eenvoudig op papier de stroomverdeling zooals wij die wenschen en berekenen dan met behulp van ons formuleetje de benodigde draadlengte, waarbij, zooals we uit fig. 81 zien, a steeds een geheel en geen getal moet zijn. Willen we dus bijv. een straler voor een frequentie van 7100 kHz (kiloHerz) (overeenkomende met een golflengte van 42,2 m) aanstooten in de tweede harmonische (uit fig. 81b volgt dat $a = 4$), dan moet de draadlengte zijn: $\frac{4 \cdot 71323}{7100} = 40,18$ m.

Het voorgaande verschaft ons de noodige gegevens om voor een bepaalde frequentie een resonerende antenne te bouwen. Thans dient de vraag te worden overwogen hoe de door den zender geproduceerde trillingen aan de antenne moeten worden overgedragen, m.a.w. hoe de antenne moet worden gevoed. We hebben gezien dat wanneer onze straler in resonantie is, er op bepaalde plaatsen stroommaxima en stroomminima optreden. Daar waar de stroom nul is, zijn de spanningswisselingen maximum, en omgekeerd, dus een stroommaximum of stroombuik is tevens een spanningsminimum of spanningsknoop, en een stroomminimum of stroomknoop is tevens omgekeerd een spanningsmaximum of spanningsbuik. We kunnen onzen straler nu op twee manieren voeden, n.l. door hem aan te stooten in een stroombuik, of wel in een spanningsbuik. In het eerste geval spreken we van stroomvoeding, in het tweede geval van spanningsvoeding. Bij het geval van fig. 81a kan de antenne op stroom gevoed worden in D, of op spanning in A of B. Voor fig. 81b is stroomvoeding mogelijk in C of E, spanningsvoeding in A, D of B, enz.

Benigszins vooruitlopend op het onmiddellijk hierna behandelde moet hier worden opgemerkt, dat stroomvoeding neerkomt op een magnetische koppeling van twee kringen terwijl spanningsvoeding neerkomt op een capacatieve koppeling hiervan. In ieder geval dient de koppeling indirect te zijn. (zie bepalingen amateur-zendmachtiging art. 10 sub. 1)

Opmerking: Een zeer veelvuldig gemaakte fout is nog deze: vaak denkt men zich aan het vrije einde van een zendantenne een stroombuik (spanningsminimum) Dit is vol-

komen onmogelijk; steeds zal aan een vrij einde een spanningsbuik (-maximum) en dus een stroomknoop (-minimum) optreden.

Hoewel het buiten het bestek van dit werkje zou vallen, nader uit te weiden over verschillende soorten zendantennes, moet hier toch nog op één ding gewezen worden. De moeilijkheid doet zich n.l. vaak voor, dat terwijl de zendantenne, om effectief te zijn zoo hoog en vrij mogelijk moet zijn opgehangen, de zender zich dicht bij den grond bevindt. We kunnen nu natuurlijk een deel van den straler schuin naar beneden laten loopen, maar meestal komen we dan dicht bij muren, dakgoten, afvoerpijpen en andere ongewenschte voorwerpen, die een aanslag plegen op het effect van onze zendantenne. Vandaar het gebruik van diverse voedingsdraad-stelsels, welke meestal bestaan uit twee onderling evenwijdig gespannen draden op een niet te grooten afstand van elkaar. (6 - 60 cm) De bedoeling is dat op overeenkomstige punten van de voedingslijnen gelijke, doch tegengestelde stroomen loopen. De electromagnetische velden welke zich ten gevolge van deze stroomen om de draden bevinden, heffen elkaars werking dan na-genoeg op, waardoor het mogelijk wordt deze voedingslijnen ongestraft vrij dicht langs muren en gelsiders te voeren. Veelal is zulk een antenne met voedingslijnen te beschouwen als een gewone rechte straler welke voor een gedeelte is dubbelgevouwen. Zoo kan men zich bijv. de antenne van fig.82, een z.g. dipol, ontstaan denken door omvouwning van fig. 81c.

Wat bij dergelijke periodische voedingsstelsels, die feitelijk een deel van den straler vormen, de juiste lengte betreft, deze zal kleiner zijn dan uit het boven gegeven formuleetje zou volgen ten gevolge van den onderlingen invloed dien zij op elkaar uitoefenen. Het principe van stroom- en spanningsverdeeling blijft evenwel onverminderd gehandhaafd.

Voor verdere bijzonderheden omtrent verschillende antenne-types verwijzen we naar Radio-Expres 1928 no's 12 e.v. en 1929 no's 7 en 8.

....

Koppeling van trillingskringen

Uit de praktijk kennen we allen wel een of meer voorbeelden van koppeling tusschen twee kringen, bijv. de koppeling van een antenne met een ontvanger, enz. We onderscheiden de volgende koppelingsmogelijkheden:

- a indirect { 1 inductief (door magnetische krachtlijnen) zie fig.83.
 2 capacitief (door elektrische krachtlijnen) zie fig.84

Opm. Deze indirecte capacitieve koppeling is feitelijk nog iets anders dan een gewone koppeling.

- b direct of galvanisch { 1 magnetisch (zelfinductie gemeen) zie fig. 85.
 2 capacitief (condensator gemeen) zie fig. 86.
 3 weerstandskoppeling (weerstand gemeen) zie fig.87.

Opm. Indirecte weerstandskoppeling is afbestaanbaar.

De koppeling tusschen twee kringen wordt dus direct of galvanisch genoemd wanneer deze kringen een gemeenschappelijke L, C of R hebben en gelidend met elkaar verbonden zijn. (zie in verband hiermede art.10 sub.1 der amateur-zendmaatschappij.)

We zullen nu achtereenvolgens de verschillende koppelmethoden bespreken.

De indirecte magnetische koppeling. (zie fig.83)

We denken ons de kringen I en II afgestemd op dezelfde resonantiefrequentie. Verkeert de electriciteit in I in trilling, dan zal door L_1 een wisselstroom van n_{res} perioden per seconde vloeien en bevindt zich om L_1 dus een electromagnetisch wisselveld.

Gaat nu een deel van de krachtlijnen van L_1 door L_2 , dan zal bij elke verandering van de sterkte van het veld van L_1 in L_2 een tegenspanning geïnduceerd worden, geheel overeenkomstig het vroeger behandelde. Het gevolg hiervan is, dat kring II wordt aangestooten; m.a.w. de electriciteit in II gaat meeslingeren. (L_1 en L_2 vormen samen een hoogfrequent-transformator.)

Aangezien door L_2 een inductiestroom gaat vloeien, zal kring II weer op kring I gaan teruginduceeren. In kring I zal dus een inductiestroom gaan vloeien, welke juist in tegenfase is met de oorspronkelijke stroom in dien kring. Die twee stroomen zullen elkaar dus tegenwerken. Koppeling tusschen twee kringen geeft dus toename van demping ten gevolge. Hoe losser de koppeling tusschen I en II is, hoe minder beide kringen elkaar beïnvloeden. Bij losse koppeling is de toename van de demping klein. Bij vaste koppeling is de demping zeer groot.

Bij zeer vaste koppeling krijgen we te maken met een eigenaardig verschijnsel, n.l. het optreden van z.g. koppelgolven. Dit verschijnsel is het volgende: Stel kring II heeft een resonantiefrequentie van n_{res} Herz. Kring I is verbonden met een generator, dus de electriciteit in I verkeert in trilling. Bij het draaien aan C_1 zal er bij losse koppeling één stand gevonden worden, waarbij kring II maximum-energie opneemt. Beide kringen zijn dan op dezelfde resonantiefrequentie afgestemd. (zie fig.89, kromme

me A) Bij zeer vaste koppeling echter zal kring II maximum-energie opnemen op twee verschillende frequenties, welke iets van de resonantiefrequentie verschillen. (zie fig.89 kromme B) In de praktijk mogen we het nooit zóó ver laten komen. Theoretisch treden koppelgolven altijd op, ook bij losse koppeling. Hoe losser de koppeling evenwel is, hoe dichter de twee toppen tot elkaar naderen, om tenslotte geheel samen te vallen.

Het optreden van koppelgolven manifesteert zich in ontvangers doordat we bij het passeren van het gebied tusschen a en b een klik hooren en we de draaggolf van een binnen dat bereik gelogen zonder niet kunnen hoorbaar maken. We slaan daar als het ware over heen. Ook bij te vaste koppeling van een zender met de antenne treedt het op, en is dan te zien aan het verloop van den antennestroom. (kromme met inzinking, zooals B in fig.89)

De indirecte capacitieve koppeling (fig.84) bestaat min of meer tusschen alle geleidende toestelonderdeelen (denk aan de definitie van een condensator) en kan soms zeer ongewenschte gevolgen hebben, vooral bij hoge frequenties, waarbij immers de door een condensator geboden wisselstroomweerstand klein is.

Voorbeeld van een gewenschte capacitieve koppeling is de zeefkring de Rop. (fig.90) Door kring I vloeien alle door de antenne aangevoerde trillingen naar aarde af, behalve die trilling, waarvoor I in resonantie is. Kring II ontvangt via het kleine condensatortje C_3 dus alleen die spanningen welke wij wenschen te ontvangen. Door deze losse koppeling met de antenne is kring II dempingsvrijer en dus selectiever, dan bij rechtstreeksche aansluiting op de antenne.

Voorbeeld van een ongewenschte capacitieve koppeling: In fig.91 is geteekend een hoogfrequentversterker met afgestemde rooster- en plaatkringen. Deze beide kringen zijn capacitief met elkaar gekoppeld door de capaciteit tusschen rooster en plaat der lamp. Bij gelijke afstemming van beide kringen kan hierdoor zelfgenereeren optreden. Hierop berust de werking van den nader te bespreken "tuned plate - tuned grid" zender. Om dit zelfgenereeren te voorkomen gaat men de lamp neutrodyniseeren. D.w.z. door het aanbrengen van een even groote tegenkoppeling heft men de uitwerking van deze parasitaire lampcapaciteit op. Dit kan op verschillende manieren gebeuren mits men maar zorgt dat langs den een of anderen weg een even groote tegenspanning wordt aangebracht. In fig.92 is dit bereikt door gebruik te maken van het feit dat de spanning aan b gelijk en tegengesteld is aan die bij a. De neutrodyncondensator C_N moet dan gelijk zijn aan de gestippeld geteckende rooster-plaatcapaciteit. Hetzelfde effect is in fig. 93 bereikt door aftapping van tegenspanning van den roosterkring. Ook tapt men de tegenspanning vaak af van een verlenging van een der spoelen.

Indien men de capacitieve koppeling tusschen twee spoelen wil opheffen, kan men er bijv. een geaard scherm tusschen plaatsen. Zooals fig.94 toont, blijft dan de magnetische koppeling nog bestaan. Dit is soms een goede methode om het uitzenden van harmonische trillingen door een zendantenne te voorkomen, daar deze vaak wegens ongewenschte capacitieve koppelingen in de antenne terechtkomen.

De directe (galvanische) magnetische koppeling (fig.85) kan men zich uit de inductieve koppeling ontstaan denken door geheele of gedeeltelijke samensmelting der beide spoelen. Men treft hier hetzelfde verschil aan als bestaat tusschen een transformator met gescheiden windingen en een autotransformator.

De directe capacitieve koppeling wordt zelden toegepast en zal hier niet nader worden besproken.

Bij weerstandskoppeling (fig.87) maakt men gebruik van den spanningsval aan R, welke optreedt wanneer door kring I stroom vloeit. Dit spanningsverschil toch wordt aangelegd tusschen C_2 en L_2 ; kring II wordt dus door kring I aangestooten (geëxiteerd) en zal gaan meetrillen. Aangezien de aanwezigheid van een weerstand in trillingsketens schadelijk werkt op de damping, wordt deze koppelmethode nimmer toegepast.

Voorbeelden.

1 De antenne van fig.82 wordt met behulp van de bij D opgenomen spoel inductief gekoppeld met de plaatspoel van den zender. De stroomverdeling over de antenne moet ergo zoodanig zijn dat bij D een stroommaximum aanwezig is. Dit is dus een geval van stroomvoeding.

2 De antenne AB van fig.95 wordt met behulp van een condensator C capacitief gekoppeld met den plaatkring van den zender. Hier hebben we een geval van spanningsvoeding. De hoge spanningen die bij een afgestemden kring tusschen a en b optreden worden door C op de antenne overgedragen.

Zichien Tot slot zullen we nog bespreken een ander verschijnsel wat zich voordoet bij gekoppelde kringen, n.l. het z.g. zichien. Vertaald zou men hiervoor "meetrekken" kunnen zeggen. Zijn n.l. twee kringen op dezelfde resonantiefrequentie afgestemd en draaien we aan den condensator van een der beide afgestemde kringen, dan zou zich de resonantiefrequentie van dien kring moeten wijzigen, terwijl die van den anderen kring, dien we

onveranderd gelaten hebben, gelijk zou moeten blijven. Er gebeurt evenwel iets anders. De twee kringen sleepen elkaar n.l. min of meer mee, zoodat beide bij niet te groot verschil dezelfde afstemming blijven behouden. Deze afstemming ligt dan tusschen de afstemming, die elk der kringen afzonderlijk zou hebben, wanneer ze niet met elkaar gekoppeld waren. Wordt het verschil in resonantiefrequentie tusschen beide kringen te groot, dan "laten ze elkaar los". Zieken treedt dus alleen op, wanneer we te maken hebben met twee afgestemde kringen, welke met elkaar gekoppeld zijn, en die nagenoeg gelijke resonantiefrequenties hebben.

— . . . —

Drie-electrodenlampen (triodes)

Dit soort lampen bezit evenals de reeds eerder besproken diodes, een gloeidraad en een plaat, waartusschen als derde electrode een rooster is aangebracht. Door middel van een anodebatterij B (fig. 96) wordt de plaat op een positieve potentiaal gebracht ten opzichte van den gloeidraad. De gloeidraad wordt door middel van stroombron A verhit en zendt dan electronen uit, (Edison-effect) welke door de positieve plaat worden aangetrokken. Op hun weg van gloeidraad naar plaat passeeren zij het rooster. Door middel van batterij C maken we het rooster negatief ten opzichte van den gloeidraad. De van den gloeidraad komende electronen (zijn immers negatief geladen) worden door dit negatieve rooster afgestooten, (wet van Coulomb) waardoor per tijdseenheid minder electronen de plaat bereiken dan wanneer het rooster geen lading had. Maken we het rooster positief, dan trekt het juist de electronen aan. In dit geval zal een deel der electronen op het rooster vallen, doch het grootste deel zal door de mazen van het rooster heenschieten en op de plaat vallen. Thans zullen per tijdseenheid méér electronen de plaat bereiken dan wanneer het rooster geen lading had. De electronen die op het positief geladen rooster vallen, neutraliseeren daar een deel der positieve lading, welke vanuit batterij C weer wordt aangevuld. Er gaat dan dus roosterstroom loopen, evenals er ten gevolge van neutraliseeren van een deel der plaatlading plaatstroom gaat loopen. Wanneer er roosterstroom loopt, is dit een teken dat het rooster een positieve lading heeft t.o.v. den gloeidraad; wanneer het rooster negatief is, vallen er géén electronen op, aangezien deze dan juist worden afgestooten. Noteeren we nu de grootte van den plaatstroom bij verschillende roosterspanningen, dan kunnen we hieruit een z.g. statische lampkarakteristiek of kortstijl-karakteristiek samenstellen, waarvan fig. 97 een voorbeeld geeft. Op de horizontale as zijn de verschillende roosterspanningen (E_g) uitgezet, op de verticale as de bijbehorende stroomsterkten. (I_a) Zoo zien we dat bij 1 Volt negatieve roosterspanning een plaatstroom zal loopen van iets minder dan 4 mA. Verhooging van de plaatspanning zal vergroting van den plaatstroom ten gevolge hebben. Bij een lampkarakteristiek staat dan ook steeds aangegeven bij welke plaatspanning de kromme is opgenomen. Meestal zijn meerdere krommen geteekend voor verschillende plaatspanningen. Zoowel door verandering van de rooster- als van de plaatspanning kan men dus den plaatstroom variëren. De roosterspanning heeft echter een veel groteren invloed dan de plaatspanning. Men spreekt in dit verband wel van een stuurspanning, waaronder dan verstaan wordt de resulteerende waarde van rooster- en plaatspanning, uitgedrukt als roosterspanning, die de waarde van plaatstroom bepaalt.

De roosterspanning heeft op plaatstroomvariatiën een veel groteren invloed dan de plaatspanning. Men noemt nu de verhouding tusschen rooster- en plaatspanningsverandering welke beide eenzelfde plaatstroomverandering geven, de versterkingsfactor van een lamp. Stel bijv. dat een roosterspanningsverandering van 1 Volt een even groote plaatstroomverandering ten gevolge heeft als een plaatspanningsverandering van 13 Volt, dan is de versterkingsfactor van die lamp $\frac{13}{1} = 13$. In Nederlandsche publicaties wordt de versterkingsfactor meestal met de letter g , in Duitse met de letter K en in Engelse en Amerikaanse met de letter μ (mu) aangeduid en is dus, populair uitgedrukt, het getal dat aangeeft hoeveel maal het rooster méér invloed heeft op den plaatstroom dan de plaat.

Opn. In Duitse radiolitteratuur treft men nog al eens aan het begrip "Durchgriff", afgekort: D. De Durchgriff is het omgekeerde van de versterkingsfactor. Is de Durchgriff dus bijv. 12,5%, dan is $g = \frac{100}{12,5} = 8$.

Uit deze populaire omschrijving van de betekenis van de versterkingsfactor blijkt dat de stuurspanning dus is: $E_g + \frac{1}{g} E_a$, waarbij E_g de rooster- en E_a de plaatspanning is.

In fig. 97 zijn tevens eenige belangrijke punten aangegeven van de lampkarakteristiek. A is het afknijppunt. De negatieve roosterspanning is hier zoo groot geworden, dat geen enkel electron meer langs het sterk afstootende rooster kan passeeren: de plaatstroom is dus nul. De lamp is dan af- of dichtgeknepen. BD is het rechte deel van de karakteristiek links van de nullijn. Het zal duidelijk zijn, dat hier onder de nullijn wordt verstaan de verticale lijn OB, die door nul-roosterspanning loopt.

Tusschen AD en bij C liggen resp. de onderste- en bovenste bocht der karakteristiek. Rechts van C neemt de plaatstroom niet meer toe: het rooster is dan zoo sterk positief dat alle door den gloeidraad uitgestooten electronen door rooster en plaat worden opgevangen. OE is dus de verzadigingsstroom (I_p) bij de gegeven plaatspanning van 80 Volt. OA noemt men de roosterruimte. Deze is als volgt te berekenen: Waar hierboven is aangegeven dat de stuurspanning $= E_g + \frac{1}{g} E_a$ en deze bij het afknijppunt

A, waar $I_a = 0$, nul moet zijn ($E_{gA} + \frac{1}{g} E_a = 0$) is de roosterruimte E_{gA} (ook wel af-

knijpspanning genoemd) te vinden, als g en E_g bekend zijn. Bijvoorbeeld: van een lamp is de versterkingsfactor $g = 13$, terwijl $E_g = 80$ Volt, dan is de afknijpspanning: $0 = E_{gA} + \frac{80}{13}$ of $E_{gA} = -6$ Volt.

Bezien we nu eens ^{Wanneer we} batterij C uit fig. 98 vervangen door een wisselstroombron. De potentiaal van het rooster ten opzichte van den gloeidraad wisselt dan voortdurend, netgeen een overeenkomstige plaatstroomvariatie zal ten gevolge hebben. In fig. 98 is dit uitgebeeld. We zien dat de positieve halve periode van het rooster een kleinere plaatstroomvermeerdering ten gevolge heeft dan de plaatstroomvermindering welke optreedt ten gevolge van de negatieve halve periode. Een dergelijke vervorming is het gevolg van het feit dat gedurende de positieve halve periode roosterstroom gaat lopen, waardoor een deel van de aangevoerde positieve wisselspanning vernietigd wordt.

Opm. Niet altijd begint precies bij een roosterspanning van 0 Volt roosterstroom te lopen. Bij sommige lampsoorten (Wolfram en Thorium gloeidraden) treedt dit verschijnsel reeds op bij -2 tot -1 Volt, bij andere (oxydgloeidraden) eerst bij +1 tot +2 Volt.

Wil men vervorming vermijden, dan moet men dus het optreden van roosterstromen voorkomen door het aanleggen van een vaste negatieve roosterspanning. (E_g in fig. 99) De Duitscher spreekt dan ook van Gittervorspannung. Is deze te groot, dan treedt toch weer vervorming op. (fig. 99) Reeds bij de kleine wisselspanning (getrokken lijn) treedt zij op ten gevolge van het feit dat de karakteristiek onderaan gekromd is. Bij de, gestippeld geteekende, grootere wisselspanning is zij nog veel sterker. Tusschen a en b is de lamp zelfs geheel dichtgeslagen, zoodat er tusschen a' en b' geen plaatstroom loopt. VERVORMING IS DERHALVE SLECHTS TE VERMIJDEN, ZO LANG MEN WERKT BINNEN HET RECHTE DEEL DER LAMPKARAKTERISTIEK. Wanneer in fig. 100 c het rechte deel van de karakteristiek is, hoe groot moet dan de negatieve roosterspanning zijn voor onvervormde weergave van aan het rooster toegevoerde trillingen? Uit de fig. is gemakkelijk in te zien dat men, om deze waarde te vinden, c middendoor moet deelen. Wanneer nu A het midden van c is, is de gevraagde roosterspanning $= OB$. $BC = OB$ is dan tevens de maximaal toelaatbare amplitude welke nog onvervormd kan worden weergegeven. Is nu van de lamp de roosterspanning inderdaad OB Volts, dan is A het werkpunt. Dit werkpunt wordt dus bepaald door de aangelegde roosterspanning en de gezegde anodespanning. $AB = A'O$ is dan de z.g. ruststroom. Wanneer geen trillingen aan het rooster worden toegevoerd wijst een stroommeter in den plaatkring dus aan, hoe groot de ruststroom is. Wat zal er nu gebeuren als aan het rooster trillingen worden toegevoerd met amplitudes, die binnen OB ($= BC$) blijven? Het eene oogenblik zal dan wat meer plaatstroom vloeien, doch het volgend oogenblik even veel minder. Gemiddeld zal dus even veel stroom blijven lopen, dus een draaispoelmeter zal precies hetzelfde bedrag blijven aanwijzen. Is dat niet het geval, dan wijst dit op vervorming. Dit is dus een eenvoudige en handige methode om te controleren of vervorming optreedt. Het voorgaande is van toepassing op laagfrequentversterkers. De te versterken trillingen (muziek, spraak, etc.) worden aan het rooster van de lamp toegevoerd. Dezelfde trillingen treft men dan, versterkt, in den plaatkring aan, mits de lamp vervormingsvrij werkt, waarvoor aan de bij fig. 100 besproken voorwaarden moet worden voldaan. Het is eigenaardig dat het menschelijk oor veel gauwer vervorming opmerkt welke het gevolg is van het optreden van roosterstroom (fig. 98) dan die welke het gevolg is van de in fig. 99 geschetste vervormingen. Vandaar dat men wel eens ruwweg de karakteristiek vanaf het afknijppunt tot de nullijn als recht aanneemt, omdat de vervorming ten gevolge van de onderste bocht zoo weinig opvallend is. De vereischte roosterspanning OB (fig. 100) wordt dan dus $=$ de halve roosterruimte. Trouwens, we zullen later zien, dat we in het algemeen toch niet werken met statische karakteristieken, (zie verderop bij dynamische karakteristiek) zoodat de bepaling van het werkpunt dient te geschieden op grond van nog andere overwegingen.

Een toepassing van het voorgaande is de topvoltmeter. Dit soort voltmeter bestaat uit een triode, geschakeld volgens fig. 101. De te meten wisselspanning wordt aangesloten tusschen de klemmen K_1 en K_2 . Stel, tusschen K_1 en K_2 is geen wisselspanning aanwezig, (kortsluiten) dan zal een zekere negatieve roosterspanning noodig zijn

Tusschen AD en bij C liggen resp. de onderste- en bovenste bocht der karakteristiek. Rechts van C neemt de plaatstroom niet meer toe: het rooster is dan zoo sterk positief dat alle door den gloeidraad uitgestooten electronen door rooster en plaat worden opgevangen. OE is dus de verzadigingsstroom (I_a) bij de gegeven plaatspanning van 80 Volt. OA noemt men de roosterruimte. Deze is als volgt te berekenen: Waar hierboven is aangegeven dat de stuurspanning $= E_g + \frac{1}{g} E_a$ en deze bij het afknijppunt

A, waar $I_a = 0$, nul moet zijn ($E_{gA} + \frac{1}{g} E_a = 0$) is de roosterruimte E_{gA} (ook wel af-

knijpspanning genoemd) te vinden, als g en E_g bekend zijn. Bijvoorbeeld: van een lamp is de versterkingsfactor $g = 13$, terwijl $E_g = 80$ Volt, dan is de afknijpspanning: $0 = E_{gA} + \frac{80}{13}$ of $E_{gA} = \text{ca. } -6$ Volt.

Bezien we nu eens wanneer we batterij C uit fig. 98 vervangen door een wisselstroombron. De potentiaal van het rooster ten opzichte van den gloeidraad wisselt dan voortdurend, hetgeen een overeenkomstige plaatstroomvariatie zal ten gevolge hebben. In fig. 98 is dit uitgebeeld. We zien dat de positieve halve periode van het rooster een kleinere plaatstroomvermeerdering ten gevolge heeft dan de plaatstroomvermindering welke optreedt ten gevolge van de negatieve halve periode. Een dergelijke vervorming is het gevolg van het feit dat gedurende de positieve halve periode roosterstroom gaat lopen, waardoor een deel van de aangevoerde positieve wisselspanning vernietigd wordt.

Opm. Niet altijd begint precies bij een roosterspanning van 0 Volt roosterstroom te lopen. Bij sommige lampsoorten (Wolfram en Thorium gloeidraden) treedt dit verschijnsel reeds op bij -2 tot -1 Volt, bij andere (oxydgloeidraden) eerst bij $+1$ tot $+2$ Volt.

Wil men vervorming vermijden, dan moet men dus het optreden van roosterstroom voorkomen door het aanleggen van een vaste negatieve roosterspanning. (E_g in fig. 99) De Duitscher spreekt dan ook van Gittervorspannung. Is deze te groot, dan treedt toch weer vervorming op. (fig. 99) Reeds bij de kleine wisselspanning (getrokken lijn) treedt zij op ten gevolge van het feit dat de karakteristiek onderaan gekromd is. Bij de, gestippeld geteekende, grootere wisselspanning is zij nog veel sterker. Tusschen a en b is de lamp zelfs geheel dichtgeslagen, zoodat er tusschen a' en b' geen plaatstroom loopt. VERVORMING IS DERHALVE SLECHTS TE VERMIJDEN, ZO LANG MEN WERKT BINNEN HET RECHTE DEEL DER LAMPKARAKTERISTIEK. Wanneer in fig. 100 c het rechte deel van de karakteristiek is, hoe groot moet dan de negatieve roosterspanning zijn voor onvervormde weergave van aan het rooster toegevoerde trillingen? Uit de fig. is gemakkelijk in te zien dat men, om deze waarde te vinden, c middendoor moet deelen. Wanneer nu A het midden van c is, is de gevraagde roosterspanning $= OB$. $BC = OB$ is dan tevens de maximaal toelaatbare amplitude welke nog onvervormd kan worden weergegeven. Is nu van de lamp de roosterspanning inderdaad OB Volts, dan is A het werkpunt. Dit werkpunt wordt dus bepaald door de aangelegde roosterspanning en de gezegde anodespanning. $AB = A'O$ is dan de z.g. ruststroom. Wanneer geen trillingen aan het rooster worden toegevoerd wijst een stroommeter in den plaatkring dus aan, hoe groot de ruststroom is. Wat zal er nu gebeuren als aan het rooster trillingen worden toegevoerd met amplitudes, die binnen OB ($= BC$) blijven? Het eene oogenblik zal dan wat meer plaatstroom vloeien, doch het volgend oogenblik even veel minder. Gemiddeld zal dus even veel stroom blijven lopen, dus een draaispoelmeter zal precies hetzelfde bedrag blijven aanwijzen. Is dat niet het geval, dan wijst dit op vervorming. Dit is dus een eenvoudige en handige methode om te controleeren of vervorming optreedt. Het voorgaande is van toepassing op laagfrequentversterkers. De te versterken trillingen (muziek, spraak, etc.) worden aan het rooster van de lamp toegevoerd. Dezelfde trillingen treft men dan, versterkt, in den plaatkring aan, mits de lamp vervormingsvrij werkt, waarvoor aan de bij fig. 100 besproken voorwaarden moet worden voldaan. Het is eigenaardig dat het menschelijk oor veel gauwer vervorming opmerkt welke het gevolg is van het optreden van roosterstroom (fig. 98) dan die welke het gevolg is van de in fig. 99 geschetste vervormingen. Vandaar dat men wel eens ruwweg de karakteristiek vanaf het afknijppunt tot de nullijn als recht aanneemt, omdat de vervorming ten gevolge van de onderste bocht zoo weinig opvallend is. De vereischte roosterspanning OB (fig. 100) wordt dan dus $=$ de halve roosterruimte. Trouwens, we zullen later zien, dat we in het algemeen toch niet werken met statische karakteristieken, (zie verderop bij dynamische karakteristiek) zoodat de bepaling van het werkpunt dient te geschieden op grond van nog andere overwegingen. Een toepassing van het voorgaande is de topvoltmeter. Dit soort voltmeter bestaat uit een triode, geschakeld volgens fig. 101. De te meten wisselspanning wordt aangesloten tusschen de klemmen K_1 en K_2 . Stel, tusschen K_1 en K_2 is geen wisselspanning aanwezig, (kortsluiten) dan zal een zekere negatieve roosterspanning noodig zijn

om de lamp dicht te slaan. De grootte dezer spanning is op een Voltmeter (zie fig.) af te lezen. De in den plaatkring opgenomen zeer gevoelige milliampèremeter zal dan niet meer uitslaan. Legt men vervolgens een wisselspanning tusschen K_1 en K_2 aan, dan zal bijna elke positieve halve periode wel even plaatstroom vloeien. (zie fig. 102a) Men moet dan de negatieve roosterspanning van OA tot OB vergroeten om dit te voorkomen. (fig. 102b) De vergroeting AB van de negatieve roosterspanning welke hiertoe noodig is, is, zooals uit fig. 102 a en b duidelijk blijkt, gelijk aan de piekwaarde a van de toegevoerde wisselspanning. Zooals we vroeger reeds zagen is dan voor een sinusvormige wisselspanning de effectieve waarde $\frac{1}{\sqrt{2}} a$. Men heeft met deze methode het voordeel te werken met een Voltmeter welke geen stroom gebruikt en welke geschikt is voor alle frequenties. Voor laagfrequente wisselspanningen kunnen alleen dergelijke lamp-voltmeters worden gebruikt. Om de roosterspanning continu regelbaar te maken wordt het contact C meestal uitgevoerd als glijcontact over een, over de roosterspanningsbatterij aangebrachten potentiometer.

De steilheid. Wat men onder de steilheid van een gloeiing verstaat, zal iedereen bekend zijn. Evenzoo kunnen we spreken van de steilheid van een lampkarakteristiek. De steilheid S van de in fig. 103 geteekende karakteristiek is dus $\frac{\Delta I_a}{\Delta E_g} = 3 \text{ mA/V}$.

Voor het rechte karakteristiekdeel is S overal gelijk, doch het is duidelijk dat zijn in de bochten anders zal worden. Sprekend over "de steilheid" bedoelen we dan ook steeds de S voor het rechte deel. De steilheid is een maat voor de stroomversterking welke door een lamp geleverd kan worden, terwijl de versterkingsfactor een maat is voor de spanningsversterking.

De inwendige weerstand (R_i) De wet van Ohm leerde ons dat $I = \frac{E}{R}$ of $R = \frac{E}{I}$. Bij radio-lampen geldt deze wet ook, doch moet voor E worden gelezen het verschil ΔE tusschen twee aangelegde plaatspanningen en voor I het dienovereenkomstige verschil ΔI van de daarmee gepaard gaande plaatstromen, dus: $R_i = \frac{\Delta E}{\Delta I}$. (Denk eraan I uit te drukken in Ampères!)

Toepassing. Uit de in fig. 104 gegeven karakteristiek af te leiden de versterkingsfactor g, de steilheid S en den inwendigen weerstand R_i .

$$g = \frac{100 - 50}{4} = \frac{50}{4} = 12,5; S = \frac{6 - 4}{4 - 2} = 1 \text{ mA/V en } R_i = \frac{100 - 50}{0,008 - 0,004} = 12500 \text{ Ohm.}$$

Men had den inwendigen weerstand ook nog wel op een andere manier kunnen bepalen. Immers voor fig. 105 geldt:

$$g = \frac{\Delta I_a}{\Delta E_g} = \frac{V_{p2} - V_{p1}}{b}$$

en $S = \frac{\Delta I_a}{\Delta E_g}$, dus

$$R_i = \frac{\Delta E_g}{\Delta I_a} = \frac{V_{p2} - V_{p1}}{a} \text{ of } R_i = \frac{g}{S}$$

We moeten er evenwel aan denken dat S gewoonlijk is uitgedrukt in milliamp. per Volt zoodat dan:

$$R_i = \frac{1000 g}{S}$$

Tusschen de g, de S en de R_i van een lamp bestaat dus een vast verband; wanneer twee der grootheden gegeven zijn, is de derde te berekenen.

Voorbeeld. In fig. 104 was $g = 12,5$ en $S = 1 \text{ mA/V}$. dus $R_i = \frac{1000 \cdot 12,5}{1} = 12500 \text{ Ohm}$.

De lampvoltmeter. We hebben gezien dat $S =$ de plaatstroomverandering per Volt negatieve roosterspanningsverandering, of: $\Delta I_a = S \cdot \Delta E_g$. Hierop berust nu het principe van den lampvoltmeter. (fig. 105) De te meten gelijkspanning E wordt aangesloten tusschen de platen K_1 en K_2 . De spanningsval over R_2 wordt aangelegd als negatieve roostersp. (dus bij E_g moet de positieve pool van de te meten gelijkspanning worden aangesloten) Deze spanning E_g is gelijk aan $\frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot E$. Laten we nu eerst sleutel S1 open en no-

teeren we den plaatstroom welke dan vloeit. Druk nu den sleutel neer, dan zal de plaatstroom afnemen omdat het rooster negatief wordt. Wanneer deze afname ΔI_a dan is dus de spanningsval aan R_2 gelijk aan $\Delta E_g = \frac{\Delta I_a}{S}$, of, aangezien in dit geval $\Delta E_g = E_g - 0$:

$$E_g = \frac{\Delta I_a}{S}, \text{ en is dus E te berekenen. De waarden}$$

van R_1 en R_2 moeten natuurlijk bekend zijn. Omgekeerd kan men, als E en een der beide weerstanden bekend zijn, den tweeden weerstand berekenen.

Voorbeeld. Stel $E = 9 \text{ V}$ en $R_2 = 0,5 \text{ Megohm}$. Als de plaatstroomverandering $\Delta I_a = 5 \text{ mA}$ terwijl de steilheid van de lamp 2 mA/V is, dan is $E_g = \frac{\Delta I_a}{S} = \frac{5}{2}$

$$= 2,5 \text{ Volt en volgt de grootte van } R_1 \text{ uit: } E_g = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot E, \text{ dus}$$

$$\frac{2,5}{9} = \frac{500000}{R_1 + 500000} \cdot 9$$

$$\text{of } R_1 = \frac{500000}{1\frac{1}{2}} \cdot 9 = 500000 = 2500000 = 2,5 \text{ Megohm.}$$

De lampvoltmeter kan dus gebruikt worden voor het meten van gelijkspanningen, doch is tevens een uitermate geschikt instrument voor het meten van zeer hoge weerstanden.

Opm. In de figuren 101 en 105 is de gloeidraadvoeding niet geteekend. Dit wordt wel meer gedaan om schema's niet noodeloos ingewikkeld te maken.

Resumeerende: Bij een triode heeft men steeds te maken met drie kringen, die in elk schema moeten voorkomen, n.l.;

de gloeidraadkring
de roosterkring
de plaatkring.

De gloeidraadkring bestaat uit den gloeidraad, welke verbonden is met een stroombron, terwijl al of niet een regelweerstand is opgenomen. (fig.106) De stroombron kan zijn een batterij of accumulator, een gelijkstroomagregaat, bestaande uit een transformator die wisselspanning levert, een gelijkrichter (kuprox) welke deze spanning gelijkricht en een afvlakfilter, of een transformator zonder meer. Wisselstroomvoeding kan alleen worden toegepast bij dikke gloeidraden of bij indirect emitteerende lampen. Immers de door de wisselspanning veroorzaakte stroomsterkte door den gloeidraad verandert ieder oogenblik van sterkte, zoodat van een dunnen gloeidraad de temperatuur niet constant zal blijven, hetgeen aanleiding geeft tot brommen door onregelmatige elektronenemissie, aangezien het aantal per tijdseenheid uitgestooten elektronen verband houdt met de gloeidraadtemperatuur. Bij indirect verhitte lampen wordt een om den gloeidraad aangebracht kokertje verhit, zoodat dit kokertje elektronen gaat uitzenden. De eigenlijke gloeidraad wordt dan alleen met den gloeistroomtransformator verbonden, terwijl de 5de pen, welke verbonden is met de kathode (het kokertje) verbonden wordt met rooster- en plaatketen.

Bij gelijkstroom-gloeidraadvoeding kunnen we den rooster- en plaatkring zonder bezwaar verbinden aan één zijde van den gloeidraad. De gloeidraad wordt dan evenwel ongelijkmatig belast. Wanneer bijv. een accumulator van 4 Volt als gloeistroombron dienst doet, is het eene uiteinde ten opzichte van midden-gloeidraad 2 V negatief; het andere 2 V positief. Het potentiaalverschil tusschen rooster of plaat enerzijds en den gloeidraad anderzijds is dus ten opzichte van het eene einde van den gloeidraad hoger dan t.o.v. het andere. Bij ontvanglampen bekommeren we ons daar weinig om, doch bij zendlampen wordt, om dit te voorkomen, meestal een in het midden afgetakte weerstand aangebracht. Rooster- en plaatketen worden aan de middenaftakking verbonden. (fig.107) Men dient dus wel te bedenken, dat wanneer men geen middenaftakking ("midtap") gebruikt, men bij verbinding van het rooster met min- of plus gloeidraad reeds een roosterspanning van resp. - en $+ \frac{1}{2} E_g$ aanlegt, wanneer de gloeispanning E_g is. Hieruit volgt dan onmiddellijk dat bij wisselstroom-gloeidraadvoeding een middenaftakking noodzakelijk is, aangezien anders de roosterspanning van moment tot moment verandert. Inplaats van een weerstand met middenaftakking benut men in dit laatste geval ook wel een middenaftakking op de transformatorwikkeling. Een gloeistroomweerstand kan dan evenwel niet gebruikt worden, aangezien de middenaftakking dan niet meer het elektrische midden is, tenzij men in beide gloeidraadleidingen even groote weerstanden aanbrengt. Bij zenders overbrugt men meestal de beide gloeidraadhelften door condensatoren, zooals in fig.107 gestippeld is aangegeven, als brug voor hoogfrequente stroomen. Wil men de gloeispanning meten, dan dient de meter tusschen de punten A en B, dus vlak aan de pennen van de lamp, aangebracht te worden.

De roosterkring. Tot den roosterkring behooren steeds middelen welke ervoor te zorgen hebben dat de juiste spanning aan het rooster wordt aangelegd. Bij lampen welke een zoodanige functie hebben dat geen roosterstroom mag loopen, zooals o.a. bij laagfrequentversterkers, wordt te dien einde een roosterspanningsbatterij gebruikt, zooals is aangegeven in fig.101. Ook maakt men wel gebruik van den spanningsafval over een weerstand, welke door den plaatstroom veroorzaakt wordt. (fig.108) Tusschen K_1 en K_2 (fig.101 en 108) worden de door de lamp te verwerken spanningen aangesloten. De in fig.108 weergegeven schakeling treft men veelvuldig aan bij plaatstroomapparaten welke tevens aftakkingen voor afname van roosterspanning bezitten. ("trekstaaf"-principe) Wanneer de lamp wel roosterstroom trekt, kunnen we gebruik maken van den spanningsafval, door dezen stroom over een weerstand veroorzaakt. In het hierna volgende (detector, generator, versterker) zullen we de verschillende roosterketenvormen nader leeren kennen.

De plaatkring. Deze kring moet steeds een geleidende (galvanische) verbinding van gloeidraad naar plaat bevatten, waarin een spanningsbron is opgenomen, teneinde het optreden van plaatstroom mogelijk te doen zijn. Ook over dezen kring later meer.

Het parallel schakelen van radiolampen.

Wanneer men twee ongeveer gelijke lampen parallel schakelt, wordt de steilheid gelijk aan de som van beide steilheden, dus $S = S_1 + S_2$. (Bij gelijke lampen is natuurlijk $S_1 = S_2$)

De kenndige weerstand is te berekenen op de in Hoofdstuk II pag.8 bij parallelschakelen van weerstanden besproken wijze, dus:

$$\frac{1}{R_i} = \frac{1}{R_{i1}} + \frac{1}{R_{i2}}$$

of $R_i = \frac{R_{i1} \cdot R_{i2}}{R_{i1} + R_{i2}}$

De nieuwe versterkingsfactor volgt uit de formule $R_i = \frac{1000 \cdot g}{S}$ of $g = \frac{R_i \cdot S}{1000}$.

Com. Indien een lamp, welke als laagfrequentversterker werkt, overbelast is omdat de roosterruimte te klein is, dan moet men niet, om deze overbelasting te ontgaan, een gelijke lamp parallel schakelen aan de eerste. Immers bij gelijke lampen is $g = \frac{R_i \cdot S}{1000}$.

R_i is half zoo groot als van iedere lamp afzonderlijk, doch S is twee maal zoo groot geworden, dus g blijft gelijk, dus ook $\frac{E_a}{g}$ is constant.

De roosterruimte was: $E_g = 0 - \frac{E_a}{g}$ en blijft dus precies gelijk. Het eenigste remedie is dus, de lamp te vervangen door een met een grootere roosterruimte, of wel bij de gebruikte lamp de anode- en neg. roosterspanning op te voeren, indien de lamp dit kan verdragen.

Het parallelschakelen van zendlampen geeft bij hoge frequenties soms aanleiding tot gecompliceerde onaangenaamheden wegens het optreden van parasitaire trillingen en is derhalve over het algemeen niet aan te bevelen.

De zout

Versaaid luidt dit woord "instep". We verstaan eronder het plaatvermogen wat door een lamp wordt opgenomen, welke energie we uitdrukken in Watts.

Toepassing: Een zendlamp trekt een plaatsstroom van 40 mA ($\approx 0,040$ A) bij een plaatspanning van 400 Volts. De input is dan $400 \cdot 0,040 = 16$ Watt.

Opz. Volgens art.7 sub.2 van de amateur-zendmachting is een maximum-input toegestaan van 50 Watt voor die zendlamp, welke de antenne rechtstreeks aansluit. Is de plaatspanning van deze lamp dus bijv. 500 V, dan mag de plaatsstroom niet hoger zijn dan 100 mA.

Anodedissipatie

Dit begrip staat in nauw verband tot het voorgaande. De van den gloeidraad komende electronen vallen met groote snelheid vallen op de plaat. Bij deze botsing komt een zekere hoeveelheid warmte vrij. De plaat van een lamp zal dus door het electronenbombardement verwarmt worden. Onder de anodedissipatie verstaat men nu dat gedeelte van de plaatenergie, dat ten gevolge van dit bombardement in warmte wordt omgezet. Bij zendlampen wordt steeds opgegeven de maximum-anodedissipatie. Dit is dan de maximale hoeveelheid energie welke aan de plaat in warmte mag worden omgezet zonder dat dit voor de lamp schadelijke gevolgen heeft. Van de, de lamp toegevoerde input zal dus een deel nuttig worden aangewend, (de z.g. output, vertaald: wat men eruit haalt) terwijl de rest in warmte wordt omgezet. Vanzelfsprekend komen we zoo weer op de kwestie van het rendement. Stel bijv. dat de input van een zendlamp, welke haar energie aan de antenne afgeeft, 50 Watt bedraagt. Bedraagt de output nu bijv. 35 Watt (zie fig.109) dan is het rendement $\frac{35}{50} =$

70%. Het verschil van in- en output bedraagt hier $50 - 35 = 15$ Watt en wordt dus aan de plaat in warmte omgezet. Dit bedrag van 15 Watt moet dus kleiner, of mag ten hoogste gelijk zijn aan de maximale anodedissipatie der lamp.

Com. Om te sterke verwarming van de plaat wordt deze roodgloeiend. Bij Philipslampen is de toelaatbare anodedissipatie dan in de meeste gevallen reeds verre overschreden. Bij andere fabrikaten mag de anode soms wel rood staan in bedrijf.

Een kwestie die hier nog naar voren komt is de z.g. secundaire emissie, waaronder men verstaat het verschijnsel dat de plaat ook electronen gaat uitzenden. Dit verschijnsel is een gevolg van het feit dat de van den gloeidraad met groote snelheid op de plaat vallende electronen andere electronen uit de plaat schieten.

Dynamische karakteristiek

Tot nu toe hebben we alleen maar gesproken over de statische karakteristiek van een lamp. Beschouwen we evenwel eens wat er zal gebeuren wanneer in den plaatkring een weerstand wordt opgenomen in den vorm van een transformator, sperkring of Ohmschen

Het parallel schakelen van radiolampen.

Wanneer men twee ongeveer gelijke lampen parallel schakelt, wordt de steilheid gelijk aan de som van beide steilheden, dus $S = S_1 + S_2$. (Bij gelijke lampen is natuurlijk $S_1 = S_2$)

De benodigde weerstand is te berekenen op de in Hoofdstuk II pag.8 bij parallelschakelen van weerstanden besproken wijze, dus:

$$\frac{1}{R_i} = \frac{1}{R_{i1}} + \frac{1}{R_{i2}}$$

of $R_i = \frac{R_{i1} \cdot R_{i2}}{R_{i1} + R_{i2}}$

De nieuwe versterkingsfactor volgt uit de formule $R_i = \frac{1000 \cdot g}{S}$ of $g = \frac{R_i \cdot S}{1000}$.

Opmerking: Indien een lamp, welke als laagfrequentversterker werkt, overbelast is omdat de roosterruimte te klein is, dan moet men niet, om deze overbelasting te ontgaan, een gelijke lamp parallel schakelen aan de eerste. Immers bij gelijke lampen is $g = \frac{R_i \cdot S}{1000}$.

R_i is half zoo groot als van iedere lamp afzonderlijk, doch S is twee maal zoo groot geworden, dus g blijft gelijk, dus ook $\frac{E_a}{g}$ is constant.

De roosterruimte was: $E_g = 0 - \frac{E_a}{g}$ en blijft dus precies gelijk. Het eenigste remedie is dus, de lamp te vervangen door een met een groter roosterruimte, of wel bij de gebruikte lamp de anode- en neg. roosterspanning op te voeren, indien de lamp dit kan verdragen.

Het parallelschakelen van zendlampen geeft bij hoge frequenties soms aanleiding tot gecompliceerde onaangenaarheden wegens het optreden van parasitaire trillingen en is derhalve over het algemeen niet aan te bevelen.

De input

Versaald luidt dit woord "input". We verstaan eronder het plaatvermogen wat door een lamp wordt opgenomen, welke energie we uitdrukken in Watts.

Toepassing: Een zendlamp trekt een plaatsstroom van 40 mA ($= 0,040$ A) bij een plaatspanning van 400 Volts. De input is dan $400 \cdot 0,040 = 16$ Watt.

Opmerking: Volgens art.7 sup.2 van de amateur-zendmachting is een maximum-input toegestaan van 50 Watt voor die zendlamp, welke de antenne rechtstreeks aanschiet. Is de plaatspanning van deze lamp dus bijv. 500 V, dan mag de plaatsstroom niet hoger zijn dan 100 mA.

Anodedissipatie

Dit begrip staat in nauw verband tot het voorgaande. De van den gloeidraad komende electronen zullen met groote snelheid vallen op de plaat. Bij deze botsing komt een zekere hoeveelheid warmte vrij. De plaat van een lamp zal dus door het electronenbombardement verhit worden. Onder de anodedissipatie verstaat men nu dat gedeelte van de plaatenergie, dat ten gevolge van dit bombardement in warmte wordt omgezet. Bij zendlampen wordt steeds opgegeven de maximum-anodedissipatie. Dit is dan de maximale hoeveelheid energie welke aan de plaat in warmte mag worden omgezet zonder dat dit voor de lamp schadelijke gevolgen heeft. Van de, de lamp toegevoerde input zal dus een deel nuttig worden aangewend, (de z.g. output, vertaald: wat men eruit haalt) terwijl de rest in warmte wordt omgezet. Vanzelfsprekend komen we zoo weer op de kwestie van het rendement. Stel bijv. dat de input van een zendlamp, welke haar energie aan de antenne afgeeft, 50 Watt bedraagt. Bedraagt de output nu bijv. 35 Watt (zie fig.109) dan is het rendement $\frac{35}{50} =$

70%. Het verschil van in- en output bedraagt hier $50 - 35 = 15$ Watt en wordt dus aan de plaat in warmte omgezet. Dit bedrag van 15 Watt moet dus kleiner, of mag ten hoogste gelijk zijn aan de maximale anodedissipatie der lamp.

Opmerking: Bij te sterke verhitting van de plaat wordt deze roodgloeiend. Bij Philipslampen is de toelaatbare anodedissipatie dan in de meeste gevallen reeds verre overschreden. Bij andere fabrikaten mag de anode soms wel rood staan in bedrijf.

Een kwestie die hier nog naar voren komt is de z.g. secundaire emissie, waaronder men verstaat het verschijnsel dat de plaat ook electronen gaat uitzenden. Dit verschijnsel is een gevolg van het feit dat de van den gloeidraad met groote snelheid op de plaat vallende electronen andere electronen uit de plaat schieten.

Dynamische karakteristiek

Tot nu toe hebben we alleen maar gesproken over de statische karakteristiek van een lamp. Beschouwen we evenwel eens wat er zal gebeuren wanneer in den plaatkring een weerstand wordt opgenomen in den vorm van een transformator, sperkring of Omschen

weerstand. Zoolang er plaatstroom vloeit, zal deze weerstand een spanningsval veroorzaken. Men kan zich dezen weerstand in serie geschakeld denken met den inwendigen lampweerstand. Een gevolg hiervan is dus dat niet de volle batterijspanning meer aan de plaat aanwezig is. Indien (fig. 110) de batterij een spanning heeft van E_b Volt, terwijl een plaatstroom I_a vloeit, dan zal aan R een spanningsval van $R \cdot I_a$ optreden en is de werkzame plaatspanning dus $E_b - R \cdot I_a$ Volts. Naarmate de plaatstroom toeneemt, zal ook het spanningsverlies ten gevolge van R toenemen, en de werkzame plaatspanning $E_b - R \cdot I_a$ afnemen. Indien de triode nagenoeg dichtgeslagen is door hoge negatieve roosterspanning, dan is het spanningsverlies aan R klein en heeft de lamp dus bijna de volle batterijspanning E_b op de plaat. Hieruit volgt, dat het verloop van den plaatstroom bij verschillende roosterspanningen in dit geval anders is dan bij een lamp zonder weerstand in den anodekring. (kortgesloten anodeketen, vandaar de naam kortsluitkarakteristiek) De statische karakteristiek is dan niet meer geldig, we krijgen nu te maken met de dynamische karakteristiek of werkkarakteristiek. De lijnen van een dynamische karakteristiek zullen minder steil verlopen dan die van de statische karakteristiek, omdat de door een roosterspanningsverandering optredende plaatstroomverandering ten gevolge van den weerstand minder groot zal zijn. De steilheid zal dus afhangen van de grootte van den weerstand R . De nieuwe steilheid S' wordt:

$$S' = \frac{R_i}{R_i + R} \cdot S$$

Bij zuivere weerstandsbelasting zal het afknijppunt op dezelfde plaats blijven. Bij weerstandsbelasting over een uitganstransformator draait de karakteristiek om het werkpunt. In alle andere gevallen ontstaan ellipsen, wier assen kruisen eveneens om het werkpunt draaien. Bij draaiing om het werkpunt valt een deel van de werkkarakteristiek links van het oorspronkelijke afknijppunt. De roosterruimte wordt dus groter. Vandaar ook dat men in de praktijk blijkt voor beste werking van bijv. een transformator-versterker hogere negatieve roosterspanningen te moeten geven dan overeen komt met de statische karakteristiek. (ca. $\frac{1}{3}$ à $1/5$ hoger)

Voorbeeld: Gegeven is de in fig. 111 geteekende statische karakteristiek. (de onderste bocht is hier gemakshalve verwaarloosbaar klein geacht) Als nu de lamp geschakeld wordt als in fig. 110 (dus zuivere weerstandsbelasting) terwijl $R = 7500$ Ohm, wordt gevraagd de bij dezen weerstand behorende dynamische karakteristiek te tekenen bij de gegeven spanning van 100 Volt. Uit fig. 111 volgt: $g = \frac{100}{20} = 5$ en $S = \frac{40 \text{ mA}}{20 \text{ V}} = 2 \text{ mA/V}$, dus $R_i = \frac{1000 \text{ g}}{S} = \frac{5000}{2}$

$$= 2500 \text{ Ohm. De nieuwe steilheid is dus: } S' = \frac{2500}{2500 + 7500} \cdot 2 = \frac{1}{2} \text{ mA/V.}$$

Aangezien in dit geval het afknijppunt op dezelfde plaats blijft en dus de roosterruimte gelijk blijft, zal de dynamische karakteristiek eruit zien als is weergegeven door de gestippelde lijn in fig. 111.

Algemeen geldt dus: BIJ ELKE VERANDERING VAN DE WAARDE VAN DEN WEERSTAND IN DEN ANODEKRING GELDT WIJER EEN ANDERE DYNAMISCHE KARAKTERISTIEK.

Speciale lampen.

De dubbelroosterlamp.

Bij het bespreken der diodes in Hoofdstuk IV is reeds gesproken over het optreden van de ruimtelading, d.w.z. de vorming van een wolk van electronen rondom den gloeidraad. Hierdoor worden nieuwe electronen, welke door den gloeidraad worden uitgestooten, afgestooten en gedeeltelijk weer op den gloeidraad teruggeworpen. De aanwezigheid van die ruimtelading belemmert dus de emissie van nieuwe electronen. Om de ruimtelading weg te nemen is nu bij dubbelroosterlampen -ook wel tetrodes genoemd (tetra = vier)- dicht om den gloeidraad en binnen het gewone rooster of stuurrooster een tweede rooster aangebracht, het z.g. voorrooster, wat positief geladen wordt door het te verbinden met een aftakking op de anodebatterij. De ruimtelading wordt door dit voorrooster grootendeels "weggezogen". De Duitschers spreken dan ook wel van Sabgglitter. Het voordeel van dubbelroosterlampen ligt dus in het feit dat door de aanwezigheid van het voorrooster bijna de geheele leverbare anodestroom (verzadigingsstroom) bereikt wordt bij nul Volt neg. roosterspanning, zoodat de anodespanning eveneens laag kan zijn. (bijv. 40 V impl. v. 150 V)

Opm. Bij de moderne penthodes is ook nog een rooster om de plaat aangebracht, wat verbonden is met den gloeidraad. Doel van deze 5de electrode is, vrije electronen die zich om de plaat bevinden ten gevolge van secundaire emissie terug te voeren naar den gloeidraad. Was dit rooster niet aanwezig, dan zou er gevaar bestaan dat deze electronen zich gingen bewegen naar het voorrooster, wat op vrijwel gelijke potentiaal ligt als de plaat. Bij de hierna be-

sproken schermroosterlampen is dit gevaar niet zoo groot vanwege de veel lagere potentiaal van het schermrooster.

Voor het afgeven van groote energieën zijn de tetrodes niet geschikt, aangezien de max. anodestroom steeds klein is, vergeleken bij die van triodes. Vanwege de groote inwendige capaciteit treedt genereeren snel op. Vandaar de ongeschiktheid om zonder neutrodynisatie gebruikt te worden als hoogfrequentversterker, en de buitengewone geschiktheid als generator, bijv. bij superheterodynes. (zie werken van J. Corver en J.J. Numans, uitgave N. Veenstra, 'sGravenhage) Tenslotte kan volledigheidshalve worden opgemerkt dat de plaatstroomvariatiën juist in tegenfase zijn ten opzichte van de voorrooster-stroomvariatiën. Hiervan is o.a. gebruik gemaakt bij de Numans-Roostenstein-generator en bij de neutrodyneschakeling van Dr. Koomans.

De schermroosterlamp.

Het doel wat bij deze lampen is nagestreefd is, de plaatstroom onafhankelijk te maken van de grootte der hoogspanning. (denk aan de dynamische karakteristiek) De plaatstroomvariatiën zijn dus alleen afhankelijk van de roosterspanningsvariatiën. Men heeft daartoe een afschermend rooster aangebracht om de plaat. (fig. 112) De elektrische krachtlijnen van de plaat kunnen nu haast niet meer den gloeidraad bereiken en kan de plaat dus nagenoeg geen invloed meer uitoefenen op den plaatstroom. De lading van het stuurrooster is daardoor nagenoeg uitsluitend maatgevend voor de waarde van den plaatstroom. Ergo is de versterkingsfactor ("de verhouding tusschen de invloeden van rooster en plaat op de plaatstroom") zéér groot. (150 - 500)

Daar de spanning van het stuurrooster weliswaar toonaangevend is, doch de invloed ervan vergeleken met normale lampen zeer gering is, hebben de schermroosterlampen een geringe steilheid. Dit alles brengt mede dat de inwendige weerstand zeer hoog moet zijn daar immers $R_i = \frac{1000 \text{ } \Omega}{S}$

De inwendige constructie brengt met zich mede een zeer geringe capaciteit tusschen plaat en stuurrooster. Daarom leent dit type lampen zich bij uitstek tot hoogfrequentversterkers zonder dat neutrodyniseeren noodig is, om het genereeren tegen te gaan.

Opm. Om de inwendige capaciteit klein te houden is opzettelijk, evenals bij vele zendlampen voor hoge frequenties, de plaat aangebracht op grooten afstand van de stuurrooster-aansluiting.

Daar de lamp zoo'n groote versterkingsfactor heeft, heeft het terugvoeren van slechts een kleine spanning van den plaat- naar den roosterkring reeds genereeren ten gevolge. (zie bij generator) Vandaar dat, aansluitend met het schermrooster, vaak uitwendig een afscherming wordt aangebracht.

....

De detector.

Reeds eerder is in dit Hoofdstuk nagegaan de verhouding van het trillingsgetal en de golflengte van een radio-trilling. Wanneer een zender bijv. een golf uitzendt van 300 m vertegenwoordigt dit een frequentie van 1000000 trillingen per seconde. Als men dezen stroom door een telefoon zou laten loopen, dan zou men geen geluid waarnemen. De reden hiervan moet gezocht worden in twee oorzaken: n.l. in de telefoon en in het menschelijk oor. De telefoon kan onmogelijk zulk een snelle trilling volgen en al zou dit mogelijk zijn, dan zou zij nog een onhoorbaar hoogen toon produceeren, daar de bovenste gehoorgrens voor het normale oor bij 18000 trillingen per seconde ligt. (de onderste grens ligt bij ongvr. 25 trill. p. sec.)

Om deze trillingen nu toch hoorbaar te maken maakt men daarom gebruik van een der navolgende hulpmiddelen:

- kristaldetector
- lampdetector met plaatdetectie
- lampdetector met roosterdetectie.

1 De kristaldetector.

Sommige kristallen hebben de eigenschap om in aanraking met een ander materiaal in de eene richting den elektrischen stroom beter te geleiden dan in de andere richting. Veel hangt daarbij af van het contact geleider-kristal. Passeert dus een geleide golf-trein (fig. 73) het kristal, dat geschakeld is volgens fig. 113, dan zal de doorgelaten stroom, welke de telefoon passeert, een verloop hebben als is aangegeven in fig. 114. Men ziet dat de stroomsterkte aan de eene zijde van de nullijn groter is dan aan de andere zijde. Er gaat dus méér stroom door de telefoon in de eene richting, dan in de andere; de trilplaat wordt dus uit den evenwichtsstand getrokken. Door een telefooncondensator (C_p in fig. 113) kan men deze werking nog verhoogen door de electriciteit als het ware even vast te houden om de aantrekking van de trilplaat niet heelemaal te doen ophouden tijdens het oogenblik dat de hoogfrequente wisselstroom de andere kant uit gericht is. (fig. 115) Men spreekt daarom van een integreerende werking van den telefooncondensator. (integreeren beteekent samentellen)

Wanneer nu per seconde bijv. 1000 van zulke golftreinen door het kristal en door de telefoon gaan, wordt de trilplaat dus ook 1000 maal per seconde uit den evenwichtsstand getrokken en brengt dus een toon van 1000 trillingen per seconde voort. Elke golftrein komt dus overeen met één trilling van de trilplaat; het aantal golftreinen per seconde bepaalt dus de toonhoogte van het in de telefoon gehoorde signaal. (fig. 116) In fig. 116 is de golflengte der signalen door de letter λ aangegeven; men verwarre dus niet het aantal golftreinen met de frequentie van het signaal.

Wanneer men nu eens bekijkt wat er gebeuren zal wanneer op dezelfde wijze een ongedempte trilling wordt ontvangen, dan zien we uit fig. 117 (waarin a de aankomende trilling voorstelt, b de door het kristal gelijkgerichte trilling en c den telefoonstroom) dat nu een doorloop en een praktisch gesproken onoverwinnelijk stroompje door de telefoon zal vloeien. De telefoon brengt nu geen toon voort. Het is op deze wijze dus niet mogelijk om een ongedempte trilling hoorbaar te maken. Men hoort slechts het begin en einde van iedere streep of punt als een klink wegens het aantrekken en weer loslaten van de trilplaat. Om ongedempte signalen hoorbaar te maken is het noodig de ontvangen trillingen eerst samen te stellen (te mengen) met een hulptrilling, welke geleverd wordt door een genereerende lamp, d.i. een lamp die zelf een ongedempte trilling voortbrengt. (generator) Deze hulptrilling kan geleverd worden door een afzonderlijk miniatuur-zendertje (zie verderop bij generator), doch het is mogelijk dezelfde lamp tegelijk als detector (= gelijkrichter) te laten werken.

Opm. Volledigheidshalve zij hier nog medegedeeld dat het toch wel mogelijk is om met een kristaldetector ongedempte signalen hoorbaar te maken zonder deze eerst samen te stellen met een hulptrilling, en wel door den telefoonstroom in een snel rhythme te onderbreken door middel van een z.g. tikker. De toonhoogte is dan afhankelijk van het aantal per seconde gemaakte onderbrekingen.

Wat gebeurt er nu wanneer de ontvangen trilling wordt samengesteld met een hulptrilling? Bezien we hiertoe fig. 118. In a is de aankomende trilling afgebeeld, terwijl b de hulptrilling weergeeft. Wanneer beide stroompjes gelijktijdig door een geleider loopen, is op sommige oogenblikken de stroomrichting voor beide dezelfde, op andere oogenblikken is zij juist tegengesteld. De resulterende stroom, welke van deze afwisselende mee- en tegenwerking het gevolg is, is afgebeeld in fig. 118c. Na het passeeren van den detector ontstaat fig. 118d, terwijl de telefooncondensator deze "pieken" vervlakt tot stroomstooten als eenigszins vergroot t.o.v. de vorige trillingen in fig. 118e zijn afgebeeld. AB noemt men een zweving. HET AANTAL ZWEVINGEN PER SECONDE IS GELIJK AAN HET VERSCHIL IN FREQUENTIE DER BEIDE TRILLINGEN, of:

$$Z = n_1 - n_2$$

als Z het aantal zwevingen per seconde is en n_1 en n_2 de trillingsgetallen zijn. Stel dus, dat de frequentie van het ontvangen signaal 1000000 perioden per seconde bedroeg, en die van de hulptrilling 1001000, dan is het aantal zwevingen per seconde $Z = 1001000 - 1000000 = 1000$.

De telefoon zal in dit geval dus een toon geven van 1000 trillingen per seconde.

De lampdetector.

2. Plaatdetectie. (zie fig. 119)

Men maakt bij plaatdetectie gebruik van het feit dat de lampkarakteristiek onderaan een bocht vertoont. (zie fig. 120) Hierdoor wordt de samengestelde trilling van fig. 118c welke aan het rooster wordt aangelegd, gedeeltelijk gelijkgericht: de aankomende wisselspanning roept in de eene richting méér variatie in plaatstroom tevoorschijn dan in de andere richting. (zie ook fig. 99; we maken hier dus met voorbedachten rade van een vervormingsverschijnsel gebruik) De in den plaatkring ontstaande trilling komt dus overeen met het geteekende in fig. 118d

Opm. fig. 120 toont de betrekken dynamische karakteristiek.

Men moet de lamp, om een zoo groot mogelijk effect te verkrijgen, een zoodanige negatieve roosterspanning geven, dat het werkpunt A der lamp gelegen is op het punt waar de karakteristiek het sterkst gekromd is. Voor verschillende lampsoorten ligt dit punt natuurlijk niet gelijk. Daarom wordt de geheele schakeling wel eens uitgevoerd als is aangegeven in fig. 121. De grofinstelling der negatieve roosterspanning geschiedt hier door middel van contact A, de fijnerregeling door verplaatsing van contact B (draaifarm) van een potentiaalr. We maken hier dan gebruik van den spanningr. aan den over de gloeistroombron geschakelden potentiometer. Is de gloeispansing der lamp E_g Volt, dan kunnen we de potentiaal van punt A ten opzichte van het midden van den gloeidraad met arm B variëren tusschen $\frac{1}{2}E_g$ en $-\frac{1}{2}E_g$ Volt.

3. Roosterdetectie.

Hierbij heeft de gelijkrichting in den roosterkring der lamp plaats. De in fig. 118c ge-

teekende trilling wordt weer evenals bij plaatdetectie aan het rooster der lamp toegevoerd, ditmaal echter via een klein condensatortje C_g . (fig.122) De grootte van dit condensatortje is ca. $200 \mu F$.

De positieve periode van een aankomende wisselspanning zal het aan den afgestemden kring bevestigde platenstel van C_g positief laden. Het andere platenstel wil dan even sterk negatief worden. (de ladingen aan de platen van een condensator zijn immers altijd gelijk en tegengesteld) Dit wordt bereikt door aanvoer van electronen via het rooster der lamp. Verdwijnt nu de positieve spanning, dan komt de aanvankelijk gebonden negatieve lading vrij en verdeelt zich over de condensatorplaten en het rooster. De plaatstroom, welke aanvankelijk was verhoogd doordat bij het rooster electronen werden "weggezogen", wordt nu weer een weinig kleiner door de afstootende werking van het door terugvloeiende electronen sterker negatief wordende rooster. De nu volgende negatieve halve periode van de aankomende wisselspanning zal deze reeds aanwezige neg. lading naar het rooster verdrijven. Dit zal een vermeerdering van de negatieve vrije lading op het rooster ten gevolge hebben. (deze kan niet, zooals de positieve, door roosterstroom worden geneutraliseerd) Hierdoor zal de plaatstroom andermaal afnemen. Zoo gaat dit door, en ontstaat fig.123. Eenvoudigheidshalve is in de teekening aangenomen dat de aankomende spanningen sinusvormig verlopen. Een blik op fig.118c leert ons, dat in werkelijkheid de spanningen een ingewikkelder verloop hebben, omdat we hier met twee samengestelde trillingen te doen hebben.

De eerste trillingen hebben dus ten gevolge dat het rooster sterker negatief wordt, zoodat het werkpunt van de lamp verplaatst wordt, zooals in fig.123 ook duidelijk te zien is. Om nu te voorkomen dat het rooster te sterk negatief wordt, waardoor de lamp meer of minder dichtgeslagen zou blijven, waardoor verdere signalen niet goed doorgeleten zouden worden, is een lekweerstand R tusschen rooster en gloeidraad aangebracht om de via het rooster aangevoerde negatieve ladingen weer af te voeren. Er gaat dus een roosterstroom vloeien, waarvan de grootte af zal hangen van de grootte van R . Daar een sterk signaal grotere ladingen aan het rooster tevoorschijn roept, is het noodig dat méér negatieve lading afgevoerd wordt; de lekweerstand moet dan dus kleiner zijn, of wel men kan het lek aan een punt leggen wat sterker positief is ten opzichte van het rooster. Bijvoorbeeld kunnen we het leggen aan plus-gloeidraad inplaats van aan min gloeidraad. Om een continue regeling te hebben wordt daarom veel de schakeling van fig.124 toegepast. (de afvoer van roosterlading vindt hier plaats via de spoel van den afgestemden kring, inplaats van rechtstreeks naar den gloeidraad) Wanneer men deze figuur vergelijkt met fig.121, dan valt oogenblikkelijk de groote overeenkomst op. Afgezien van de aanwezigheid van een batterij voor negatieve roosterspanning verschillen de figuren alleen door het feit dat bij de eene een roostercondensator met lek aanwezig is. Door kortsluiting van den roostercondensator met lekweerstand kan men dus in dit geval overgaan op plaatdetectie. Eventueel moet de roosterspanning daarbij nog iets veranderd worden. De schakeling van het roosterlek over den condensator heeft nog het voordeel, dat de lekweerstand niet over den afgestemden kring is geschakeld en dus geen damping zal veroorzaken. De eenige damping die hier optreedt is die ten gevolge van de electronenstrooming van gloeidraad via rooster naar plaat.

Opm. Men kan geen plaatdetectie toepassen als aan den detector een versterker voorafgaat waarvan den plaatkring geleidend verbonden is met den afgestemden roosterkring van den detector, aangezien het rooster dan de hoge plaatspanning van die versterkerlamp toegevoerd zou krijgen. Zie hierover ook verderop bij periodische versterkers en de afgestemde transformator.

—...—

Versterkers.

Onder versterking in het algemeen wordt verstaan het opvoeren van spanningen. Een bijzondere vorm van versterking is de energieversterking. Van energieversterking is sprake wanneer aan den versterker energie wordt onttrokken, bijv. door een luidspreker of door een antenne.

Men onderscheidt:

a. hoogfrequentversterking. Bij ontvangers schakelt men dit soort versterkers tusschen de antenne en den detector. De door de antenne aangevoerde spanningen worden dan eerst versterkt, alvorens ze worden samengesteld met de hulptrilling en gelijkgericht door den detector. Het resultaat is, als ontvingen we een krachtiger station; bovendien kunnen zwakke signalen die anders vrijwel onhoorbaar zouden blijven (drempelwaarde detector) nu wel hoorbaar worden. Bij zenders bezigt men hoogfrequentversterking om de door een zender opgewekte trillingen te versterken, alvorens ze over te dragen op de antenne.

b. laagfrequentversterking. De laagfrequente, door den detector geleverde hoorbare trillingen worden versterkt. Bij zenders: de door de microfoon opgenomen trillingen worden versterkt alvorens ze aan den zender toe te voeren.

c. middelfrequentversterking, vindt eveneens plaats na detectie. De hulptrilling wordt in dit geval zoodanig gekozen dat het aantal zwevingen boven de grens van hoorbaarheid ligt. De methode wordt toegepast in superheterodyne en superautodyne ontvangers; na eenige trappen van middelfrequentversterking volgt een tweede detector die de middelfrequente trillingen na samenstelling met een tweede hulptrilling opnieuw gelijkricht, en in de telefoon hoorbaar maakt. De uit de eerste detector komende middelfrequente trilling wordt dus versterkt en gedetecteerd, geheel alsof het een normale hoogfrequente trilling was. Deze golflengtetransformatie heeft ten doel het gebruik van hoogfrequentversterking op hoge frequenties te ondervangen, aangezien deze slechts weinig versterking zou geven.

Principieel wordt in bovengenoemde drie gevallen: laag- hoog- en middelfrequentversterking dezelfde werkwijzen toegepast. Alle versterkers hebben dit gemeen, dat de te versterken trilling tusschen rooster en gloeidraad van een lamp wordt aangelegd en, versterkt zijnde, aan den plaatkring wordt afgenomen, om het zij aan een verbruikstoestel (telefoon, luidspreker, neonlamp, antenne) hetzij aan het rooster van een volgende lamp te worden toegevoerd.

Men onderscheidt aperiodische versterkers en periodische of afgestemde versterkers, als volgt onderverdeeld:

a. aperiodische versterkers

- 1 weerstandsversterking
- 2 smoorspoelversterking
- 3 versterking met aperiodische transformatoren.

b. periodische versterkers

- 1 versterkers met afgestemden kring
- 2 versterkers met afgestemden transformator

Dit laatste geval kan worden teruggebracht tot de werkwijze met afgestemden kring.

We zullen deze versterkers nu achtereenvolgens eens nader bezien.

Aperiodische versterkers

Beginnen we met den weerstandsversterker (fig. 125)

We maken gebruik van den spanningsval aan R_1 , welke optreedt wanneer door den plaatkring van lamp I stroom vloeit. Deze spanningsval is afhankelijk van de stroomsterkte; spanningsvariatiën aan het rooster van I zullen dus overeenkomstige spanningsvariatiën tusschen de einden van den weerstand R_1 veroorzaken. De grootte van den spanningsval aan R_1 wordt bepaald door de verhouding van dezen weerstand tot den inwendigen weerstand van lamp I. Het is dus duidelijk dat voor dit doel gebruikt moet worden een lamp met hoge spanningsversterking en een inwendigen weerstand, die klein is ten opzichte van weerstand R_1 . De aan de uiteinden van den weerstand, dus ook tusschen a en b optredende spanningswisselingen worden aangelegd tusschen rooster en gloeidraad van lamp II. De overdracht aan het rooster van II vindt plaats door middel van condensator C. Batterij E_g zorgt dat aan het rooster van II de juiste negatieve rooster spanning wordt toegevoerd; lekweerstand R_2 voorkomt afvloeijing der tusschen rooster en gloeidraad aangelegde spanningen. Immers zonder lekweerstand zou de roosterkring van II kortgesloten zijn. Behalve voor overdracht der spanningsvariatiën zorgt C er tevens voor dat het rooster van lamp II niet aan plus hoogspanning van lamp I komt te liggen.

Voor hoogfrequentversterking wordt weerstandskoppeling toegepast, doch meestal uitsluitend voor de lagere frequenties (omroepgolven); zoo bezit bijv. de meervoudige Loewe "2 HF" lamp weerstandskoppelingen die een goede werking geven tot ca. 250 m. Op kortere golven wordt vrijwel nooit met weerstandskoppeling gewerkt.

Voor laagfrequentversterking wordt weerstandsversterking veelvuldig toegepast, zij waarborgt een gelijkmatige versterking van het gehele toonregister, terwijl bij telegrafieontvangst tevens een goede en rustige versterking verzekerd is. Een bezwaar is dat de weerstand in den plaatkring een aanzienlijken spanningsafval ten gevolge heeft, zoodat anodebatterijen met hoge spanningen moeten worden gebruikt om nog een redelijke spanning aan de plaat te verkrijgen.

Ook voor middelfrequentversterking gebruikt men vaak weerstandsversterkers.

Uit het feit dat een weerstand geen voorkeur bezit voor een bepaalde frequentie, volgt, zooals gezegd, dat weerstandsversterking bruikbaar is voor vrijwel alle frequenties. Anders wordt het evenwel wanneer we inplaats van weerstand R_1 een smoorspoel inschakelen. Iedere zelfinductie bezit een eigen resonanspunt. Van de constructie zal afhangen of deze op een hooge- dan wel op een lage frequentie valt. Deze eigenfrequentie kan bij smoorspoelversterking een groot gewicht in den schaal gaan leggen. Als regel kiest men voor een bepaald frequentie-bereik waarbinnen de versterker moet werken een smoorspoel met een eigenfrequentie welke aanzienlijk hooger ligt. Zodoende komt men bij laagfrequentversterking tot een smoorspoel (met ijzerkern) met een zelfinductie

ca. 30 H. Voor hogere frequenties worden kleinere zelfinducties gebruikt, zoodat men voor hoogfrequentversterking smoorspoeltjes bezigt van eenige honderden windingen. IJzerkern-smoorspoelen komen hier natuurlijk niet in aanmerking. De toepassingen van smoorspoelversterking zijn dezelfde als van weerstandversterking, doch deze methode wordt over het algemeen weinig gebruikt. Volledigheidshalve zij hier vermeld dat bij theoretische beschouwingen ook gedacht moet worden aan de capaciteit van de lamp, smoorspoel, koppelcondensator en lekweerstand, zoodat berekeningen zeer gecompliceerd worden. Zuiver aperiodisch is deze methode daarom allerminst, evenmin als de volgende werkwijzen.

Versterking met aperiodische transformatoren. (fig. 126)

Deze methode wordt wel het meest toegepast en wel in laagfrequentversterkers. Daar de secundaire wikkeling van den transformator meer windingen bevat dan de primaire, zullen de spanningverschillen welke tusschen a en b optreden worden opgetransformeerd. De spanningverschillen tusschen c en d zullen, afhankelijk van de transformatieverhouding, welke steeds op den transformator wordt vermeld, dus eenige malen grooter zijn dan die tusschen a en b. Deze laatste zijn voor afhankelijk van de wisselstroomweerstandsverhouding tusschen lamp en primaire wikkeling, zoodat hier het begrip aanpassing ontstaat, d.w.z. tusschen beide moet een zekere verhouding bestaan om een zoo gunstig mogelijke werking te verkrijgen. Daar het ijzer van den kern door den plaatstroom wordt gemagnetiseerd, dient er rekening mede gehouden te worden dat de kern hierdoor niet magnetisch verzadigd wordt. In dit geval zou de kern de spanningswisselingen niet meer volgen en zou geen overdracht op de secundaire meer plaats hebben. Daarom moeten de kernafmetingen zoo groot mogelijk genomen worden. Dit soort transformatorversterking wordt ook voor middelfrequent- ja zelfs wel voor hoogfrequentversterking toegepast. In dit laatste geval is het succes nooit groot geweest. Meestal maken genereerneigingen of gillen het werken met zulke hoogfrequenttransformatoren, die zelfs met stofijzerkerntjes worden uitgevoerd (traagheid der magneculen!) onmogelijk. Op hogere frequenties zijn dergelijke ijzerkerntransformatoren hoelemaal niet meer te gebruiken.

Periodische versterkers

Versterkers met afgestemden kring.

Plaats van den weerstand R_1 van fig. 125 bij weerstandsversterking is opgenomen een afgestemde kring LC_1 (fig. 127) Wanneer deze kring is afgestemd op de te ontvangen frequentie, is de weerstand zeer hoog en kunnen door den koppelcondensator C_2 maximum spanningen worden toegevoerd aan het rooster van lamp II. Ook hier bestaat aanpassing tengevolge van de kwaliteit van den kring LC_1 , en de karakteristieke eigenschappen van lamp I. (spanningsversterking) De hoofdtoepassing van deze versterkingsmethode ligt bij hoog- en middelfrequentversterking. Zelfs bij ontvangst van zeer hoge frequenties is deze versterking zeer loonend mits men gebruikt een schermroosterlamp als hoogfrequentversterker. (geringe eigencapaciteit, dus weinig genereerneigingen, en hoge versterkingsfactor) Een klassiek voorbeeld is verder het Koomansschema. De Engelschen spreken van "tuned anode".

Opgemerkt zij, dat de kring LC_1 op génerlei wijze gekoppeld mag worden met de afgestemde roosterkring van lamp I, daar anders, zooals we reeds hebben gezien, genereeren zal optreden. Afscherming wordt dus ook zeer gewenscht, terwijl ook de schermroosterlamp met genoemde geringe eigencapaciteit de genereerneiging tot een minimum beperkt. Voor telegrafieontvangst is dié instelling het beste, waarbij de hoogfrequentlamp even buiten genereeren werkt; er treedt dan dempingsreductie op (zie bij "generator") hetgeen de signaalsterkte ten goede komt. Is lamp II een detector, dan kan deze lamp tot afzonderlijk genereeren worden gebracht door een terugkoppelspoel in den plaatketen op te nemen en deze met LC_1 te koppelen. (zie eveneens bij "generator") Ook voor laagfrequentversterking kan deze methode gebruikt worden wanneer men één bepaalde hoorbare frequentie speciaal wil versterken: gepiekte- of toonversterking = "peaked audio" De afgestemde kring bestaat dan bijv. uit een secundaire wikkeling van een laagfrequenttransformator met een parallelgeschakelde capaciteit. Heel goed voldoet bijv. een Ford-bobine waarover een condensator van ca. 6000 μuF is geschakeld.

Nauw met deze methode verbonden is het gebruik van een afgestemden transformator. (fig. 128) Vergelijken we deze schakeling met die van fig. 126, dan zien we dat het enige verschil hierin bestaat, dat de transformator hier wel voorkeur bezit voor een bepaalde frequentie, doordat de secundaire een afgestemden kring L_2C vormt. Hierdoor is de hoofdtoepassing verschoven naar de hoogfrequentversterkers. Bij zeer vaste koppeling kan het geheele stelsel beschouwd worden als de hiervoor behandelde versterker met afgestemden plaatkring; de afstemming van L_2C wordt scherper naarmate de koppeling van primaire en secundaire losser wordt. (verhoogde selectiviteit)

Een voorbeeld van deze methode is het A.V.R.O.-schema: voor zeer hoge frequenties is met de vereischte voorzorgen dit schema eveneens goed bruikbaar.

Waar in fig. 127 de roostercondensator C_2 met lekweerstand R noodzakelijk zijn, kun-

nen deze in fig.128 weggelaten worden, hetgeen den weg opent tot ontvangst met plaatdetectie. Verder is de kwaliteit der kringen weer van groot belang.

Voor laagfrequentversterking bestaan er transformatoren met ijzerkern waar een 500 μF condensator over de secundaire geschakeld weer piekversterking mogelijk maakt.

Voorzorgen bij versterking, central-batterij systeem.

Bij toepassing van versterkers is het van groot belang zorg te dragen dat noch hoogfrequent- noch laagfrequente trillingen in den anodespanningsbron kunnen doordringen. Hierdoor zouden allerlei koppelingsverschijnselen ontstaan, die genereeren of gillen kunnen veroorzaken, of zelfs alle ontvangst onmogelijk maken.

Daarom worden in den hoogfrequentversterker alle leidingen naar hoogspanning bij het verlaten van het toestel voorzien van een hoogfrequent-afvloeiings-blokecondensator naar min-uscu (2000 μF) en een hoogfrequent-smoorspoel (eenige honderden windingen dun draad op een kokertje) in de leiding zelve, evenzoo in den laagfrequentversterker een laagfrequent-afvloeiings-blokecondensator (bypass) van 0,5 - 2 μF en eventueel een laagfrequent-smoorspoel (ijzerkern) of een weerstand van 0 - 1 Megohm. Speciaal voor ultrakortegolfontvangers met hoogfrequentversterking is deze voorzorg naast afscherming een vereischte.

...

De generator of oscillator.

Doel van een generator is het opwekken van hoogfrequente trillingen. Aangezien voor ons amateurs alleen lampgeneratoren van belang zijn, zal alleen dit type besproken worden.

Bezien wij allereerst fig.129. In den roosterkring der lamp is een vliegwielkring L_1C opgenomen. In den plaatkring bevindt zich spoel L_2 , welke met L_1 gekoppeld is. Een kleine roosterspanningsverandering zal, zocals we reeds eerder hebben gezien, een plaatstroomverandering ten gevolge hebben, waardoor het veld van L_2 zich zal wijzigen. In dit veld bevindt zich evenwel L_1 , zoodat in den roosterkring een spanning wordt geïnduceerd, welke weer een nieuwe plaatstroomverandering zal veroorzaken.

Dit terugkoppelen van den plaatkring op den roosterkring kan ten gevolge hebben dat genereeren optreedt, d.w.z. dat de electriciteit in L_1C in de resonantiefrequentie van dien kring in schommeling komt en blijft. Hiervoor is natuurlijk noodig dat L_2 spanningen induceert welke in de eerste plaats groot genoeg zijn om de trilling te onderhouden (aenvullen van verliezen) terwijl deze spanningen tevens op het juiste moment moeten optreden. (denk weer aan de schommel: de "zotten" moeten op het juiste moment en met voldoende kracht gegeven worden) Indien men twee gelijk gewikkelde spoelen naast elkaar op dezelfde wijze opstelt (fig.130) dan wordt aan de laatste voorwaarde (optreden van de spanningen op het juiste moment) voldaan, wanneer rooster en plaat juist aan twee tegengestelde eindpunten worden verbonden. Dus of rooster aan A en plaat aan D, of rooster aan B en plaat aan C.

De in den roosterkring opgenomen afgestemde kring L_1C bepaalt dus de frequentie van den generator. Door condensator C variabel te maken, kunnen we die frequentie veranderen. Indien niet de roosterketen doch de plaatketen afgestemd zou zijn, zou de afstemming van den plaatkring de frequentie der trilling bepalen. In het algemeen bepaalt de kring met de laagste eigenfrequentie de frequentie van de geproduceerde trilling. Indien bijv. door gebruik van een te groote terugkoppelspoel, de frequentie hiervan (een spoel alleen heeft ook een resonantiefrequentie; is n.l. te beschouwen als een kring, waarbij de capaciteit gevormd wordt door de condensator-werking tusschen opeenvolgende windingen) lager is dan van de eigenlijken afgestemden kring, dan zal het stelsel in die lagere frequentie gaan genereeren.

Nu ligt het in de bedoeling om de aan de lamp toegevoerde gelijkstroomenergie zooveel mogelijk om te zetten in hoogfrequenten wisselstroom. Dit zal gebeuren wanneer de plaatstroomvariatiën zoo groot mogelijk zijn, dus als I_a verandert tusschen 0 en den verzadigingsstroom I_s . Wanneer dit inderdaad plaats heeft, treedt telkens stootsgewijs roosterstroom op. (fig.131) Dit optreden van roosterstroomen brengt evenwel weer verliezen met zich mede. Een gunstige waarde voor den roosterstroom is ongeveer 20% van den plaatstroom. Bij nog hogere roosterstroomen gaan de verliezen overwegen.

De gemiddelde roosterspanning bedraagt in fig.131 0,8 Volts. Deze roosterspanning kan worden verkregen door een roosterspanningsbatterij, of door gebruik te maken van den spanningsval over een roosterlek. Het hoogste rendement van een generator treedt op bij grotere neg. roosterspanning (of overeenkomstig hogere lekweerstand) De output gaat dan echter achteruit, dus omdat het rendement beter is, ook de input en de anodedissipatie. De anodespanning mag dan worden verhoogd tot de anodedissipatie wederom zijn maximaal-toelaatbare waarde heeft bereikt.

Het terugvoeren van de energie van den plaat- naar den roosterkring kan op verschillende manieren gebeuren. In fig.129 is gebruik gemaakt van een inductieve koppeling. Het spreekt vanzelf dat we ook capacitief kunnen terugkoppelen, zie fig.132. De terugkoppeling vindt hier plaats door condensator C. In fig.133 is een schema weergegeven

hetwelk vaak verkeerdelijk wordt aangeduid als bevattende een capacatieve terugkoppeling. Met den condensator C regelt men slechts den weerstand, welke aan de hoogfrequente trillingen op hun weg van L_2 naar den gloeidraad wordt geboden. De terugkoppeling zelve is hier dus inductief, de regeling van de terugkoppeling capacatief.

Dergelijke terugkoppelingsregelingen zijn bij generatoren niet zeer belangrijk, wel echter bij detectoren, welke, teneinde de voor ontvangst van ongedempte signalen benodigde hulptrilling te kunnen leveren, tevens als generator moeten kunnen werken, welke wij naar believen moeten kunnen laten genereren of even buiten genereren brengen. Wanneer de lamp even buiten genereren is ingesteld, zijn de teruggekoppelde trillingen weliswaar niet krachtig genoeg om de trillingen in den roosterkring op peil te houden, doch deze zullen slechts langzaam uitsterven, doordat toch nog altijd door de terugkoppeling een belangrijke ondersteuning wordt geleverd. De trillingen in den roosterkring zullen dus véél minder gedempt zijn dan bij vrije uitallingering. Door de terugkoppeling treedt dus dampingsreductie op, welke de signaalsterkte ten goede komt. Vandaar dat we telefonie het krachtigst ontvangen wanneer de detector "op het randje van genereren" staat.

De in fig. 133 geschetste terugkoppelingsregeling word o.a. toegepast in den uit vroeger jaren overbekenden Schnell-ontvanger. Andere terugkoppeling-regelingsmethoden zijn o.a. het variabel maken van de inductieve koppeling tusschen rooster- en plaatspoel of het werken met een potentiometer over de terugkoppelspoel. Al deze methoden hebben het bezwaar in meerdere of mindere mate invloed te hebben op de afstemming van den roosterkring, zoodat, wanneer men bij genereerenden detector een station in het nulpunt van den interferentietoon heeft, het bij het buiten genereren brengen niet in het nulpunt blijft, ("tuning-effect" van de terugkoppelingsregeling) De regeling door middel van het variëren van de plaatspanning, door in den plaatkring een variabele weerstand op te nemen, is in dit opzicht het onschuldigst en werd dan ook toegepast in den, in principe in fig. 134 afgebeelden, Pomesontvanger.

Dit is dus een van de verschillen tusschen generatoren welke tevens als detector dienst moeten doen en generatoren waarvan geëischt wordt dat zij zooveel mogelijk gelijkstroom-energie in hoogfrequentenergie omzetten. Bij de eerste is een soepele regeling van de terugkoppeling belangrijk, bij de tweede niet. Zend-generatoren zullen hierna besproken worden. Na al hetgeen we reeds over de werking van ontvangers hebben geschreven, meenen wij dat het onnoodig is over ontvangers in het bijzonder nog eens afzonderlijk uit te weiden. Over dit onderwerp is zooveel litteratuur verschenen, dat wij meenen te kunnen volstaan met te verwijzen naar de standaardwerken van de Heeren Corver en Numans. (uitgave N. Veenstra, 'sGravenhage)

Het principieele verschil tusschen ontvangers en zenders is, dat we bij ontvangers zoo veel mogelijk hoogfrequentenergie willen omzetten in laagfrequente gelijkstroomvariaties, terwijl bij zenders daarentegen het streven dient gericht te zijn op een zoo volledig mogelijke omzetting van gelijkstroom- in hoogfrequentenergie. Vandaar dat bij ontvangers de antenne gekoppeld wordt met den roosterkring, bij zenders met den plaatkring.

Bij abnormaal vaste terugkoppeling kan de lamp periodiek dichtslaan doordat de trillingen in den roosterkring tot zulk een hoogte opslingeren, dat het rooster telkens sterk negatief wordt, zoodat de lamp dichtslaat. Die negatieve rooster spanning zal dan langzamerhand weer afvloeien, de lamp komt weer open en hetzelfde spelletje begint opnieuw. Dat telkens dichtslaan van de lamp noemen we "hikken" (Eng. "motorboating"). Het treedt alleen op bij aanwezigheid van een roostercondensator met lekweerstand. Bij nog vastere koppeling gaat de lamp superregeneratief werken. Dit is te hooren doordat dan inplaats van één trilling een heele serie van trillingen geproduceerd wordt. Een enkele maal wordt wel eens superregeneratief ontvangen. Een voordeel is de enorme gevoeligheid, een nadeel de doordringende pieptoon die het verschijnsel steeds begeleidt en het feit dat elk station vele malen hoorbaar wordt bij draaiing van den condensator, om van storing van andere ontvangers in de nabijheid niet te spreken!

De werking van de zendlamp.

Wanneer een lamp in de een of andere schakeling geplaatst wordt, waarbij gloei- en plaatspanning wordt aangelegd, zal, wanneer de lamp niet genereert en aan het rooster noch een gelijk- noch een wisselspanning aangelegd wordt, een in den anodekring geplaatste milliamperemeter den z.g. ruststroom aanwijzen. Weet men behalve den plaatsstroom bovendien de plaatspanning, dan kan men onmiddellijk de aan de lamp toegevoerde energie ($I_a \cdot E$) bepalen. Dit is dan de input of anders genoemd de primaire energie. In dit voorbeeld vervult de lamp dus géén andere functie dan die van "weerstand" en de toegevoerde energie wordt derhalve zonder meer door de lamp opgenomen en in warmte omgezet.

Het doel van de zendlamp is evenwel de toegevoerde gelijkstroomenergie zooveel mogelijk om te zetten in hoogfrequent-energie, terwijl het gedeelte dat in warmte wordt omgezet ter verkrijging van een behoorlijk nuttig effect zoo klein mogelijk gehouden moet worden, aangezien dit deel voor ons verlies betekent. Het feit dat de hoeveelheid warmte, die elke lamp krachtens haar constructie inwendig verteren kan niet overschreden kan worden zonder ernstig "levensgevaar" voor de lamp op te leveren en mitsdien min of meer zware financiële offers voor haar eigenaar, voert vanzelf reeds naar dit streven naar een behoorlijk rendement, immers, indien een lamp bijv. 10 Watt aan warmte mag verteren (maximale anodedissipatie = 10 Watt) terwijl zij bij een bepaalde instelling van een opgenomen energie van 10 Watt 5 Watt in hoogfrequentenergie wederom afgeeft, kan men de input weer verhogen, totdat van de totaal toegevoerde energie 10 Watt aan de anode in warmte wordt omgezet. (= gedissipeerd) Men zal dadelijk inzien dat de hoogsttoelaatbare input bij deze instelling 20 Watt mag bedragen. Men spreekt dan van een rendement van 50%, d.w.z. dat 50% van de toegevoerde energie als hoogfrequente trillingen weer wordt afgegeven.

De naam 10 Watt lamp, 20 Watt lamp of 50 Watt lamp enz. duidt uitsluitend op de maximale anodedissipatie, m.a.w. méér dan die opgegeven energie mag men de lamp niet inwendig laten verteren. Het betekent dus geenszins dat men bijv. aan een 10 Watt zendlamp niet meer dan 10 Watt anode-energie mag toevoeren. Indien men een nuttig effect van 75% weet te bereiken, mag men de input bij die genoemde "10 Watter" dus gerust tot 40 Watt opvoeren!

In fig.135 is de toestand van de lamp in den "ruststand" zooals die besproken werd in den aanhef van deze paragraaf voorgesteld. Bij 0 roosterspanning en de bij de geteekende karakteristiek behorende plaatspanning heeft de plaatstroom dus de waarde OP. De kleine curve onderaan de tekening is de z.g. roosterstroomkarakteristiek. Zij geeft het verband tusschen roosterstroom en roosterspanning. Aangezien we hebben gezien dat alleen roosterstroom kan lopen wanneer het rooster positief is t.o.v. gloeidraad, zal zij rechts van de nullijn moeten liggen en door het nulpunt gaan. Aangezien dus bij 0 Volt roosterspanning geen roosterstroom optreedt, hebben we hiermede bij onze eerste beschouwing niets te maken.

Beschouwen we vervolgens het geval, dat aan het rooster een wisselspanning wordt aangelegd, zooals bijv. het geval zal zijn bij een genereerende, teruggekoppelde generator. Wat er dan zal gebeuren is te verklaren van de hand van fig.136. Zooals we reeds eerder hebben gezien, veroorzaken de roosterspanningsveranderingen overeenkomstige plaatstroomveranderingen. De milliampèremeter in den plaatkring kan deze snelle wisselingen echter niet volgen en blijft daarom den gemiddelden anode-gelijkstroom aanwijzen. In werkelijkheid hebben wij echter in den plaatkring den plaat-gelijkstroom, met daarop gedrukt (= gesuperponeerd) een h.f. wisselstroom. Deze h.f. wisselstroom kunnen we nu afvoeren om bijv. een antenne aan te stooten.

Enig nadenken voert echter direct tot de overweging, dat de werkelijkheid niet zoo eenvoudig is, als hier beschreven. Uit fig.136 zien we, dat het rooster telkens even positief wordt. Zoodra evenwel het rooster positief wordt, gaat het electronen aantrekken en ontstaat dus een roosterstroom; d.w.z. gedurende de oogenblikken dat het rooster positief is ten opzichte van den gloeidraad zullen electronen van den gloeidraad zich door de lamp naar het rooster begeven, om van daar via den lekweerstand naar den gloeidraad terug te vloeien. De wet van Ohm leerde ons nu, dat een stroom in een weerstand een spanningsval veroorzaakt, gelijk aan: $E = I \cdot R$. Door het ontstaan van den roosterstroom, wordt het rooster dus automatisch op een negatief potentiaal gebracht ten opzichte van den gloeidraad. (de -negatieve- electronen stroomen immers van het rooster naar den gloeidraad)

Niet zoodra is het rooster echter negatief ten opzichte van den gloeidraad, of het werkpunt van de lamp zal zich in de karakteristiek naar links verplaatsen. Inplaats van fig.136 krijgen we dus fig.137, waarin dit werkpunt wordt aangeduid door de letter V. Zoodra dus genereeren optreedt, en het rooster telkens even positief wordt, verplaatst het werkpunt zich naar links. Slaat men den milliampèremeter in den plaatkring gade, dan ziet men bij het aanslaan (aan het genereeren slaan) van de lamp den wijzer dan ook terugloopen, doordat de gemiddelde plaatstroom daalt. Het werkpunt van zulk een genereerende lamp zal dus links van de nullijn liggen en stelt zich zoodanig in, dat de toppen van de roosterspanning telkens juist zooveel roosterstroom doen lopen dat dit punt constant gehouden wordt. De plaats van dit werkpunt op de karakteristiek hangt, zooals na voorgaande uiteenzetting duidelijk zal zijn, af van de grootte der roosterwisselspanningen en van de waarde van den lekweerstand. Versterking der terugkoppeling brengt grootere roosterspanningsamplituden teweeg. Hierdoor neemt de roosterstroom toe en daarmede automatisch de negatieve roosterspanning. Vergrooiting van de waarde van den lekweerstand geeft grootere spanningsval, dus grootere neg. roosterspanning en tevens

kleinere roosterstroom. Door deze beide regelingen kan men dus het werkpunt van de lamp naar links verschuiven, waardoor blijkens de karakteristiek de opgenomen energie daalt, en het rendement stijgt. (belangrijk!)

In de praktijk kunnen de roosterwisselspanningen zeer groote amplituden aannemen, zoodat in de eene halve periode de plaatstroom geheel nul wordt, terwijl in de andere een plaatstroomimpuls tot het verzadigingspunt optreedt. (fig.138) Steeds dient men hierbij echter te bedenken dat, indien de roosterexcitatie (d.i. de wisselspanning op het rooster) zou wegvallen, bijvoorbeeld door het afslaan van de lamp, de roosterstroom, dus tevens de automatische negatieve rooster spanning, verdwijnt, waardoor de plaatstroom zeer hoog oploopt. Heeft men de lamp zoodanig ingesteld, dat zij in genereerenden toestand juist de maximaal toelaatbare energie aan de anode dissipeert, dan zal bij niet-genereren (afslaan) de lamp plotseling sterk overbelast worden en zal zij vernield worden zoodat men niet oogenblikkelijk de hoogspanning afschakelt. Om dit gevaar te ondervangen past men dan ook in vele gevallen in serie met het roosterlek het gebruik van een rooster-spanningsbatterij toe, welke zóó groot is, dat direct gevaar voor vernieling bij afslaan niet aanwezig is.

Bij het afstemmen van den antennekring op den oscillatorkring ontvangt de eerste een hoeveelheid energie van den oscillator. Dit heeft als vanzelfsprekend invloed op de terugkoppeling, aangezien de oscillator nu een zeer groot deel van de beschikbare energie afgeeft. De terugkoppeling (of liever de intensiteit van de teruggekoppelde trillingen) verzwakt hierdoor en daarmee de roosterexcitatie. De plaatstroom zal dus stijgen bij afstemming van de antenne, terwijl de roosterstroom daalt. (belangrijk!)

Het spreekt vanzelf, dat men instelling zooals hiervoor aangegeven (versterkte terugkoppeling, verhoogde plaatspanning) alléén mag doen wanneer de door de lamp ontwikkelde energie a f g e g e v e n wordt, dus wanneer een absorbtiekring, antenne, etc. met den oscillator gekoppeld is. Over het algemeen geldt dat een verhouding van rooster-tot anodestroom van 1 : 5 een goed rendement geeft.

Gelijk- of wisselstroomvoeding voor den gloeidraad.

In het algemeen is over dit onderwerp reeds het een en ander verhandeld, zoodat ons thans nog slechts een enkele beschouwing rest. Beschouwen we fig.139, waarin een gloeidraadkring voor gelijkstroomvoeding geteekend is, dan zien we daar de electronenstroom van - accu door den gloeidraad naar + accu met (groote) pijlen aangegeven. De door den gloeidraad als gevolg van warmteontwikkeling geëmitteerde electronen, die naar de plaat vliegen, bereiken echter via den uitwendigen plaatkring het punt - accu, vanwaar zij zich over den gloeidraad verdeelen en opnieuw uitgestooten worden. De gloeidraad zal dus ongelijk belast worden: bij - accu met den gloeistroom plus den totalen plaatstroom, bij + accu alleen met den gloeistroom. Van - accu naar plus accu neemt de belasting dus geleidelijk af van gloei- plus plaatstroom tot gloeistroom alleen. Is die plaatstroom klein, dan kan de invloed hiervan verwaarloosd worden, doch bij grotere lampen, met eenigszins aanzienlijken anodestroom, moet dit feit niet uit het oog worden verloren. Men doet in dat geval goed de aansluitingen aan den gloeidraad van tijd tot tijd om te wisselen. Bij zendlampen verdient het daarom steeds aanbeveling den gloeidraad met wisselstroom te voeden. Gevaar voor brommen behoeft niet te bestaan indien voor een juiste middenaftakking wordt gezorgd en de gloeidraad van voldoende dikte is. In fig.140 is met kleine pijltjes verduidelijkt hoe bij wisselstroomvoeding de plaat-electronenstroom zich over de beide gloeidraadhelften verdeelt. De belasting is dus, dank zij de middenaftakking, symmetrisch.

Zendschakelingen

Alvorens over te gaan tot het behandelen van enkele der meest bekende zendschakelingen, dient ter voorkoming van wanbegrippen te worden opgemerkt, dat de te verkrijgen resultaten wat betreft de met een zender te overbruggen afstand vrijwel onafhankelijk zijn van de gebruikte schakeling. Hoofdzaak is, dat een behoorlijk rendement verkregen wordt, d.w.z. dat een groot gedeelte van de toegevoerde energie aan de lamp ook in hoogfrequente trillingen wordt omgezet en aan de antenne wordt afgegeven. Weet men dit te bereiken, dan doet de zendschakeling er verder niets toe. Dit neemt natuurlijk niet weg, dat de eene zendschakeling zich gemakkelijker laat instellen, enz, zoodat wel eens mogelijk is dat met de eene schakeling méér bereikt wordt dan met de andere. Voorts kan men zeggen dat een z.g. vreemd-geëxciteerde lamp (d.i. een lamp die haar roosterexcitatie niet ontleent aan een terugkoppeling, doch aan een andere genereerende lamp, zoodat de lamp als versterker werkt) over het algemeen een wat grooter nuttig effect heeft dan een zelfgeëxciteerde (teruggekoppelde) lamp en ter slotte leent de eene schakeling zich voor een bepaald doel beter dan de andere. (Zie antenneconstantheid, geschiktheid

op zeer hoge frequenties, enz.) De te overbruggen afstand hangt vrijwel uitsluitend af van de momentele atmosferische omstandigheden, de gebezigde antenne, de energie, de toonkwaliteit en de frequentieconstantheid. Vooral ook dit laatste is uitermate belangrijk, daar een zwak, doch zeer stabiel signaal veel gemakkelijker neembaar is dan een veel sterker teken waarvan de frequentie een weinig slingeret.

We kunnen de zendschema's verdeelen in twee groote groepen, n.l.

- 1^o zelfgeëxciteerde zenders
- 2^o vreemdgeëxciteerde zenders

1. Zelfgeëxciteerde zenders

Hieronder rekent men die schakelingen, waarbij de roostertrillingen der zendlamp, die versterkte trillingen in den plaatkring ten gevolge hebben, door de lamp zelf geleverd worden. Men maakt dus gebruik van een terugkoppeling. (zie "generator")

De meest bekende schema's van deze soort zijn het Hartley (= "Dreipunkt") het Colpitts, het TPTT en het Meany schema.

Het Hartley-schema is afgebeeld in fig. 141. Men ziet, dat slechts één enkele spoel gebruikt wordt, die zoowel den plaat- als den roosterkring omvat. De werking dezer schakelin doorziet men zeer gemakkelijk aan de hand van fig. 142a-d. In fig. 142a vindt men het eenvoudige generatorschema met inductieve terugkoppeling. Voor het gemak zijn de afstemcondensator en hoogspanningsbron weggelaten in de tekening. We kunnen fig. 142a anders teekenen door bijv. L_2 naar onderen "om te klappen", waardoor fig. 142b ontstaat. Waar L_1 en L_2 beide aan den gloeidraad verbonden zijn, is het niet nodig er nog twee afzonderlijke spoelen op na te houden, doch kan men één enkele spoel gebruiken, waarvan een zijde met de anode, en de andere zijde met het rooster verbonden is, terwijl de gloeidraad ergens tusschen die twee punten in ligt. Teekenen we het aldus, dan zien we in fig. 142c reeds groote overeenkomst met fig. 141.

Zeër goede resultaten kunnen verkregen worden met het geteekende schema met twee afzonderlijke spoelen. Men zal gemakkelijk inzien, dat wanneer we twee spoelen gebruiken, plaat en rooster verbonden moeten worden op de aan de hand van fig. 130 op pag. 58 besproken wijze. Immers, uit fig. 142c blijkt duidelijk dat plaat en rooster respect. verbonden zijn aan twee punten, die met elkaar in tegenfase zijn, terwijl de gloeidraad daartusschen in verbonden is. Vroeger gebruikte men steeds twee afzonderlijke spoelen, die in elkaar geschoven konden worden om de mate van terugkoppeling te regelen. O.m. tot het verkrijgen van korte verbindingen bij de destijds groote spoelen voor 200 m en hoger was het gewenscht de plaat- en roosterzijden van resp. L_2 en L_1 zoo dicht mogelijk bij elkaar te hebben. Dit kon nu verkregen worden door de spoelen tegengesteld te wikkelen, zie fig. 143. (men keert dan immers de richting van het veld om!) Hierdoor komt de roosterzijde van L_1 in de tekening bovenaan de spoel te liggen. Deze modificatie stond bekend onder den naam "reversed feed back" (= omgekeerde terugkoppeling). De benaming is natuurlijk geheel onjuist, omdat niet de terugkoppeling omgekeerd is, doch de wikkelrichting van de spoel. Reversed feed back en Hartley zijn dus nauw met elkaar verwant.

We gaan het Hartley-schema nu verder opbouwen. Wisselen we in fig. 142c even de verbindingen naar plaat en rooster om, dan hebben we in fig. 142d als principeteekening geheel hetzelfde als in fig. 141. Als men bovenstaande beschrijvingen goed heeft gevolgd, zal men met het schema verder niet veel moeite hebben. We hebben vaak opgemerkt, dat velen niet onmiddellijk juist den plaatkring en roosterkring van een Hartley kunnen onderscheiden. De in fig. 142 geteekende afleiding voorkomt deze moeilijkheid. Het is voorts duidelijk dat men de mate van terugkoppeling in de hand heeft met het gloeidraadcontact. Door dit contact te verplaatsen vergroot men bijv. den plaatkring, doch verkleint tevens den roosterkring, enz. Plaatkringvergrooting beteekent sterkere terugkoppeling. Typisch bij de Hartley schakeling is, dat niet of plaatkring of roosterkring wordt afgestemd, doch dat plaat- en roosterkring elk een deel zijn van den slingerkring LC.

Het schema van fig. 142d kan natuurlijk zóó niet werken, aangezien geen hoogspanningsbron geteekend is. De "voeding" ontbreekt! Deze plaatvoeding kan op twee manieren geschieden, n.l. in serie met den trillingskring en parallel aan den trillingskring. Men spreekt dan eenvoudig van serievoeding of parallelvoeding. Figuur 141 stelt een parallel gevoede Hartley schakeling voor. De scheidingcondensator C_s is hier noodzakelijk ter voorkoming van kortsluiting van de hoogspanningsbron. De op de plaat optredende hoogfrequente variaties willen wij aan den LC kring toevoeren. Om te verhinderen dat zij via de hoogspanningsbron afvloeien, is de hoogfrequentismoorspoel S_m tusschen plus- en min-voeding en de spoel opgenomen. Men merke op, dat de perktatie van zoowel S_m als C_s het geheel van de schakeling beheerscht. Een slechte smoorspoel kan ten gevolge hebben dat het toestel absoluut niet wil genereeren! S_m moet dus een hoogen weerstand voor hoogfrequente stroomen bezitten. C_s daarentegen moet aan de hoogfrequente stroomen een

zoo klein mogelijk weerstand bieden. De isolatie moet uitstekend zijn, want niet alleen moet de volle anode-gelijkspanning geblokkeerd worden, doch de hoogfrequente stroom moet zagenoeg ongehinderd kunnen passeeren, zonder ernstige verliezen op te leveren (zie bij "condensatoren") en zonder den condensator te beschadigen. Verder geeft het schema geen aanleiding tot veel opmerkingen. Een roostercondensator met lekweerstand is aangebracht teneinde het rooster automatisch de benodigde negatieve lading te geven.

Serievoeding wordt ook veelvuldig toegepast en heeft uitgesproken voordeelen boven parallelvoeding. Een goede behandeling voor parallelvoeding vindt men in fig. 144. De hoogspanningsbron staat nu in serie met den plaatkring. Het voordeel is, dat de nimmer ideale smoorspoel S_{m1} uit fig. 144 kan vervallen, aangezien de hoogfrequente spanningsvariaties aan de anode onmiddellijk in den plaatkring komen. Over de hoogspanningsbron is nu een condensator C_3 geplaatst, welke dient om de hoogfrequente trillingen buiten de hoogspanningsbron af te voeren. Deze condensator moet van dezelfde goede kwaliteit zijn als C_3 bij parallelvoeding. Bij serievoeding vervalt C_3 natuurlijk. Het is wenschelijk, ofschoon niet absoluut noodzakelijk, in serie met de leiding naar plus hoogspanning een hoogfrequent-smoorspoel S_{m2} op te nemen. Aan deze smoorspoel behoeven niet zulke zware eischen gesteld te worden als aan de scheidingssmoorspoel in fig. 141. Men kan het als een bezwaar van de serievoeding beschouwen, dat de hoogspanning op de afstemspoel staat. Hieraan moet gedacht worden bij het verplaatsen van clips. Een groot nadeel is het evenwel niet, aangezien het steeds aanbeveling verdient de hsp af te zetten, wanneer iets aan de instelling moet worden veranderd, (denk bijv. aan het gevaar voor afslaan van de lamp, als met meer energie gewerkt wordt dan de maximaal toelaatbare dissipatie-energie!) en bovendien brandt men zijn vingers zeer gemakkelijk aan hoogfrequente stroomen! (Vele jaren gelden in QST als "afstemmiddel" aangemerkt!!!) Aandacht verdient de plaatsing van den lekweerstand bij serievoeding. Deze mag nu niet over den roostercondensator worden geplaatst, omdat de spoel onder hoogspanning staat. Men legt den weerstand daarom aan - gloeidraad of aan de midderaftakking, als de gloeidraad met wisselstroom wordt gevoed. Om te voorkomen dat de hoogfrequente wisselspanningen via den lekweerstand afvloeien, wordt een lekweerstand nog voorgeschakeld. Deze moet van goede kwaliteit zijn. Men kan deze kwaliteit onder de gegeven omstandigheden eenvoudig als volgt onderzoeken: Aansluiting van S_{m2} aan de lekweerstand-zijde mag géén invloed hebben op den uitslag van den antennessroom- of anodestroommeter. Bewegen de meters, dan is de smoorspoel nog niet ideaal, want er blijkt dan h.f. stroom weg te lekken. De voedingsclip a is bij serievoeding tevens weer het terugkoppelscontact.

Het Colpitts schema. Heeft men eenmaal den zandschema goed begrepen, dan kost het weinig moeite ook de werking van andere schema's te doorzien. Zoo is het Colpitt's schema, na de behandeling van de Hartley zeer eenvoudig. In fig. 145a en b is het principieele verschil tusschen Hartley en Colpitts aangegeven. Bij de Hartley vonden we rooster en plaat elk aan een kant van de spoel verbonden en de gloeidraad aan een aftakking op de spoel daartusschen in. Deze aftakking bestaat bij de Colpitts schakeling eveneens, doch het punt is hier capacitief bepaald door de condensatoren C_1 en C_2 . Wanneer wij C_1 en C_2 beide variabel maken, kunnen we het schema uit fig. 145b praktisch voor zenddoeleinden gebruiken. Echter krijgen we met eigenaardige moeilijkheden te kampen. Bijv. vergroting van C_1 vergroot de golfenlengte, maar versterkt tevens de terugkoppeling, terwijl vergroting van C_2 de terugkoppeling weer vermindert, doch de golfenlengte eveneens doet toenemen. Om hieraan tegenoet te komen kunnen we de schakeling van fig. 145b toepassen. Het rooster is nu niet onmiddellijk aan C_2 verbonden, doch met een clip kan afzonderlijk de juiste terugkoppeling worden ingesteld. Dit contact kan zoowel binnen als buiten het condensatorcontact op de spoel vallen. Bij praktische uitvoering van een Colpitts zender onder de tegenwoordige omstandigheden, kan men het beste het schema van fig. 147 benutten. Dit schema biedt besliste voordeelen. Bij onze tegenwoordige lampen wordt vrijwel geen last ondervonden met moeilijk genereeren, zoodat het, althans op de ons toegestane frequentiebanden niet absoluut noodzakelijk is een instelbare terugkoppeling te hebben. Daarom kunnen C_1 en C_2 , de z.g. "spanningsdecalers", vast worden genomen, terwijl C_3 , die variabel is, de frequentie regelt. Clips kunnen nu geheel vermeden worden en daarmee soepele snuities, die licht aanleiding tot frequentieveranderingen kunnen geven. C_1 en C_2 kunnen elk bijv. 350 μF zijn; de maximumwaarde van C_3 bijv. 250 μF . Beschouwen we het schema nog eens aandachtig, dan zien we dat C_1 parallel staat aan den plaat-gloeidraade-capaciteit van de lamp en C_2 parallel aan den rooster-gloeidraade-capaciteit. C_3 , tenslotte, staat parallel aan de leegcapaciteit tusschen anode en rooster. Een van de oorzaken van het niet constant zijn van de frequentie bij een zender is, dat de inwendige deelen van de lamp door verhitting tijdens het bedrijf uitzakken, waardoor de capaciteit tusschen die deelen groter wordt. Staat nu een kleine afstemcondensator hieraan parallel, dan zal die capaciteitsverandering wel degelijk invloed heb-

ben op de afstemming. Het signaal "kruipt". Het spreekt vanzelf, dat hoe groter de capaciteit is, welke parallel geschakeld is aan de inwendige lampcapaciteit, des te kleiner de invloed van die veranderende lampcapaciteit zal zijn. Van deze zijde bezien, bezit het Colpitts schema volgens fig.147 uitgesproken voordeelen. Echter dient niet uit het oog verloren te worden, dat een vliegwieltkring met groote C en kleine L wat de verliezen betreft ongunstiger is dan een, waarin L groot en C klein is. Bij twee vliegwieltkringen, op dezelfde frequentie afgestemd, zal in dengene met groote L en kleine C de z.g. "rondgaande stroom" kleiner zijn, dan in den kring met kleine L en groote C. Hoe groter nu de stroom, des te meer kans op verliezen hebben we; (vergel. blz.29 no.7) daarom moet men in z.g. "hooge C" kringen, deze C niet al te hoog opvoeren en vooral in dergelijke kringen overgangsweerstanden van knijpers e.d. vermijden.

In fig.147 is parallelvoeding geteekend. Het spreekt vanzelf, dat evenals bij de Hartleyschakeling serievoeding kan worden toegepast, door + hsp bijv. aan punt a te verbinden. Men merke op, dat in het Colpitts schema een scheidingscondensator, zooals C_3 in het Hartley schema (fig.141) overbodig is. Hiertoe dienen C_1 en C_2 reeds. Tenslotte zij erop gewezen, dat de roosterlekweerstand niet zooals bij de Hartley over den roostercondensator geschakeld mag worden, omdat er via dien weg geen galvanische verbinding met den gloeidraad is. De roostercondensator moet bestand zijn tegen de volle anodespanning.

Het TPTG schema. (fig.148) Deze schakeling, ook wel bekend onder de naam "Armstrong-schema", ontleent haar naam aan het Engelsch. (Tuned plate, tuned grid) In het Nederlandsch zou dit moeten luiden: afgestemde rooster- en plaatkring.

De spoelen L_1 en L_2 worden zorgvuldig buiten elke koppeling gehouden, door ze bijv. een eind uit elkaar rechthoekig op elkander op te stellen. Hadden we bij de Hartley een (vaste) magnetische koppeling tusschen rooster- en plaatkring en bij de Colpitts een capacitive, bij het TPTG schema wordt gebruik gemaakt van de (kleine) inwendige lampcapaciteit om terugkoppeling op den roosterkring te bewerkstelligen. Als we op de een of andere manier een lading op het rooster brengen, zal een versterkte impuls in den plaatketen hiervan het gevolg zijn. C_2 wordt daardoor opgeladen en de kring L_2C_2 gaat in zijn eigen frequentie uittrillen. Tusschen de punten a en b ontstaat dus een spanningsverschil, en derhalve ook tusschen anode en gloeidraad van de lamp. Naarmate de afstemming van L_2C_2 dichter de afstemming van L_1C_1 nadert, zal de damping in L_2C_2 geringer worden voor een impuls verkregen van L_1C_1 . Via de gestippeld geteekende inwendige lampcapaciteit ontvangt het rooster een lading "terug" uit den plaatkring, waardoor L_1C_1 wederom in trilling komt, enz. Nu hangt het er maar van af of de terugontvangen impulsen "juist op tijd" aankomen om de roostertrilling te onderhouden. De lamp zal dan genereeren. Dit is het geval wanneer de afstemming van den plaatkring iets onder die van den roosterkring ligt.

Het schema biedt overigens niets nieuws. C_p is weer de z.g. "bypass"-condensator, welke evenals in de vorige schema's een waarde van 1000 à 2000 μF kan hebben. De TPTG schakeling genereert uiterst makkelijk. Een kleine modificatie toont fig.149. Wanneer plaat- en roosterkring op dezelfde frequentie zijn afgestemd, is de terugkoppeling zeer aanzienlijk. Het gevolg hiervan kan zijn: overbelasting van de lamp. Nu heeft men de mate van terugkoppelen in de hand door bijv. de roosterkring iets te ontstemmen, doch dit kan wel eens oorzaak zijn dat de frequentie van het stelsel verspringt, zoodat de lamp nu eens in de frequentie van den roosterkring genereert, dan weer eens de frequentie van den plaatkring volgt. Daarom is een gelijke plaat- en roosterkringafstemming te prefereren. De terugkoppeling kan men dan verzwakken door het rooster lager op de spoel af te takken. Het genereeren is ook te beheerschen door gedeeltelijk neutrodyniseeren. (zie bij versterkers) Is de inwendige lampcapaciteit zóó klein dat het genereeren niet sterk genoeg is, dan kan men deze vergrooten door een neutrodyncondensator parallel te schakelen tusschen rooster en plaat.

Het Mesny schema. Fig.150 is het schema van deze, vooral in Frankrijk veelvuldig toegepaste, zendschakeling. Hier zijn twee lampen "in balans" geschakeld, d.w.z. de twee roosters, resp. twee platen, verkeerden voortdurend in tegenfase. Waar de hoogspannings- en min-gloeidraadleidingen in het midden der spoelen zijn bevestigd, zullen de beide lampen elkaars werking ondersteunen. Teekenen we even het schema "gehalveerd", dus beschouwen we slechts de kringen van één lamp (fig.151) dan zien we, dat dit zeer veel lijkt op het gewone generatorschema. Een van de aangename eigenschappen van een Mesny zender is dan ook, dat bij het bezwijken van een der lampen gedurende het bedrijf, de zender, zij het ook met verminderde energie, blijft doorwerken. In de praktische uitvoering van het schema is de rooster spoel zeer vast met de plaatspoel gekoppeld (de spoelen liggen om elkaar heen), terwijl de antenne weer met de plaatspoel gekoppeld

wordt. Deze antennekoppeling geschiedt in het midden van de spoel door de antennespoel weer om de plaatspoel heen te leggen. Het Mesnyschema is bruikbaar tot de allerkortste golven (2 meter) Dit is trouwens een eigenschap van alle "push pull" of balansschakelingen. Bij de behandeling van het Colpitts schema is gewezen op de rol die de inter-electroden capaciteit van een lamp speelt in de frequentieconstantheid van een zender. In een balansschakeling heeft men de twee lampcapaciteiten *i n s e r i e*, terwijl deze serieschakeling parallel aan den afstemcondensator staat. De resulterende lampcapaciteit is dus in een balansschakeling veel geringer (de helft) dan in een ander schema. De kans op frequentieverandering als gevolg van het zich wijzigen van de inwendige lampcapaciteit is hier dus veel geringer. Doch de verkleining der inter-electroden capaciteit is tevens de reden, waarom een push pull-schakeling zich zoo goed leent voor ultra-hooge frequenties. Verkleint men in een generatorschema voortdurend den afstemcondensator en ook de spoelen, dan blijkt, dat men tenslotte bij nóg kleiner maken der afstemcapaciteit (wegnemen van den condensator) de frequentie niet hoger meer maken kan. De plaat-gloeidraadcapaciteit van de lamp beheerscht nu de afstemming! Slechts bij verkleining van *d e z e n* condensator kan de frequentie weer hoger worden. Het spreekt vanzelf dat een balansschakeling daarom steeds met voordeel kan worden gebruikt voor dergelijke proeven.

Uit fig.151 ziet men, dat de Mesny schakeling feitelijk principieel niets nieuws geeft, na al hetgeen bij de voorafgaande schema's werd opgemerkt. Alle schema's zijn trouwens zeer nauw verwant en ook de Hartley enz. kan in balans worden uitgevoerd. (zie fig.152) Steeds moet men ervoor zorg dragen, dat de rooster aftakkingen even ver van het midden der spoel afliggen! Parallelvoeding is hier toegepast, doch men kan natuurlijk het schema eveneens met serievoeding uitvoeren. In dat geval mag men echter niet meer met één roostercondensator volstaan maar moet elk rooster een condensator met lek naar min- of midden-gloeidraad hebben om te voorkomen, dat de roosters onder plaatspanning komen te staan. (fig.153) De antenne koppelt men in een push pull schakeling liefst aan beide zijden van den oscillatorkring. Daartoe wordt de antennespoel in tweeën gesplitst als in fig.153 is aangegeven.

2. Stuurlampzenders of vreemd geëxciteerde zenders.

Bij de tot nu toe besproken schakelingen werden de roosterwisselspanningen verkregen door een deel van den hoogfrequent-energie uit den plaatkring door middel van terugkoppeling in den roosterkring terug te voeren. Zooals in bovenstaande namen reeds tot uitdrukking komt, zullen we het nu hebben over schakelingen, waarin de zendlamp haar roosterexcitatie ontvangt van een afzonderlijken oscillator. Een zender volgens dit principe, hetwelk in fig.154 is aangegeven, noemt men kortweg wel "MOPA". (Master Oscillator - Power Amplifier) Vertaald luidt dit: Stuurlamp en energie-versterker, hetgeen wil zeggen dat de combinatie bestaat uit een oscillator, waarvan de plaatenergie door een tweede lamp wordt versterkt. Het oscillatorgedeelte (de "KO") kan bestaan uit een der tot nu toe besproken schema's en werkt ook juist zooals bij de behandeling daarvan werd aangegeven. Een eerste eisch is natuurlijk, dat de oscillator een absoluut constante frequentie produceert. Alleen in dat geval zal het voordeel van een stuurzender -welk voordeel bestaat in de mogelijkheid een constanter signaal te *k u n n e n* uitzenden- tot zijn recht komen. Bij een oscillator toch brengt bijv. een verhooging van de plaatspanning een sterkere terugkoppeling teweeg, welke niet alleen de amplituden der roosterwisselspanningen versterkt, doch ook invloed heeft op de eigen-frequentie van den kring. (wijziging der zelfinductie door verhoogden stroom) Bij een Master oscillator zal men daarom de opgenomen energie zeer beperkt houden ten opzichte van de energie die de lamp kan verwerken. De in den plaatkring optredende energie moet echter groot zijn ten opzichte van het gedeelte hiervan, dat voor excitatie van den versterker wordt gebruikt, opdat eventuele belastingsvariatiën relatief klein zijn. De stuurlamp behoort dus een lamp te zijn van voldoende grootte, doch die onderbelast werkt. In dit geval wordt dan ook geen last ondervonden van eventuele wijziging van de inter-electroden capaciteit, enz. Voorts is het gewenscht, als men een Colpitts oscillator gebruikt, de twee z.g. overbruggingscondensatoren te maken met *l u c h t*-diëlectricum. Door deze condensatoren vloeit, ook bij kleine energie, een vrij hoge hoogfrequentstroom, waardoor de condensatoren verhit worden, speciaal bij plaatsing van den oscillator in een afscherming. Bij de Hartley heeft men daar geen last van.

De spanningen die bij resonantie optreden aan de einden van L_1 , worden aan het rooster van den energieversterker (de "PA") toegevoerd. De energieversterker werkt nu als een gewone versterker, zooals we die reeds hebben besproken. De roosterexcitatie doet in het in fig.154 geteekende geval pulseerende roosterstroom vloeien, welke aan den lekweerstand een spanningsval veroorzaakt, waardoor dit rooster een negatieve spanning krijgt ten opzichte van den gloeidraad. (de plaatstroom daalt) Bij afregeling van den "PA" draait men dan ook C_2 totdat de milliampèremeter in de hoogspanningsleiding een

minimum aanwijst. Dit laatste eischt nog eenige toelichting. Ook wanneer de versterker niet op den oscillator is afgestemd, zal bij het inschakelen van den oscillator door bovengenoemde oorzaak de gemiddelde plaatstroom dalen. Reeds eerder is er evenwel op gewezen, dat de plaatstroom die een lamp neemt ontbonden kan worden in een gelijkstroom, met daarop gesuperponeerd een wisselstroom van hoge frequentie. De plaatmilli-ampèremeter wijst de gemiddelde waarde van deze beiden aan. Door nu den plaatkring in resonantie te brengen, ondervindt de hoogfrequente wisselstroom-component een hoogen weerstand, welke hoogen is naarmate de afstemming meer de resonantiefrequentie nadert. De gemiddelde plaatstroom zal dan dalen. In de meteraflezing heeft men dus een uitstekend middel tot juiste afstemming. (de trillingen zijn niet sinusvormig).

Doordat de versterkerlamp geen terugkoppeling behoeft, is de uitgezonden frequentie zeer constant. Plaatspanningsverhoging heeft nagenoeg geen invloed op de frequentie. Er moet echter zorg voor worden gedragen, dat de versterkerlamp niet uit zichzelf genereert, aangezien dan alle voordeelen van het stelsel wederom verdwijnen. Neemt men echter hiertegen geen voorzorgen, dan kan zelfgenereren licht optreden omdat de plaatkring van den stuurzender tevens roosterkring van den versterker is. Om deze reden neutrodyniseert men den "PA".

Is de stuurlamp eenmaal goed constant, dan verdient het aanbeveling om den plaatkring van den versterker zoo verliesvrij mogelijk te maken, d.w.z. den L_2C_2 -kring te doen bestaan uit kleinen C en groote L. Hierdoor worden de spanningen aan de uiteinden van den kring zoo hoog mogelijk (de z.g. takstroomen worden klein, dus weinig verliezen). Het afstemmen van de antenne kan, evenals trouwens bij alle zenders, weer het beste met behulp van den plaatkringmilliampèremeter geschieden. De plaatspoel en de antennespoel vormen een transformator. (fig. 154: inductieve antennekoppeling). De in den antennekring ontstaande stroomen zijn dus steeds in tegenfase met die in den plaatkring. Om dezelfde reden waarom de stroom in de primaire van een transformator stijgt bij belasting van de secundaire, stijgt hier de plaatstroom als gevolg van de antenneafstemming. Men stelle dus in op grootsten plaatstroom.

Wanneer men de anodeënergie van een zelf-geëxciteerden zender vergelijkt met dien van een stuurzender, dan ziet men, dat, waar bij de zelfgeëxciteerde lamp een deel der energie voor terugkoppeling noodig is, de vreemdgestuurde lamp feitelijk alles voor de antenne disponibel heeft. Theoretisch kan men dus met een vreemdgestuurden zender met de maximaal toegestane anode-energie van 50 watt méér antenne-output krijgen dan met de zelfgestuurde lamp.

De instelling van den neutrodyncondensator. Wanneer de stuurlamp werkt, doch van den versterker de plaatstroom verbroken is, zal via de inwendige lampcapaciteit eenige hoogfrequentstroom in den plaatkring van den "PA" optreden. Men kan dit aantonen door een hittedraadmeter in den plaatkring geslurende de eerste afregeling op te nemen. (een met den plaatkring gekoppelden indicatiekring is in den regel niet gevoelig genoeg) Men draait nu aan den neutrodyncondensator totdat de meter vrijwel nul aanwijst. Voor die bepaalde lamp behoeft die instelling dan geen wijziging meer. Stuurlampzenders zijn tegenwoordig zeer populair. Men kan er een uiterst constant signaal mee verkrijgen, terwijl de instelling, zij het ook eenigszins lastiger dan van een zelfgeëxciteerden zender, eenvoudig is.

....

Het gebruik van kwartskristalplaatjes.

Tegenwoordig wordt meer en meer gebruik gemaakt van kwartskristalplaatjes om de frequentie van oscillatoren constant te houden. Kwartsplaatjes hebben n.l., indien zij op de juiste wijze vervaardigd zijn, de eigenschap mechanisch te kunnen trillen in een zeer hoge frequentie. De eigenfrequentie van het plaatje hangt natuurlijk ten nauwste samen met de dikte en wel zal de frequentie van een dun plaatje veel hooger zijn dan die van een dikker exemplaar.

De schakeling van een kristaloscillator komt zeer sterk overeen met het TPTC-schema. Spoel en condensator in den roosterkring zijn hier echter vervangen door het kristal, hetwelk tusschen twee vlakke metalen plaatjes geplaatst is. Een kristal gaat vibreeren, wanneer er een elektrische lading op gebracht wordt en omgekeerd ontstaat een elektrische lading op het kristalplaatje, indien er een lichte druk op uitgeoefend wordt. Een kleine lading op het rooster van de lamp veroorzaakt in den plaatkring een versterkten impuls. Evenals bij de TPTC-schakeling komt hiervan in den roosterkring iets terug. Is de plaatkring nu afgestemd op de kristalfrequentie, dan zullen de capaciteif verkregen ladingen het kristal laten trillen in zijn eigen frequentie. Een kleine ontstemming van den plaatkring doet het kristal onmiddellijk "afslaan". De frequentieconstantheid van een kwartsoscillator is zeer groot, aangezien de frequentie van het kristalplaatje uitsluitend bepaald wordt door zijn afmetingen. Hieruit volgt, dat alléén temperatuursveranderingen, waardoor het kristal andere afmetingen krijgt, de frequentie kunnen veranderen. De temperatuursinvloed is niet voor alle kwartsplaatjes dezelfde, bij sommige

heeft temperatuursverandering géén frequentieverandering ten gevolge. Teneinde negatieve roosterspanning aan de lamp te kunnen geven, plaatst men parallel met het kristal een lekweerstand of een smoorspoel. (fig.155.) De eigenfrequentie van de smoorspoel mag in geen geval dicht bij die van het kristal liggen omdat de oscillator anders in dié frequentie zou kunnen gaan genereren en de waarde van kristalbesturing geheel verloren zou zijn. Een voordeel van den kristaloscillator is, dat de plaatkring niet met "hooge C" behoeft te worden uitgevoerd, daar het kristal de capaciteit beheerscht. Door C klein en L groot te kiezen krijgt men hogere spanningen in den stroomresonantie-kring. Het groote belang hiervan springt in het oog, wanneer men in aanmerking neemt, dat deze spanningen gebruikt worden voor excitatie van een volgende lamp, precies zooals bij een MOPA. Een kristalgenerator direct benutten tot energiegafte aan de antenne is tamelijk ongebruikelijk omdat op het kristal geen al te groote ladingen mogen gebracht worden, zoodat dan slechts met geringe energie kan worden gewerkt. Het feit dat de frequentie van het kristalplaatje beheerscht wordt door de dikte maakt het werken op hogere frequenties steeds meer bezwaarlijk, omdat de kwartsplaatjes hiervoor uiterst dun worden en daardoor licht breekbaar zijn. Om bijv. op 7140 kHz (42 m) te werken, zal men meestal van een 3570 kHz (84 m) plaatje gebruik maken en de verkregen trilling hiervan in een z.g. frequentieverdubbelaar in trillingen van 7140 kHz omzetten. Dit frequentieverdubbelen is zeer eenvoudig. De trillingen van den kristaloscillator worden, zooals gezegd, gebruikt om een volgende lamp te exciteeren. (fig.156) De plaatkring van deze lamp wordt nu niet op de kristalfrequentie afgestemd, doch op het dubbele hiervan. Om bij ons voorbeeld te blijven, stelt men dus den plaatkring der tweede lamp op 7140 kHz af bij een frequentie van 3570 kHz van den kristaloscillator. Zooals uit fig.156 blijkt, gaat men precies zoo tewerk als bij een MOPA. De frequentieverdubbelaar behoeft echter niet geneutrodyniseerd te worden, omdat, aangezien roosteren plaatkring niet op dezelfde frequentie zijn afgestemd, zelfgenereeren is uitgesloten.

Bij het instellen van den frequentieverdubbelaar is de negatieve roosterspanning van het allergrootste belang. Bij het ontbreken hiervan of bij te lage neg. roosterspanning onttrekt de lamp zooveel energie uit den plaatkring van den oscillator dat deze kan afslaan.

Desgewenscht kan na de eerste verdubbeltrap nog een tweede geplaatst worden om op bijv. 14280 kHz (21 m) te kunnen werken.

In vele gevallen zal het gewenscht blijken de tenslotte verkregen trillingen eerst te versterken alvorens ze aan de antenne toe te voeren. Hiertoe wordt nog een versterker aan het stelsel toegevoegd, waarvan de plaatketen op dezelfde frequentie wordt afgestemd als de voorgaande. Deze versterker werkt precies eender als de PA van den vroeger besproken stuurlampzender en wordt dan ook geneutrodyniseerd.

De reden van de wenschelijkheid van een extra versterker ligt in het vrij geringe rendement van een verdubbelaar. In fig.157 zijn in a aangegeven de plaatkringtrillingen van de voorgaande lamp. In b ziet men de trillingen in den afgestemden plaatkring van den verdubbelaar (dubbele frequentie). De plaatkring van den verdubbelaar ontvangt tijdens elke periode van a slechts gedurende een korten tijd een stoot en trilt de rest van den tijd vrij uit.

-...-

Het sleutelen

De uitgezonden combinatie van punten en strepen van het Morse-stelsel wordt in een zender verkregen, door de werking van het apparaat in het tempo der teekens geheel of gedeeltelijk te onderbreken. Hieruit volgt onmiddellijk dat de plaats van den seinsleutel zeer verscheiden kan zijn, terwijl aan de diverse opstellingen diverse voor- en nadeelen verbonden zijn. Enkele sleutelmogelijkheden zullen wij in het kort bespreken.

1ste Sleutel in de antenne.

Deze methode is buitengewoon eenvoudig doch er kleven verschillende bezwaren aan. Bij het openen van den sleutel, namelijk, blijft de antenne, zij het dan ook minder, stroom opnemen omdat de sleutelcontacten zich als een kleine condensator gedragen. De uitgezonden frequentie zal dus in het algemeen in de rustpoozen niet geheel gelijk zijn aan die in de werkperioden door de varieerende antenne-afname. Wanneer men boven de dissipatieenergie van de lamp werkt, kan een lange seinpauze bovendien ernstige verhitte van de anode tengevolge hebben doordat te weinig energie wordt afgegeven.

2de Sleutel in de hoogspanningsbuis.

Dit is een zeer effectieve methode. Men dient de sleutel echter steeds in de minleiding te schakelen om te voorkomen dat men met de hoogspanning in aanraking komt. (fig.158) Een bezwaar is, dat bij het verbreken der hsp, vooral bij hoge spanning, vonken aan de sleutelcontacten optreden, die niet alleen naburige ontvangers hinderlijk kunnen storen, doch tevens de contacten verbranden. Men kan door een z.g. klikfilter hiertegen maatregelen nemen.

3de Sleutelen in den roosterkring.

De sleutel wordt geschakeld tusschen min- of midden-gloeidraad en lekweerstand. Bij open sleutel wordt de lekweerstand oneindig hoog en daardoor loopt de roosterlading op. De lamp "slaat dicht", d.w.z. de plaatstroom wordt afgeknepen, waardoor het genereeren ophoudt. Na eenigen tijd zal de roosterlading zijn weggelekt (eenig lek is er altijd wel) en de lamp "open" komen. Niet zoodra echter is het genereeren weer begonnen of de lamp slaat opnieuw voor geruimen tijd dicht. Dit open en dicht gaan der lamp kan een hinderlijk geratel in de seinpauzen opleveren. Het wijst erop, dat de roosterlading niet groot genoeg was doordat het rooster niet voldoende wordt geëxciteerd. Door sterkere terugkoppeling en/of verhooging van den lekweerstand kan men den toestand nabij verkrijgen, dat de lamp gedurende de seinpauzen zeer lang dichtgeslagen blijft. Natuurlijk kan de schakeling zoodanig gekozen worden, dat in de seinpauzen negatieve rooster-spanning uit een batterij of gelijkrichter wordt toegevoerd.

Klikfilters.

Deze hebben ten doel storing als gevolg van het openen en sluiten van den sleutel tegen te gaan. Allerlei middelen zijn bedacht om dergelijke storingen te onderdrukken. Ten eerste heeft men storingen ten gevolge van het vooien van de sleutelcontacten en ten tweede door het zeer plotselinge ontstaan van het elektromagnetische veld rondom zender en antenne bij het neerdrukken van den sleutel. Door dit laatste kan een zoodanige stoot aan den omringenden aether gegeven worden, dat op allen frequenties afgestemde antennes in de nabijheid aperiodisch worden aangestooten en in hun eigen frequentie gaan uittrillen. Men hoort dan alleen het tikken van het neerdrukken van den sleutel. Als men bedenkt, dat de spanning van het plaatspanningsapparaat gedurende den tijd dat de sleutel geopend is, tot de piekwaarde oploopt, zal men inzien, dat bij het sluiten van den sleutel de energie een moment hoger is dan vlak daarna. Hierdoor zal het ontstaan van een klik in de hand worden gewerkt. Het gebruik van neonlampen parallel aan de hsp. (zie pag.35/36) kan dit euvel al voor een groot deel elimineeren. Fig.159 en 160 zijn beide voorbeelden van sleutelfilters, bedoeld om het plotseling ontstaan van het e.m. veld eenigszins te vertragen.

Fig.159 is een methode die wordt toegepast bij sleutelen in de hoogspanning. L dient om het ontstaan van den plaatstroom langzaam te doen verlopen. C_1 is een bypass-condensator voor hf stroomen. Het openen van den sleutel zou een vonk veroorzaken door de zelfinductie van L. C_2 moet die vonk absorbeeren. Bij het neerdrukken van den sleutel zou C_2 zich echter plotseling ontladen. Om deze ontlading te vertragen is de weerstand R aangebracht.

Bij sleutelen in den roosterkring kunnen we fig.160 benutten. Bij het neerdrukken van den sleutel wordt het opkomen van den roosterstroom vertraagd door L_1 en L_2 . Wanneer de sleutel geopend wordt, vloeit de zelfinductiestroom in C.

Het sleutelen met filter in den roosterkring is voordeliger dan in den plaatkring. De stroomen zijn hier slechts zwak, zoodat meestal als smoorspoelen primaires of secondaires van laagfrequenttransformatoren gebruikt kunnen worden.

Het succes wat met klikfilters bereikt kan worden is niet steeds van te voren met zekerheid te voorspellen. De geheele zenderafregeling doet er veel aan toe.

Bij stuurlampzenders plaatse men den sleutel niet in een der kringen van de stuurlamp. Deze lamp moet steeds zoo gelijkmatig mogelijk doorwerken en kan men beter een der versterkerkringen onderbreken. Ook kristaloscillatoren late men steeds doorloopen. Bij snel seinen zou men n.l. last kunnen ondervinden door het niet snel genoeg "aanslaan" van het kristal.

Wanneer men de smoorspoelen en/of de condensatoren te groot neemt, ontstaat het z.g. "tjoepen". Het signaal komt te langzaam op en krijgt een staart. Ook het zakken van de plaatspanning bij het neerdrukken van den sleutel kan dit tjoepen veroorzaken. Alleen vonken van den sleutel kan men vaak ondervangen door een weerstand parallel aan de contacten te plaatsen. De waarde van den weerstand moet zoodanig zijn, dat de spanningsval zoo groot is, dat geen signaal wordt uitgezonden bij open sleutel.

....

Telefoniezenders

Zooals we hebben gezien, zenden alle amateurzenders ongedempte golven uit, d.w.z. de door deze zenders geproduceerde trillingen hebben steeds dezelfde amplitudo. Ook telefoniezenders zijn ongedempte zenders, doch van de opgewekte trilling (die draaggolf wordt genoemd) wordt nu de amplitudo gewijzigd in het rythme van de tonen welke voor de microfoon worden voortgebracht. In groote lijnen kan men de telefoniezenders in de volgende soorten indeelen:

- 1 anodestroommodulatie
- 2 roosterspanningsmodulatie
- 3 roosterstroommodulatie.

Verder zijn nog eenige andere schakelingen mogelijk als bijv. absorbtie-modulatie, doch daar deze methoden zich slecht leenen om op de ons amateurs toegestane hoge frequenties met succes te worden toegepast, zullen deze hier verder buiten beschouwing blijven.

1 anodestroommodulatie.

Deze schakeling is meer bekend onder de naam Heising-modulatie en wordt wel het meest door de amateurs gebruikt. Het heeft groote voordeelen, daar de frequentie niet verandert door het spreken indien alles goed is ingesteld. De schakeling is zeer schematisch aangegeven in fig.161. O is de schematisch geteekende oscillator. De in den roosterkring geteekenden wisselstroombron geeft aan, dat hetzij door terugkoppeling, hetzij door vreemd-excitatie, in den plaatkring van O hoogfrequentie-energie aanwezig is. M is de lamp die de microfoontrillingen op den zender moduleert. Beide lampen hebben een gemeenschappelijke hoogspanningsbron. De plaatstroom van beide lampen gaat door de smoorspoel S. Deze heeft tot taak de totale stroomsterkte constant te houden. Indien dus de modulator M op een gegeven oogenblik minder stroom neemt, ontstaat aan de smoorspoel een hogere spanning, waardoor de gemoduleerde lamp O gedwongen wordt meer stroom op te nemen. Ook de antennestroom zal hierdoor groter worden; m.a.w. de amplitudo van de draaggolf wordt even iets vergroot. In het geval dat de modulator gedurende een tijdsdeel meer stroom neemt, blijft er minder voor O over en zal de draaggolfamplitudo kleiner worden. (fig.162)

Het is dus de taak van de smoorspoel om de totale stroomsterkte steeds constant te houden, zoowel voor de hoogste als de laagste tonen die van de microfoon worden voortgebracht. De zelfinductie ervan moet te dien einde minstens 50 Henry bedragen. Bij kleinere waarden zouden de lage tonen minder sterk worden gemoduleerd dan de hoge. Hierdoor zou vervorming optreden. Ook de eigen capaciteit moet klein zijn, omdat anders de hoge tonen niet behouden blijven.

Aan de hand van het voorgaande kan nu ook het begrip modulatiediepte worden besproken. Onder de modulatiediepte wordt n.l. verstaan de grootteverhouding tusschen de piekwaarde van de spanning van de gemoduleerde trilling en de anodespanning van de gemoduleerde lamp.

Het zal duidelijk zijn, dat bij een modulatiediepte van 100% de amplitudo van de draaggolf gevarieerd wordt tusschen 0 en twee maal de rustamplitudo. Voor een zoo groot mogelijk nuttig effect dient een telefoniezender zoodanig te zijn afgeregeld, dat de modulatiediepte tijdens de zwaarst voorkomende passages juist 100% bedraagt. Zou zij dan bijv. slechts 60% bedragen, dan zou 40% van de rustamplitudo ongebruikt blijven, hetgeen nuttelooze energieverpilling zou beteekenen. Andere oorzaken maken het evenwel minder aanbevelenswaardig om een hogere modulatiediepte dan ca. 80% toe te passen. De maximum te bereiken modulatiediepte is ongeveer de waarde die men zal verkrijgen indien de plaatstroom van den modulator gedeeld wordt door dien van de gemoduleerde lamp.

Toepassing: Van een telefoniezender neemt de gemoduleerde lamp een ruststroom van 50 mA, terwijl de modulator er slechts 20 neemt. De maximaal bereikbare modulatiediepte is dan $\frac{20}{50} = 40\%$. Om een modulatiediepte van 80% te bereiken

zou men dus of meerdere modulatorlampen van hetzelfde type parallel moeten schakelen, of een grotere lamp moeten kiezen.

Daar immers een modulator vervormingsvrij, dus binnen het rechte deel der karakteristiek moet werken, moet een hoge negatieve roosterspanning worden aangelegd, waardoor de plaatstroom sterk wordt gedrukt. Bij gebruik van gelijke lampen is daarom de I_a van bijv. vier modulators parallel soms nog wel minder dan die van een enkele gemoduleerde lamp.

Bij de Heising-modulatiemethode moet als maat worden vastgehouden dat de rust-plaatstroom van de gemoduleerde lamp niet meer mag bedragen dan 1/8ste van den verzadigingsstroom. Indien men zich hier niet aan houdt kan vervorming bij diepe modulatie optreden.

Tijdens het moduleeren zal de antennestroom een weinig veranderen. Berekening leert dat deze bij de diepste modulatie nooit meer mag bedragen dan 15% van de rustwaarde.

In de figuren 163, 164 en 165 zijn nog eenige variaties van anodestroommodulatie aangegeven.

2 roosterspanningsmodulatie. (systeem van van der Bijl)

Het principeschema vindt men in fig.166. Zoowel de hoogfrequente excitatie als de laagfrequente spanningswisselingen aan de plaat van de modulatorlamp hebben invloed op het rooster der gemoduleerde lamp.

3 roosterstroomodulatie (fig.167)

De schakeling doet wel iets denken aan de vorige. Het principe is o.a. uitgewerkt door de firma Telefunken. Hier wordt gemoduleerd in den lekweerstand van de gemoduleerde lamp. Een 50 Watt zendlamp kan volgens dit systeem vrij diep gemoduleerd worden met een of twee flinke eindlampen als modulator. De aanschaffingskosten zullen hierdoor wel minder zijn, doch de geheele schakeling op zich zelf zal in den regel minder succes opleveren voor een amateurzender dan de Heising-methode. De anode-ruststroom mag bij deze methode $1/3$ de bedragen van de verzadigingsstroomsterkte.

....

Frequentiemeters

Het ligt voor de hand om voor het meten van een frequentie gebruik te maken van de eigenschappen van een afgestemden kring. In alle frequentiemeters, welke worden onderscheiden in:

- 1 zoemerfrequentiemeters
- 2 klik-frequentiemeters
- 3 interferentie-frequentiemeters

vindt men dan ook een solide uitgevoerde afgestemden kring, bestaande uit een onvervormbare zelfinductie en een variablen condensator.

De zoemerfrequentiemeter is feitelijk een klein gedempt pendeltje. We weten evenwel uit de praktijk dat gedempte signalen steeds zeer breed zijn, terwijl een scherp maximum niet aanwezig is. Vandaar dat de "zoomergolfinometer" een apparaat is, wat tegenwoordig totaal waardeloos is geworden.

De klik-frequentiemeter bestaat in principe uitsluitend uit een spoel en een variablen condensator, welke tezamen een afgestemden kring vormen. Meel vaak wordt nog een vaste capaciteit parallel geschakeld aan het geheel om de nulwaarde van den draaicondensator te vergrootten. (zie bijv. fig.170) De verandering in frequentie bij in- en uitdraaiiden stand is dan veel kleiner, immers men verandert de totale capaciteit slechts voor een deel. Vooral wanneer men binnen een klein bereik groote nauwkeurigheid vereischt, zooals dat voorkomt bij de aan ons amateurs toegewezen nauwe frequentiebanden, levert deze methode groot voordeel op.

Bij het ontvangtoestel wordt de klik-frequentiemeter als volgt gebruikt: De ontvanger stelt men zoo in dat deze juist genereert. (even binnen de rand van genereren) Men koppelt nu de spoel van den frequentiemeter los met de roosterspoel van de ontvanger, door den meter bij deze spoel te houden. Men draait dan aan den condensator van den meter. Bij het passeeren van de afstemming zal de ontvanger afslaan doordat aan de roosterspoel dan energie wordt onttrokken. De damping in den roosterkring neemt dan toe; de terugkoppeling is dan te los geworden om de trillingen te onderhouden, en de ontvanger slaat men een klik af, d.w.z. zal niet langer genereren. In het algemeen zal men bij draaiing aan den condensator van den meter twee klikken hooren, doordat de koppeling zóó vast is, dat de ontvanger over een heel bereik niet meer wil genereren. Bij steeds lossere koppeling zullen deze twee punten (af- en weer aan het genereren slaan) elkaar naderen, om eindelijk in één punt samen te vallen. Slechts in dezen stand geeft de meter de juiste frequentie aan. Deze is dan af te lezen op een bij den meter gevoegde grafiek, waarop het verband is aangegeven tusschen den condensatorstand en de resonantiefrequentie. Omgekeerd kan men het ontvangtoestel op deze wijze afstemmen op een frequentie, waarop de meter van te voren is ingesteld.

Om de afstemming van den eigen zender te bepalen kan men in den kring een indicator opnemen, bijv. een gloei- of een neonlampje. Bij resonantie is, zooals we in Hoofdstuk IV hebben gezien, de stroom in elk der takken van een afgestemden kring het grootst en zal een volgens fig.168 opgenomen gloeilampje gaan branden, wanneer de meter gekoppeld wordt met een zender, doordat dan energie wordt opgenomen en dus stroom in den kring gaat vloeien. Het is echter lastig te zien op welk punt het lampje het felst brandt, ook al doordat ten gevolge van den weerstand de resonantiekromme van den kring een flauw verloop heeft. Daarom vindt deze indicatiemethode weinig toepassing meer, tomeer daar de kans op doorbranden van het lampje bij te vaste koppeling ook niet gering is. Ten onrechte wordt echter gemeend dat de ijking niet juist blijft, indien het lampje door een ander exemplaar wordt vervangen. Daar het punt van stroomresonantie nagenoeg onafhankelijk is van de damping in den kring; zal dit geen invloed hebben.

Anders is dit bij het gebruik van een neonlampje. (fig.169) Het lampje zal maximum licht uitstralen als de kring in resonantie is, en dus de spanningen tusschen A en B maximaal zijn. Het vervangen van zoo'n neonlampje door een ander heeft hier een funesten invloed, ook al omdat de capaciteit die zulk een lampje bezit niet gelijk is bij verschillende exemplaren. Bovendien is het punt van maximumspanning afhankelijk van de aanwezige damping. Vaak wordt een inductievrije weerstand opgenomen, zooals ook in fig.169 is aangegeven, om te voorkomen dat het veel stroom zou doorlaten. Hierdoor wordt

de demping van den kring geringer en zal de resonantiepiek scherper zijn. Als voorbeeld van een interferentie-frequentiemeter kan genoemd worden een monitor. Een monitor dient in de eerste plaats om contrôle uit te oefenen op de kwaliteit van de door den zender uitgezonden trillingen. Wil men met behulp van den monitor de frequentie van een zender meten, dan wordt hij afgestemd op het nulpunt van den interferentietoon van zender met genereerenden monitor, zoodat hij dus nauwkeurig op de zenderfrequentie is afgestemd. De monitor kan direct in kiloHerz geijkt zijn. Men moet er evenwel aan denken, dat wanneer de terugkoppeling variabel is, de terugkoppelingsgraad in het algemeen van invloed is op de frequentie waarop de roosterkring bij bepaalden condensatorstand is afgestemd. Een dergelijke directe ijking is dus alleen toelaatbaar als de terugkoppeling eens en voor altijd vast is ingesteld, of, wanneer zij variabel is, geen verstemming veroorzaakt. De spanningen, zoowel gloei- als plaatspanning, moeten eveneens nauwkeurig constant gehouden worden, aangezien ook deze de afstemming beïnvloeden. Met in achtneming van deze voorzorgen is dus elke generator als interferentie-frequentiemeter te gebruiken. Door dien generator af te schermen in een doos, waarbinnen tevens de stroombronnen zijn opgesteld, is het mogelijk, ook den eigen zender te ontvangen. Zonder afschermen zou dit niet mogelijk zijn, doordat de ontvangen energie dan zoo groot zou zijn, dat de lamp zou dichtslaan. Zoo'n afgeschermde generator wordt nu monitor genoemd. Voor een goede werking van den monitor is het noodzakelijk zelfs in het telefoonsnoer een hf smooispoeltje op te nemen, aangezien anders langs dien weg nog te veel energie in het instrument zou doordringen. Teneinde te ontkomen aan al de genoemde bezwaren (constant houden der spanningen, terugkoppeling) wordt meestal niet de monitor zelf geijkt, doch een afzonderlijke frequentiemeter ingebouwd (fig. 170) in een aparte afscherming, welke op de in de figuur aangegeven wijze door middel van een uiterst klein condensatortje C_k gekoppeld wordt met den plaatkring van den monitor-detector. De afgestemde kring van den frequentiemeter kan worden onderbroken door de schakelaar S. Men laat bij een meting S eerst open, stemt den monitor genereerend af op het nulpunt van den interferentietoon met het te meten signaal en sluit nu S. Draait men nu C en nadert men de afstemming van den monitor, dan treedt ziehen op, waardoor de afstemming van den monitor zich wijzigt. De monitor levert dan met het te meten signaal een interferentietoon op. Draait men C door de afstemming van het te meten signaal heen, dan zal bij gelijke afstemming even geen ziehen optreden, zoodat men den interferentietoon bij passeeren van de afstemming door nul heen hoort gaan. Het instelkenmerk is hier dus: het scherp begrensde punt waarbij de interferentietoon door nul gaat. Deze methode levert bij gebruik van goed materiaal uitkomsten die even nauwkeurig zijn als die verkregen met een interferentie-frequentiemeter, zonder dat men de bij deze laatste methode nodige lastige voorzorgen in acht behoeft te nemen. De meter kan, wanneer men den genereerenden ontvanger als tusschenschakel gebruikt, tevens dienen tot het meten van signalen van elk hoorbaar station en opent de mogelijkheid door het meten van harmonischen van den ontvanger een schier absolute nauwkeurigheid te bereiken.

...-

EINDE

xXx

0

.