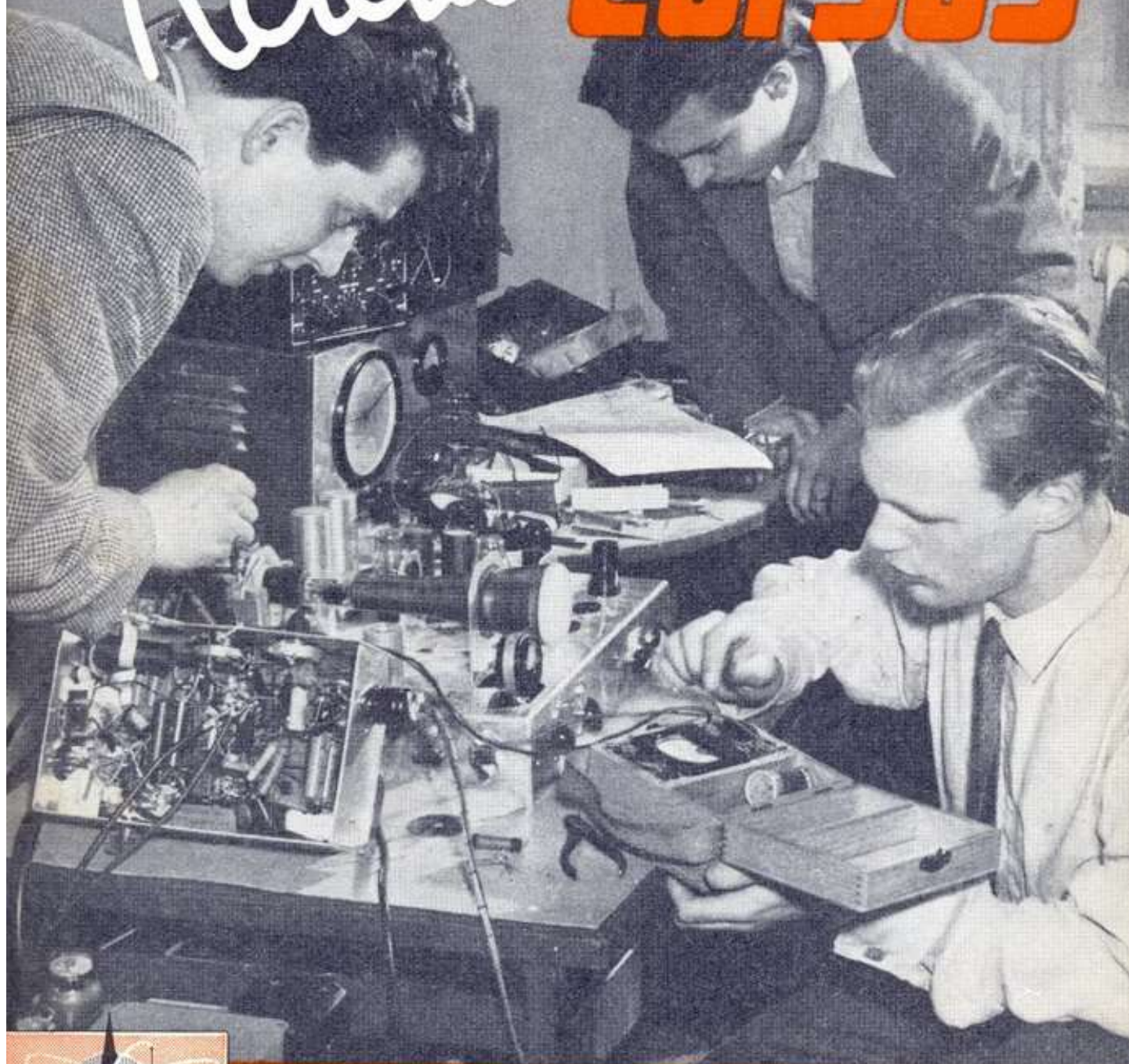


dr. Blan

3

Radio-CURSUS



vormingscentrum voor radio en electronica

INHOUDSOPGAVE

Natuurmagneten	3
Elektromagneten	4
Elektrische stroom door inductie	6
Dynamo	7
Wisselspanning	7
Draaistroom- en wisselstroomnet	9
Gelijkspanning	10
Transformatoren	11
Spoelen en condensatoren	12
Spoel, aangesloten op gelijkspanning	13
Spoel, aangesloten op wisselspanning	14
Spoelen parallel en in serie	17
De condensator	18
Condensator op gelijkspanning aangesloten	19
Condensator op wisselspanning aangesloten	19
Condensatoren parallel en in serie	21
Serieschakeling van condensatoren met ohmse weer- standen	22
Uitvoeringsvormen van condensatoren — Diëlektrische constante	24
Verliezen	24
Werkspanning	25
Variabele condensatoren	26
Vraagstukken over de derde les	27

MAGNETISME, SPOELEN EN CONDENSATOREN

WE zullen ons in dit hoofdstuk vertrouwd moeten maken met het magnetisme en de magnetische inductie, omdat de voortplanting van radio (de elektromagnetische golven) hierdoor beheerst wordt ¹⁾.

3e LES

NATUURMAGNETEN

We kennen allen een magneet in de vorm van een stuk staal, gebogen in hoefijzervorm, dat in staat is stukjes ijzer aan te trekken. Die vorm is natuurlijk bijkomstig; de hoofdzaak is dat er door beide einden, polen genaamd, kracht uitgeoefend wordt op alle ijzeren voorwerpen.

Wanneer we nu in gedachten naar Dakar gaan, een plaats in Afrika nabij de evenaar en daar een magnetische staaf in zijn midden ophangen aan een draadje katoen, zodat hij horizontaal komt te hangen en vrij kan ronddraaien, dan blijkt hij voor een bepaalde richting de voorkeur te hebben, en wel voor de richting Noord-Zuid (fig. 1) ²⁾.

Welnu, het naar het noorden wijzende eind van de magneet is de noordpool en het andere de zuidpool. Hieruit blijkt, dat de aarde een grote magneet is, waarvan de „polen” in de geografische Poolstreken liggen. En wat wij de geografische Noordpool noemen is in werkelijkheid een magnetische zuidpool; onze Zuidpool is dus eigenlijk magnetisch gesproken een noordpool.

Men maakte in vroegere eeuwen magneten door een stuk staal langdurig langs een z.g. magneetsteen te wrijven; deze magneetstenen vond men in de natuur. Doet men dit met een gewoon stuk ijzer, z.g. weekijzer, dan blijkt dit wel door een magneetsteen te worden aangetrokken; maar al wrijven we nu nog zo lang, het wordt niet blijvend (of permanent-) magnetisch.

Er bestaat dus een verschil tussen staal en weekijzer. In feite duidt men thans beide materiaalsoorten aan met „staal”; het staal wat echter niet blijvend magnetisch te maken is als gevolg van zijn samenstelling noemt men in de wandeling nog steeds weekijzer, magnetisch „week”, terwijl de wel blijvend magnetisch te maken staalsoorten, b.v. door de aanwezigheid van cobalt, koolstof, aluminium, nikkel, magnetisch „hard” worden genoemd.

Philips ontwikkelde een keramische, staalhoudende stof, Ferrordure genaamd; deze stof overtreft in zijn eigenschappen verre de thans bekende staalsoorten.

Tussen de beide polen van een magneet bestaat er een z.g. **MAGNETISCH VELD**. Men kan dit aantonen door op een

1) Ook in dit hoofdstuk komt rekenwerk voor en het is niet te vermijden, dat hierin worteltrekken voorkomt, een bewerking die voor velen vrij grote moeilijkheden met zich brengt. Met een rekenliniaal of rekenschijf is het een koud kunstje, maar ook hiermede is niet ieder bekend. In het algemeen zou ik dit willen zeggen: Wanneer iemand moeilijkheden met dit rekenwerk ondervindt, laat hij dit dan rustig overslaan. Het gaat in deze cursus in de eerste plaats om begripsvorming. Wil hij desondanks zich er doorbijten, welnu, dan zal ik hem helpen.
— Dr. Blan.

2) We hebben nu, om de zaak duidelijk voor te stellen een plaats aan de evenaar uitgekozen voor onze proef, maar in feite zal deze proef op elke plaats van de aardbodem hetzelfde resultaat vertonen.
We herkennen in deze eigenschappen onmiddellijk onze kompasnaald.



fig. 1



fig. 2a

Magnetisch veld van een staafmagneet

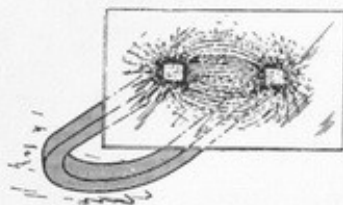


fig. 2b

Magnetisch veld hoefmagneet



sterker dan het aardmagnetisme

fig. 3

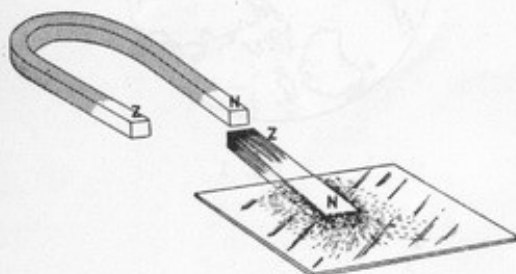


fig. 4

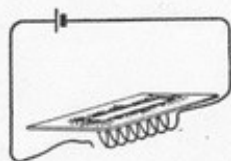


fig. 5

Elektro-magnetisme

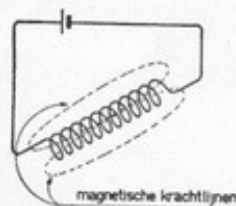


fig. 6

stuk papier ijzervijsel te strooien; houdt men hieronder een magneet, dan zullen de in het vijsel optredende strepen het verloop van het magnetisch veld zichtbaar maken (fig. 2a en b). „Veld” wil hier dus zeggen: plaats, waar het magnetisme aanwezig is, merkbaar is.

Houden we nu de noordpool van een magneetstaaf dicht bij een kompas, dan blijkt de uitwerking van de staaf véél groter te zijn dan die van 't aardmagnetisme: de staaf van de kompasnaald (= zuidpool) die eerst braaf naar onze geografische Noordpool wees, zal onmiddellijk naar de noordpool van de staaf wijzen; houden we de zuidpool van de staaf bij 't kompas, dan zal daartegen de punt van de kompasnaald (= noordpool) aangetrokken worden (fig. 3). We concluderen dus: **ONGELIJKNAMIGE POLEN TREKKEN ELKAAR AAN, GELIJKNAMIGE POLEN STOTEN ELKAAR AF.**

Brengen we nu een stuk weekijzer op enige afstand van een hoefmagneet, dan blijkt dit stukje ijzer op zichzelf weer magnetische eigenschappen te gaan vertonen; met ijzervijsel is weer een krachtlijnenveld aan te tonen. Men spreekt hier van **MAGNETISCHE INDUCTIE** (fig. 4). (Inductie = beïnvloeding.)

Het blijkt, dat de magnetische krachten zich door lucht kunnen voortplanten, maar het blijkt tevens, dat ijzer groter geleidbaarheid dus minder weerstand voor magnetische krachtlijnen bezit dan lucht.

Men noemt dit geleidingsvermogen voor magnetisme de **PERMEABILITEIT** van het materiaal, vergeleken met die van lucht. De permeabiliteit van lucht is dus op 1 gesteld; die van ijzer kan wel 600 à 1000 zijn, afhankelijk van de samenstelling; slechts nikkel heeft een enigszins bruikbare permeabiliteit, doch staat toch in dit opzicht ver achter bij ijzer.

Alle andere materialen vertonen géén magnetische eigenschappen.

ELEKTROMAGNETEN

Tegen de eerste helft der vorige eeuw ontdekte de Deen Oerstedt dat het verplaatsen van elektrische lading, dus het lopen van een stroom steeds gepaard gaat met het optreden van magnetische krachten en omgekeerd, dat het verplaatsen van magnetische krachten het ontstaan van een elektrische stroom tengevolge heeft.

Wanneer we een elektrische draad tot een langgerekte spiraal winden en hier een elektrische stroom door leiden, dan blijken er magnetische krachten te ontstaan, die met behulp van een blad papier, bedekt met ijzervijsel weer aan te tonen zijn en een beeld geven dat er precies zo uitziet als dat veroorzaakt door een staafmagneet (fig. 5 en 6).

De sterkte van 't magneetveld hangt af van de sterkte van de stroom, maar ook van het aantal windingen van de draadspiraal, die we een spoel noemen; we spreken daarom in dit verband van het aantal **AMPÈRE-WINDINGEN**, afgekort Aw., en het is duidelijk, dat de magnetische uitwerking van een spoel met 500 windingen, waardoor $\frac{1}{2}$ A gaat gelijk is aan die met 25 windingen, waardoor 10 A gaat: beide is nl. 250 Aw. We zien, dat de spanning hierbij niet genoemd wordt; dat behoeft ook niet, want de draaddikte en de draadlengte betekenen in feite niets anders dan een

zekere weerstand R die uiteindelijk de stroomsterkte I bepaalt. Daar $E = I \times R$, ligt E dus geheel vast.

Intussen is ook bij dit elektromagnetische veld een groter uitwerking te verwachten, wanneer we in de spoel een stuk ijzer brengen, in verband met de hogere permeabiliteit van het ijzer.

Toch moeten we niet denken, dat we steeds maar sterker elektromagneet verkrijgen als we maar meer elektriciteit door de spoel sturen! Er treedt een verzadigingstoestand op van het ijzer bij een bepaalde magnetisering; na het overschrijden daarvan heeft verhoging van de stroom weinig uitwerking.

Is er geen ijzerkern aanwezig, dan is er natuurlijk geen sprake van enig verzadigingsverschijnsel; we kunnen de stroom dan net zo lang verhogen, totdat deze te groot is voor de draaddikte en onze wikkeldraad dus doorbrandt!

In ieder geval bezitten we nu een manier om aan een magneet te komen: we omwikkelen een stuk weekijzer met een draadspoel, leiden er een stroom door en hebben een magneet. Op moderne werktuigmachines houdt men tegenwoordig de te bewerken stukken door middel van elektromagneten op hun plaats; natuurlijk alleen stukken ijzer of staal. Schakel de stroom uit en het is weer gedaan met het magnetisme; er blijft slechts een weinig over, dat men het **REMANENTE MAGNETISME** noemt.

Leiden we de stroom in een spoel echter om een stuk staal, dan wordt dat eveneens magnetisch, doch het verliest het magnetisme niet als de stroom of de spoel verwijderd zijn. Zo verkrijgt men **PERMANENTE MAGNETEN**.

We kunnen van te voren voorspellen waar de noord- en de zuidpool van een elektromagneet liggen zal: **KIJKEN WE DOOR DE SPOEL HEEN EN LOOPT DE STROOM MET DE WIJZERS VAN DE KLOK MEE, DAN WIJST DE NOORDPOOL NAAR ONS TOE EN DE ZUIDPOOL NAAR DE ANDERE KANT**, dus van ons af (fig. 7).

Nu moeten we niet denken, dat een dergelijk magnetisch veld persé door een spoel veroorzaakt moet worden; een rechte draad, waardoor een stroom gaat, zal óók reeds een magnetisch veld veroorzaken, dat echter een heel andere gedaante zal hebben dan wanneer het door een spoel veroorzaakt wordt. We kunnen de draad door een stuk papier, bedekt met ijzervijlsel, laten steken; het ijzervijlsel zal nu een ringvormige gedaante krijgen (fig. 8). Of we dat papier nu naar boven of naar beneden bewegen langs de draad, dat verandert aan het beeld niets.

Nu hebben velen er moeite mede om zich een dergelijk „ringvormig” magnetisch veld voor te stellen; we kunnen daarom beter een stukje ijzer beschouwen dat op enige afstand naast de draad is neergelegd, zó, dat de beide eindén zich even ver van de draad bevinden.

Welnu, in dat stukje weekijzer zal door de elektrische stroom een magnetisch veld geïnduceerd worden; het krijgt dus een noord- en een zuidpool; de regel waarmee men de polariteit vaststelt zal ik hier niet aanhalen, omdat die voor de meeste cursisten moeilijkheden oplevert. We moeten echter wél inzien, dat het er volstrekt niets toe doet wáár nu dat stukje ijzer ligt, bij A, of bij B. Hoe dicht bij de draad echter, des te sterker het magnetisme; de veldsterkte is daar het grootst. Ook zonder dat stukje ijzer zal het magne-

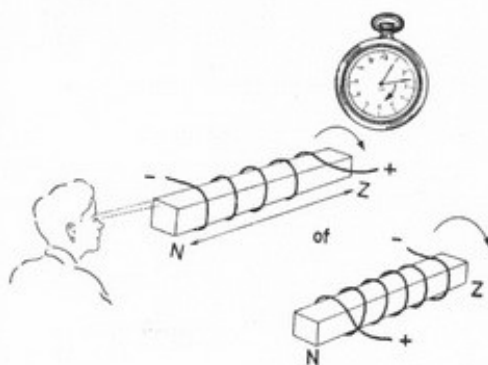


fig. 7

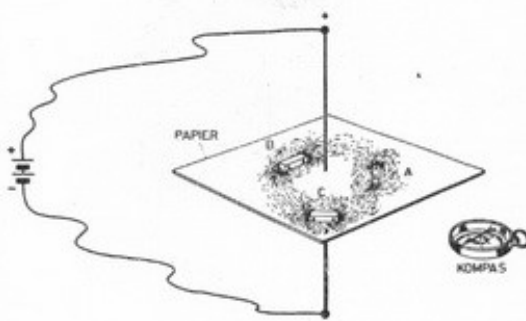


fig. 8

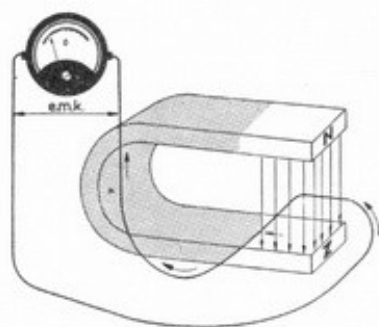


fig. 9

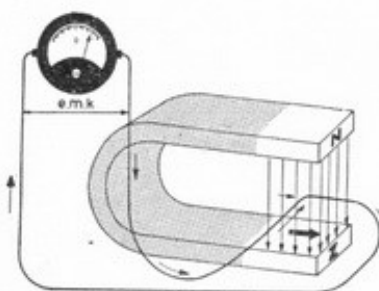


fig. 10

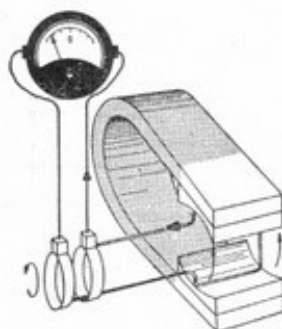


fig. 11

tisch veld aanwezig zijn, evenals bij de spoel. We kunnen het gemakkelijk aantonen met een kompas.

ELEKTRISCHE STROOM DOOR INDUCTIE

Wanneer we nu de zaak eens andersom bezien ontdekken we, dat een draadlus die door ons in een magnetisch veld wordt bewogen, wordt doorlopen door een elektrische stroom (fig. 9). Wanneer we dat met één draadlus doen hebben we een zeer gevoelig meetinstrument, een galvanometer nodig om die stroom aan te tonen. We noemen dat elektriciteit, verkregen door **INDUCTIE** en op de 2 draadeinden staat een z.g. **ELEKTROMOTORISCHE KRACHT**, afgekort tot e.m.k. (denk er om, alleen als 't een eigenaam van één of andere geleerde betreft, schrijven we hoofdletters, dus V, A, maar e.m.k. enz. met kleine letters).

Als wij nu die proef met die draadlus en meter in een magneetveld doen, dan zien we, dat het verschil maakt of we de lus in het magnetisch veld brengen of hem er uit halen, daar in 't ene geval de wijzer van de meter naar links uitslaat en in 't andere naar rechts (fig. 10). Er bestaan meters, die de 0-stand, de ruststand dus, in 't midden hebben; die zijn mooi voor deze proef. Het hangt er dus helemaal van af, hoeveel **MAGNETISCHE KRACHTLIJNEN** door de spoel „omvat” worden en hoe snel de beweging is, want houden we dus lus of spoel stil dan loopt er géén stroom. Men is gewoon de sterkte van het magnetische veld uit te drukken in het aantal (denkbeeldige) magnetische krachtlijnen; we gaan hierop niet verder in.

We kunnen dus zeggen: **IN EEN DRAADPOEL WORDT EEN ELEKTRISCHE STROOM GEÏNDUCEERD, ALS DIE SPOEL ZICH IN EEN MAGNETISCH VELD ZODANIG BEWEEGT, DAT HET AANTAL DOOR DIE SPOEL OMSLOTEN MAGNETISCHE KRACHTLIJNEN DAARDOOR TOE- OF AFNEEMT**, of anders gezegd: het magnetisme sterker of zwakker wordt.

Dat de snelheid waarmee die sterkteverandering zich voltrekt er veel toe doet, kunnen we bewijzen door de spoel heel langzaam te bewegen: de meter slaat dan niet uit.

Nu kunnen we een draadlus ook in het magnetisch veld rondwentelen in plaats van héén en weer bewegen; het dóórdráaien van zo'n lus zou echter reeds na één omwenteling vastlopen, omdat de aansluitdraden zouden verwarren. Men ondervangt dit bezwaar met een paar meedraaiende sleepringen waarop de luseinden worden vastgesoldeerd; door middel van een paar sleepveren kan nu de meter weer aangesloten blijven ook als we de lus één of meer gehele omwentelingen laten maken (fig. 11). Doen we dit nu, dan zien we dat de stroom eerst toeneemt naar één richting, dan weer afneemt, nul wordt en dan naar de andere kant toeneemt om tenslotte, als hij juist één slag rond geweest is weer op het punt van uitgang (dus nul) terug te komen.

We noemen dit een **WISSELSPANNING** en één omwentelingscyclus bestaat uit het aangroeien en afnemen naar één kant gevolgd door het aangroeien en afnemen naar de andere kant. De tijd, die hiervoor nodig is, noemen we een **PERIODE**. Als we aan de wijzer van het gebruikte meetapparaat een potloodstift zouden kunnen bevestigen en er een strook papier langs laten trekken door een veerwerkje dat met regelmatige snelheid draait, dan zou er een gol-

vende lijn op getekend worden, een uit de wiskunde bekende SINUSLIJN (fig. 12).

We zagen reeds, dat het op deze wijze verkregen stroompje zéér gering is; we schakelen daarom meerdere lussen in serie en verkrijgen daardoor een spoel (fig. 13), waardoor de spanning en dus ook de stroom groter worden.

DYNAMO (fig. 14b)

Om nu uit dit apparaat een elektriciteitsbron te scheppen begon men met het magnetisch veld te versterken door de draadspoel te wikkelen om een rolvormig (cilindrisch) op een as geplaatst stuk weekijzer waarin een wikkelruimte is uitgespaard (fig. 14a), het anker genoemd¹⁾, en de polen van gedeelte van hun weg in de lucht met zijn geringe permea- de magneet hol uit te slijpen, zodat de rol er mooi in past; nu hebben de magnetische krachtlijnen maar een heel klein biliteit af te leggen. Er moet nl. altijd nog een heel nauw luchtspleetje tussen magneetpolen en anker blijven, anders kan het anker niet vrij ronddraaien. De aandrijving van het anker kan nu door water, stroom, wind of een andere mechanische krachtbron plaats vinden.

Later verving men de toen nog moeilijk te verkrijgen permanente staalmagneet door een elektromagneet, die uit elementen werd bekrachtigd.

WISSELSpanning

De wisselspanning die we op deze manier verkrijgen, heeft dus een spanning die afhangt van het aantal windingen op het anker en de omwentelingssnelheid. Bovendien wisselt een dergelijke spanning een aantal malen per seconde van richting. Dit aantal malen hangt af van de snelheid waarmee de machine door b.v. een stoommachine wordt aangedreven, en wordt de FREQUENTIE (= veelvuldigheid) op de wisselspanning genoemd.

In Europa heeft men deze voor de elektriciteitsvoorziening op 50 perioden per seconde vastgelegd maar in Amerika op 60. Men spreekt dan van 50 Hz of 60 Hz, een afkorting van de naam van Hertz, een bekende Duitse geleerde. Bij 50 Hertz wordt de spanning dus 50 x per seconde: maximum +, nul, maximum —, weer nul. In Amerika spreekt men van cycels per second, afgekort: C/s.

Nu is 't voor velen niet gemakkelijk zich een wisselstroom voor te stellen. We zullen daarom maar even naar een watervoorbeeld grijpen: op een wip worden 2 emmers geplaatst; de beide emmers zijn verbonden door een slang, die in de bodems uitmondt (fig. 16). Door de slang loopt nu bij elke wip-beweging telkens een hoeveelheid water heen en weer; hoe hoger de wip kan komen, des te groter wordt het hoogteverschil tussen de emmers en des te hoger het drukverschil, hetgeen zich openbaart in de kracht van de waterstroom door de slang. En die waterstroom zou met succes een molentje kunnen aandrijven, wanneer de slang bij A onderbroken werd en men het molentje in serie met de slang schakelde. Het zou echter telkens even stilstaan wanneer de emmers even hoog staan en teruglopen, wanneer de andere emmer omhoog kwam! Evenzo zal een gloeilamp, aangesloten op wisselspanning telkens even uitgaan, maar

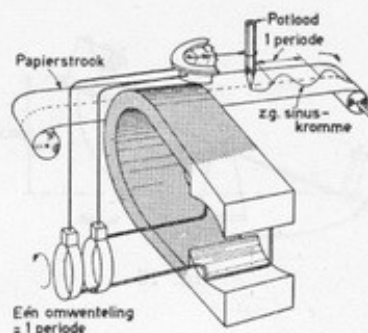


fig. 12

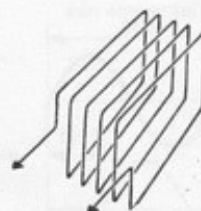


fig. 13

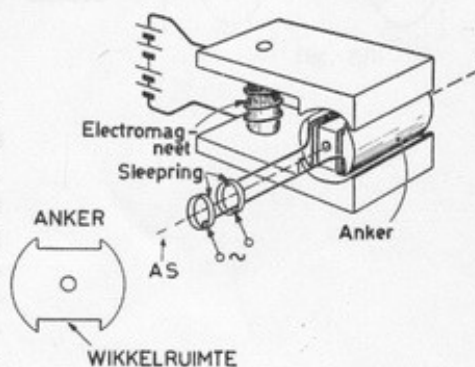


fig. 14a

fig. 14b

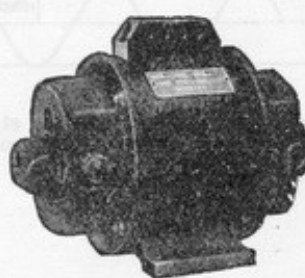


fig. 15

Dynamo merk „EDC”

¹⁾ In plaats van anker spreekt men vaak van rotor of draaiend gedeelte, in tegenstelling tot stator of stilstaand gedeelte.

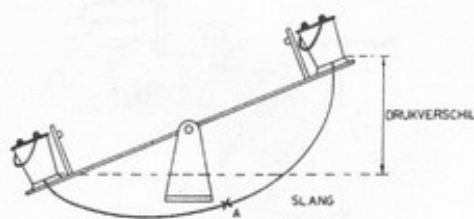


fig. 16

doordat dit verschijnsel $100 \times$ per seconde optreedt zien we 't niet. Bij neonlicht is dit telkens uitdoven veel beter waarneembaar, wanneer we b.v. een blinkend metalen voorwerp snel bewegen. We zien dan niet één flitsende streep, doch een lichtstreep die telkens onderbroken is. Dit komt omdat neonlicht geen gloeidraad bevat en dus niet kan nagloeien, wat met een gewone gloeidraad wel 't geval is.

Wanneer we nu een wisselspanningsbron hebben, waarvan de top- of piek-spanning 100 volt is, gemeten van de 0-lijn tot de top van de sinus-kromme, dan sluiten we hierop een elektrisch dompelement aan, dat we in een bakje met 1 liter water plaatsen. Daarnaast plaatsen we in net zo'n bakje water precies zo'n dompelement, doch we sluiten dit op gelijkspanning aan. Langzaam voeren we de gelijkspanning op, totdat we dezelfde uitwerking verkrijgen als bij de op wisselspanning aangesloten dompelaar, nl. dat het water even snel kookt. We meten dan de gelijkspanning en zien, dat deze 70,7 volt is (fig. 17 a en b).

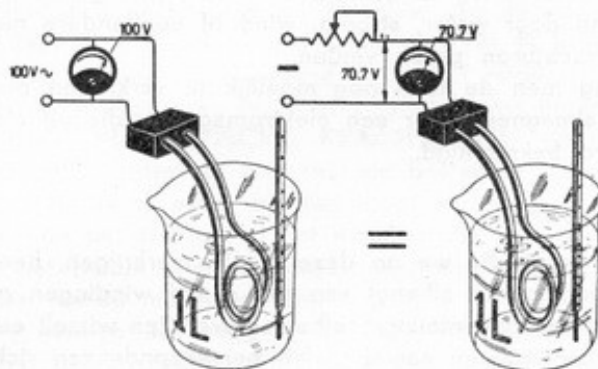


fig. 17a
Piekspanning 100 V

fig. 17b
Gelijkspanning 70.7 V



Sinus-kromme; stippellijn stelt de effectieve spanning voor

70.7 volt gelijkspanning levert dezelfde prestatie als een wisselspanning met een topwaarde (of piekwaarde) van 100 V. In verband hiermee is het gebruikelijk bij een wisselspanningsnet nooit de piekspanning te vermelden maar de **EFFECTIEVE SPANNING**. In fig. 18 zien we de grafische voorstelling van de wisselspanning in getrokken lijn en de grafiek van de gelijkspanning, die hetzelfde effect heeft, gestippeld.

Wordt er van een sinusvormige wisselspanning dus gezegd: de spanning is 220 volt, dan schrijven we dat zo: $220 \text{ V} \sim$ en we bedoelen dan: de effectieve waarde van deze spanning is 220 V. En dat betekent dus, dat de piekspanning hier $1.4 \times 220 \text{ V} = 308$ volt bedraagt. Let maar op

$$\text{ons bovenstaande voorbeeld } \frac{100}{70,7} = 1.4 (= \sqrt{2}).$$

Onze $220 \text{ V} \sim$ netspanning levert dus piekspanningen op van 308 volt. Voorzichtigheid is dus geboden!

Als regel geven volt- en ampèremeters voor wisselspanning de effectieve waarde aan. Als kenteken voor wisselspanning gebruiken we het sinusteken $\sim$. We spreken zowel van een wisselspanningsnet als van een wisselstroomnet; die begrippen worden door elkaar gebruikt.

Wisselspanning levert bij transport door kabels over grote afstanden voordelen op in vergelijking met gelijkspanning, zodat

thans uitsluitend wisselstroom door onze centrales geleverd wordt.

DRAAISTROOM- EN WISSELSTROOMNET

De moderne elektrische centrales leveren uitsluitend draaistroom. We kunnen hier niet diep ingaan op deze vrij moeilijke materie; het is voor ons hoofdzaak te weten, dat deze draaistroom via een 4-aderige kabel naar een huis komt, wanneer dat door meerdere gezinnen bewoond wordt. Drie van deze vier draden zijn de z.g. fazedraden; elk dezer fazedraden heeft een spanning van $220\text{ V} \sim$ tegenover de 4e draad, die men de nuldraad noemt; deze draad is in de centrale geaard (fig. 19). Tussen 2 willekeurige faze-

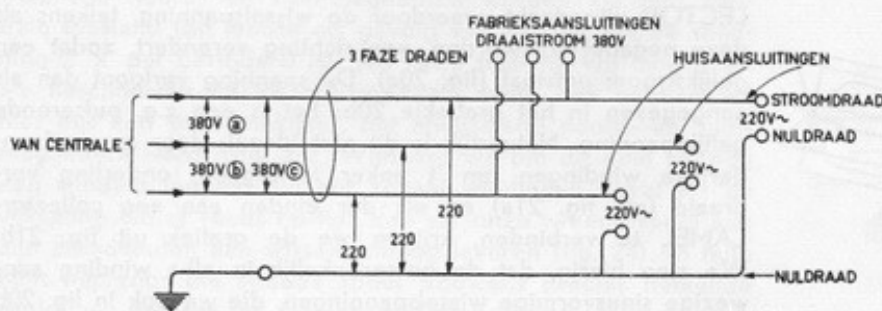


fig. 19a

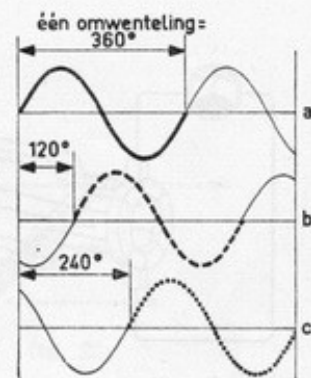


fig. 19b

draden onderling meet men steeds $380\text{ V} \sim$. Aldus zijn 3 verschillende wisselspanningen aan te wijzen, nl. a, b en c. Deze spanningen zijn onderling 120° in fase verschoven; dit wil zeggen, dat ze niet tegelijkertijd op hun maximum en minimum komen, doch ná elkaar; we zien dit in fig. 19b voorgesteld. Men bereikt dit, door op het anker van de dynamo van fig. 14 niet één doch drie wikkelingen aan te brengen. Door een kunstgreep in de schakeling van de spoelen (z.g. sterschakeling) heeft men slechts 4 sleepringen nodig, n.l. 3 voor de drie fazen plus één voor de nuldraad.

Ieder van de bewoners krijgt nu de nuldraad + één der drie fazedraden in zijn woning; zo'n fazedraad noemt men dan de stroomdraad voor die woning en tussen de nuldraad en die stroomdraad staat dan een wisselspanning.

Daar de 3 fazedraden gelijk belast moesten worden, zal onze buurman beneden weer een andere fazedraad binnen krijgen en de buurman boven de derde. En wat er nu in onze woning vastzit aan die beide binnenkomende draden zagen we reeds in fig. 31 van les 1. Bewoners van grote huizen of winkels krijgen de nuldraad plus alle 3 fazedraden in huis; men verdeelt het aantal lichtpunten dan over drie groepen, die ieder weer door de nuldraad plus één der fazedraden worden gevoed. Hebben wij een fabriek en gebruiken wij draaistroommotoren, dan krijgen wij de 3 fazedraden in onze werkplaatsen; de motoren moeten dan berekend zijn op 380 V . Voor verlichting e.d. gebruiken we ook in de fabriek echter één der 3 fazedraden en de nuldraad, dus $220\text{ V} \sim$. In sommige steden, b.v. het oudere deel van Amsterdam, meet men 220 V tussen de fazedraden onderling; twee hiervan komen normaal in de woningen. De nuldraad komt hier dus niet binnen. Evenwel zal men tussen aarde en één

dezer beide draden toch spanning meten, nl. 127 volt.

$$\left(= \frac{220 \text{ V}}{\sqrt{3}} \right)$$

GELIJKSPANNING

Voor kleine elektriciteitsvoorzieningen, b.v. auto's, op schepen en in boerderijen gebruikt men bij voorkeur gelijkspanningsnetten, omdat wisselspanning niet opgezameld kan worden in accumulatoren en gelijkstroom wel, gelijk we reeds zagen.

Door vernuftige kunstgrepen heeft men op de as van een wisselspanningsdynamo een z.g. POOLWISSELAAR of COLLECTOR uitgedacht, waardoor de wisselspanning, telkens als deze negatief wil worden, van richting verandert, zodat een gelijkstroom ontstaat (fig. 20a). De spanning verloopt dan als aangegeven in het grafiekje 20b; het is een z.g. pulserende gelijkspanning. Natuurlijk is dit niet ideaal; door meer afzonderlijke windingen om 't anker te leggen, onderling verdraaid (zie fig. 21a) en elk der einden aan een collector-LAMEL te verbinden, krijgen we de grafiek uit fig. 21b. We zien hierin, dat de oorspronkelijk in elke winding aanwezige sinusvormige wisselspanningen, die we ook in fig. 20b zien, elkaar gedeeltelijk overlappen. Hier spreken we van een gelijkspanning met een rimpel en deze is voor normaal gebruik (verlichting e.d.) wel toelaatbaar.

Deze collector bestaat uit z.g. lamellen van koper, door mica onderling gescheiden; koolstaafjes, de z.g. borstels, die onder veerspanning tegen de draaiende lamellen gedrukt worden, dienen om de spanning af te nemen (fig. 22). De bij dergelijke collectoren optredende vonken veroorzaken hevige radiostoringen, die echter voor een groot deel onschadelijk te maken zijn.

Zowel bij gelijkspannings- als wisselspanningsmachines of dynamo's hangt de spanning niet alleen van de omwentelingssnelheid af doch ook van het aantal win-

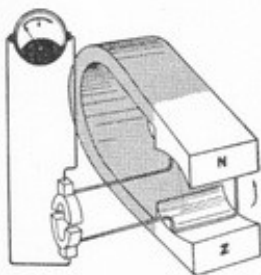


fig. 20a

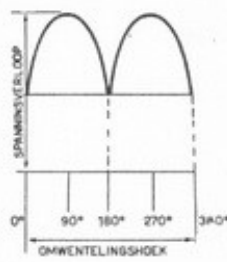


fig. 20b

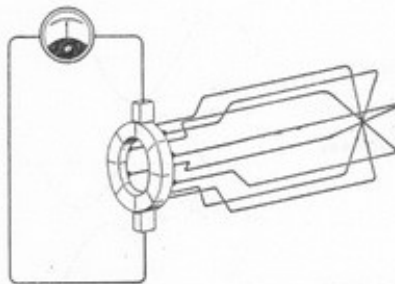


fig. 21a



fig. 21b

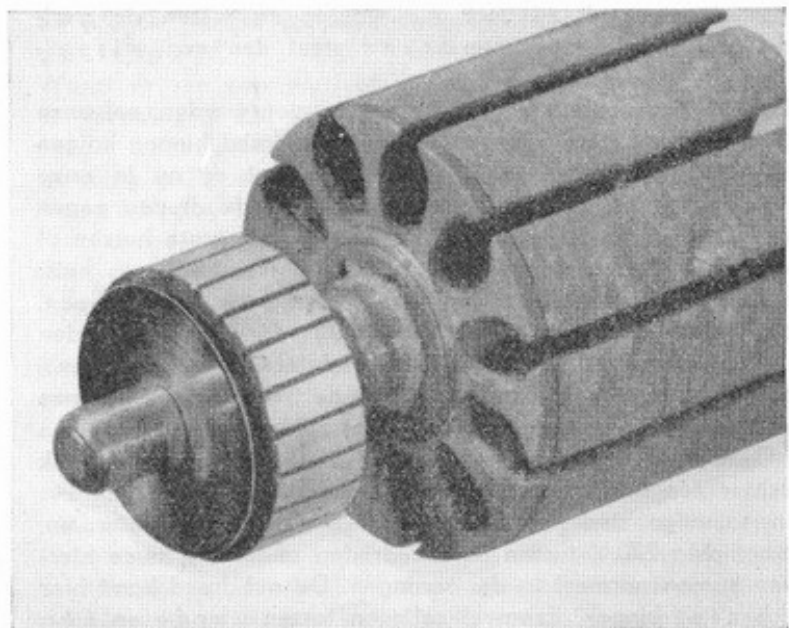


fig. 22
Collector met onbewikkeld
anker

dingen van de ankerwikkeling. Willen we nu b.v. bij een autodynamo met een lage spanning werken, wel, dan moeten we op een grote stroom rekenen, anders komen we niet aan het benodigde vermogen ($W = E \times I$). We moeten dan dus weinig windingen aanbrengen, maar van dik draad.

Bij wisselspanning kunnen we door middel van een transformator elke gewenste spanning verkrijgen, zoals we aanstonds zullen zien; bij gelijkspanning gaat dit kunstje helaas niet op.

TRANSFORMATOREN

Wanneer we om een ijzeren staaf een spoel wikkelen en deze op een wisselspanningsnet aansluiten, zal onder de invloed van de wisselende spanning elk einde van die staaf afwisselend noord- en zuid-magnetisch worden via een neutrale toestand (dit laatste als gevolg van het feit dat de spanning $2 \times$ per periode 0 is). Als deze staaf nu vrij lang is en we beschouwen nu de onbewikkelde helft, dan hebben we hier dus een stuk weekijzer, dat afwisselend noord- en zuid-magnetisch wordt (fig. 23). Wanneer we om dit eind nu nog een winding leggen, die net zoveel windingen bevat als de wikkeling die er reeds op ligt, dan zal onze tweede spoel aan zijn draadeinden een wisselspanning leveren (fig. 24). In feite blijft het voor die tweede spoel trouwens precies hetzelfde of hij nu op een as in een magnetisch veld rondwentelt als een dynamoanker zoals in fig. 11 of dat het magnetisme in zijn ijzeren kern nu onder invloed van een andere wisselende bron van magnetisme verandert.

Wanneer we dit eenmaal inzien is het niet moeilijk te begrijpen dat wanneer we in de 2e spoel (de secundaire genoemd) nu eens $3 \times$ zoveel windingen aanbrengen als in de 1e (de PRIMAIRE genoemd), dat we dan op de SECUNDAIRE spoel een $3 \times$ zo hoge spanning meten, met andere woorden: De spanningen in twee spoelen van een TRANSFORMATOR verhouden zich als hun windingtallen; dit getal geeft de TRANSFORMATIEVERHOUDINGEN aan: $1:3$ wil dus zeggen: Het aantal windingen van de primaire verhoudt zich tot dat van de secundaire als $1:3$, terwijl dit ook met de spanningen het geval is. We komen later op de berekening terug, want in deze beschouwing hebben we de verliezen nog buiten beschouwing gelaten.

Wanneer we nu alleen de primaire bezien en we zouden als secundaire een mooie dichtgesoldeerde ring om de kern schuiven (fig. 25a), dan zou hierin gezien de wikkelverhouding weliswaar een lage spanning geïnduceerd worden, maar de stroom zal zéér groot zijn, zoals we verderop in deze les zullen zien. En dat vormt weer een zeer zware belasting voor de primaire wikkeling en kan praktisch met een kortsluiting daarvan worden gelijkgesteld.

Maar als we nu goed kijken zien wij dat ook in een massieve ijzeren kern een dergelijke stroomloop zal optreden (fig. 25b). Doordat ijzer de elektrische stroom minder goed geleidt dan koper zijn de gevolgen minder ruïneus maar toch ernstig. Men spreekt hier van WERVELSTROMEN; om hun ontstaan te voorkomen gebruikt men nimmer een massieve kern doch een kern, opgebouwd uit dun plaatijzer, z.g. dynamoblik, dat aan één kant met een isolatielaagje, b.v. heel dun vloeipapier beplakt is (fig. 26). In deze van

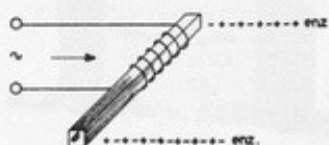


fig. 23

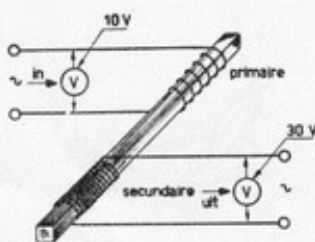


fig. 24



fig. 25a

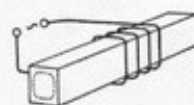


fig. 25b

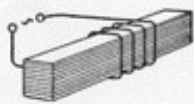


fig. 26

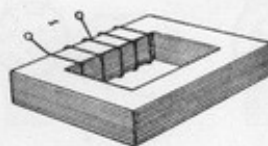


fig. 27

elkaar geïsoleerde dunne lagen dynamoblik treden geen wervelstromen van betekenis op.

Tot nu toe bespraken we spoelen waarin een staafvormige ijzerkern was gebracht; de magnetische krachtlijnen doorlopen dus het ijzer, maar moeten nog een deel van hun weg door de lucht vervolgen. Daar lucht zoals we gezien hebben minder goed in staat is magnetische krachtlijnen te geleiden, streeft men er naar bij transformatoren voor lage frequenties de luchtweg geheel uit te schakelen door de toepassing van een gesloten ijzerkern.

Sluiten we nu een transformator op het net aan, zonder dat we secundair stroom afnemen, dan blijkt er toch een stroom te lopen door de primaire!

Welnu, we hebben gezien dat $2 \times$ per periode het magnetisch veld van richting verandert en inderdaad is hiervoor kracht nodig, die door het net in de vorm van een kleine stroom, de nullaststroom genoemd, die in feite veroorzaakt wordt door de z.g. magnetiserings- of ijzerverliezen, die heel hoog kunnen worden, wanneer de berekende hoeveelheid „blik niet aanwezig is.

In de koperen wikkeldraden, die soms een behoorlijke lengte krijgen, treden bovendien nog verliezen op door de ohmse weerstand, die elke geleider nu eenmaal heeft. Deze verliezen, die eerst aan 't licht komen wanneer we de transformator gaan belasten, noemen we de koperverliezen; bij het berekenen moeten we hiermede rekening houden.

Bij de behandeling van voedingsapparaten en laagfrequent versterkers komen we op de constructie van transformatoren en deze verliezen nader terug.

SPOELEN EN CONDENSATOREN

We hebben het gedrag van wisselspanningen en het ontstaan daarvan uitvoerig behandeld in een vorig hoofdstuk; het ging hier hoofdzakelijk om spanningen van lage frequenties (50 of 60 Hz).

Het gehele wezen van de radiotrillingen berust evenzo op wisselspanningen doch van veel hoger frequenties nl. tussen 150 kHz en 80 megahertz (150000 en 80000000), terwijl bij de geluidsweergave en versterking nog wel van laagfrequente trillingen gebruik wordt gemaakt, doch deze bestrijken in de moderne techniek nog altijd een bereik van 30—15000 trillingen per seconde.

Al deze trillingsverschijnselen zijn echter slechts mogelijk door het samenspel van spoelen en condensatoren (zelfinducties en capaciteiten), en we zullen daarom deze onderdelen eerst eens afzonderlijk bezien.

SPOELEN

Een spoel is in 't algemeen een draadwinding, gewonden op een klos, soms voorzien van een ijzerkern; hij biedt aan gelijkstroom een weerstand, die we hebben leren berekenen uit lengte, dikte en soortelijke weerstand van 't gebruikte materiaal.

We kunnen een dergelijke spoel voorzien van een ijzerkern op een gelijkspanningsbron van b.v. 100 V aansluiten; we meten dan met de in serie geschakelde ampèremeter een be-

paalde stroom, die dan volledig blijkt te kloppen met de berekeningen volgens de wet van Ohm: $E = I \times R$ (fig. 28). Nu gaan we een aardige proef doen: We sluiten dezelfde spoel eens aan op een wisselspanning, eveneens 100 V, en nu blijkt dat er maar een zéér geringe stroom loopt. Zou de wet van Ohm hiervoor dan niet opgaan? Ja, die gaat ook hiervoor op maar... de weerstand voor wisselstroom blijkt veel groter te zijn als gevolg van de z.g. zelf-Inductie van de spoel (fig. 29).

Wat dit nu is zullen we eens gaan ontdekken.

EEN SPOEL, AANGESLOTEN OP GELIJKSPANNING

We zagen dat door een spoel, die reeds aangesloten is op een gelijkspanningsbron een stroom loopt, die met de wet van Ohm berekend kan worden.

Maar t i j d e n s het inschakelen van de stroom en vlak daarna krijgen we te maken met een eigenaardig geval; de s t r o o m zal namelijk niet onmiddellijk beginnen te lopen doch eerst even ná het inschakelen; hij groeit dan aan van nul tot de berekende waarde. Loopt de stroom echter eenmaal, dan bemerkt men geen invloed van de zelfinductie en geldt weer gewoon de wet van Ohm. Bij het uitschakelen van de spanning blijkt echter, dat nádat het contact verbroken is er nog een vonk overspringt; de stroom was dus nog niet beëindigd. Alle stroombewegingen lopen blijkbaar áchter de spanningsverschijnselen aan; men noemt dit: de stroom ijlt na t.o.v. de spanning; ook wel: de stroom is in fase verschoven t.o.v. de spanning.

Maakt men op dit punt vergelijkingen, dan gaan die bijna altijd op één of ander punt mank; men kan zich dit verschijnsel echter het best voorstellen met een baas, die de hond aan de lijn heeft (fig. 31). De baas start, maar de hond moet eerst een ruk aan de lijn voelen voordat hij volgt; door bezigheden bij diverse bomen blijft de hond steeds achter. De baas is de spanning, de hond de stroom.

Is de baas op de finish aangekomen, dan wacht hij en ja, even later komt de hond ook.

Bij het verbreken van de spanning zien we het verschijnsel in omgekeerde volgorde: de baas keert terug, de hond vertrekt later; even na aankomst van de baas komt ook de hond. Tijdens het verblijf aan de finish (= tijdens het lopen van de gelijkstroom) is er geen sprake van na-ijlen; dit verschijnsel treedt slechts op bij het in- en uitschakelen en is in feite een traagheidsverschijnsel: zodra de spanning gesloten wordt, moet er een zogenaamd magnetisch veld opgebouwd worden. Is dit eenmaal geschied, dan kan de stroom ongehinderd lopen. Dit „opgebouwde” magnetische veld echter bestaat ook nog even ná het afschakelen van de spanning, vandaar de stroomloop nog daarna, als het veld „afgebroken” wordt. Men heeft hiervoor deze voorstelling, afkomstig van Weber: de ijzermoleculen zijn als kleine magneetstaafjes te beschouwen, die in wanorde dooreenliggen en in dit verband m a g n e c u l e n genoemd worden. Het uitwendig magnetisch veld van zo'n stuk ijzer is dus nul. Wanneer nu dit stuk ijzer gemagnetiseerd wordt door een spoel waardoor een elektrische stroom loopt, dan moeten alle ijzermoleculen zich netjes in slagorde opstellen, waardoor de kern tenslotte een noordpool en een zuidpool krijgt (fig. 32 en 33), waarvoor

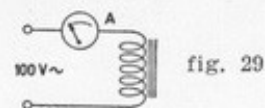


fig. 30 Laagfrequent smoorspoel

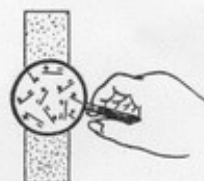


fig. 32

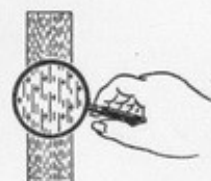


fig. 33

energie en tijd nodig zijn! Maar deze energie is voor een groot deel niet verloren doch wordt door de magneculen evenals bij een vliegwiel even bewaard. Verbreken we de verbinding van de spoel met de spanningsbron dan zien we het omgekeerde optreden: de magneculen bezitten dus nog hun magnetische energie en wanneer deze energie vrijkomt, wordt in de spoel nog gedurende een kort ogenblikje een stroom geïnduceerd, terwijl nota bene de spanningsbron reeds afgeschakeld was! Geleidelijk aan valt de stroom echter terug tot nul, terwijl tevens het magnetisme verdwenen is!

Nu hebben we dit verschijnsel beschreven bij een spoel, waarin een ijzerkern. Maar ook bij een spoel zonder ijzerkern treedt dit verschijnsel op; we moeten het maar zo beschouwen, dat zich in en om een dergelijke spoel een denkbeeldige middenstof, de aether bevindt en dat het elektromagnetische veld, dat aldus door de spoel na het inschakelen opgebouwd wordt, óók tegenstand in de aether ondervindt en dat bij het verbreken van de verbinding tussen de spoel en de gelijkspanningsbron weer energie vrijkomt, die de stroom poogt te onderhouden.

Zelfs een eindje draad van enkele centimeters lengte bezit nog een bepaalde zelfinductie, maar het ligt voor de hand dat een spoel, voorzien van een ijzerkern een veel grotere zelfinductie bezit dan een z.g. luchtspoel. Deze zelfinductie drukt men uit in H (henry) zo genoemd naar de onderzoeker Henry; in ons steno duiden we het begrip zelfinductie aan met L. Voor vele gevallen is de henry te groot; we maken

dan gebruik van de milli-henry $= 1 \text{ mH} = \frac{1}{1000} \text{ H}$ of van

de micro-henry, $\mu\text{H} = \frac{1}{1000000} \text{ H}$.

(Een spoel voor ontvangst van middengolven is 175 μH en een smoorspoel uit een anodevoedingsapparaat bezit een zelfinductie van ongeveer 10 henry; dit om een voorbeeld te geven.)

We moeten er hier wel op wijzen, dat de zelfinductie een grootheid is, die uitsluitend afhangt van het aantal windingen, de vorm van de spoel en van het feit of zich in de spoel een ijzerkern of een ijzerpoederkern bevindt of niet.

EEN SPOEL, AANGESLOTEN OP WISSELSpanning

Bij aansluiting van een spoel op een wisselstroombron krijgen we feitelijk te maken met een stroom, die regelmatig wordt ingeschakeld en weer uitgeschakeld, ingeschakeld in de andere richting en weer uitgeschakeld. Deze zelfinductie nu veroorzaakt een voortdurend aanwezige weerstandvergroting, die zich alléén bij wisselstroom doet gelden. En hoe hoger de frequentie, des te groter is die weerstandstoename. Ook dat ligt voor de hand: de magneculen of de aether zijn niet in staat deze snelle wisselingen te volgen. Beweeg maar eens een lepel in een strooppot: bij langzame bewegingen voelen we een bepaalde tegenstand, maar hoe sneller de beweging, des te zwaarder de tegenstand!

In feite biedt de zelfinductie aan wisselstroom een inductieve

schijnweerstand of inductieve reactantie, die we met R_L aanduiden

Ook bij condensatoren komt zo iets voor; we noemen die dan R_C ; we komen hierop terug.

Wanneer van een spoel de zelfinductie L bekend is, dan kunnen we voor elke frequentie de inductieve reactantie uitrekenen met de formule $R_L = 2 \times \pi \times f \times L$, terwijl we deze schijnweerstand overigens gewoon in ohms uitdrukken.

VOORBEELD

Een spoel van 25 henry heeft voor een wisselstroom met een frequentie van 50 Hz een schijnweerstand van

$$R_L = 2\pi fL = 2 \times \pi \times 50 \times 25 = 7853 \Omega.$$

Nu begaan we hiermede eigenlijk een fout, want elke spoel bezit bovendien steeds een ohmse weerstand R , dat is de koper-weerstand, die hij ook op een gelijkstroomnet zou blijken te bezitten. Die weerstand R doet bij wisselstroom óók iets, maar toch mogen we die niet zonder meer optellen bij de wisselstroomweerstand R_L . Dat komt door het z.g. na-ijlen van de stroom op de spanning.

Wanneer dus een spoel niet alleen een inductieve reactantie R_L , doch bovendien een ohmse weerstand bezit, dan noemen we die combinatie van R en R_L de impedantie Z . Deze impedantie is dan:

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

VOORBEELD

Nemen we weer de zoëven genoemde smoerspoel van 2 henry, die een ohmse weerstand heeft van 200Ω ; de frequentie is ditmaal 100 Hz. Gevraagd: de impedantie Z .

Eerst berekenen we R_L . Die is: $2 \times \pi \times f \times L$ en dat geeft

$$R_L = 2 \times 3.14 \times 100 \times 25 = 15700 \Omega.$$

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

$$\sqrt{200^2 + 15700^2} =$$

$$\sqrt{40000 + 246490000} =$$

$$\sqrt{246530000}.$$

$$Z \text{ is } \sqrt{246530000} = 15701 \Omega.$$

We zien hieruit dat de ohmse weerstand weinig invloed heeft op de impedantie, want R_L alléén berekenen we op 15700Ω .

We zijn op de theorie van de transformator niet diep ingegaan, maar het zal na het bovenstaande duidelijk zijn, dat de primaire wikkeling van een transformator een bepaalde zelfinductie en als gevolg daarvan een hoge impedantie, dus hoge weerstand voor wisselstroom bezit, waardoor de wisselstroom die door de primaire loopt beperkt wordt; sluiten we echter een transformator op een gelijkspanning aan, dan zal het magnetisch veld niet van richting wisselen. Ná het inschakelen geldt dus slechts de wet van Ohm; daar de ohmse koperweerstand laag is zal de stroom stellig te groot worden, zodat de transformator bedorven wordt.

NA-IJLEN VAN DE STROOM

We zagen, dat een zelfinductie (of spoel) aan wisselstromen een weerstand biedt, die belangrijk groter is dan zijn ohmse weerstand.

Bovendien zal echter de wisselstroom door een spoel steeds na-ijlen op de spanning; is de spanning dus maximum, dan is de stroom nog nul; is de spanning reeds aan 't vermindern, dan groeit de stroom aan.

Om even tot baas en hond terug te keren: de baas loopt nu niet steeds in één richting, maar loopt op een kort weggetje steeds heen en weer te ijsberen; is de baas aan het eind, dan moet de hond nog komen; is de baas alweer op de terugweg, dan komt de hond aan 't eindpunt en volgt de baas maar weer. Komt de baas op het beginpunt, dan is de hond er nog niet; is de hond er, dan is de baas al weer een heel eind op weg naar de finish, en zo maar voort!

Het is in de regel niet gemakkelijk voor beginners om een grafische voorstelling te „lezen”; het is het gemakkelijkst de zaak zó voor te stellen, dat baas en hond een pad van b.v. 5 m lengte afleggen; doordat ze heen en weer lopen gaan de voetafdrukken verloren. Stel nu voor dat we ze met permanente moddervoeten over een strook linnen heen en weer laten lopen (fig. 34) en deze strook zijdelings wegtrek-

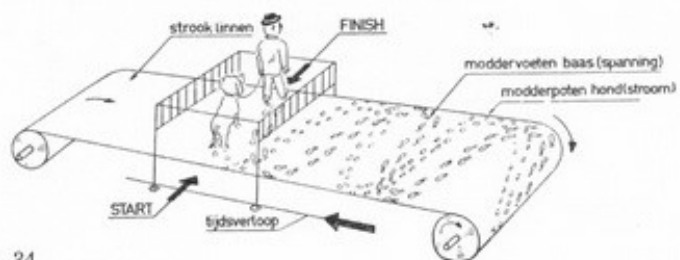


fig. 34

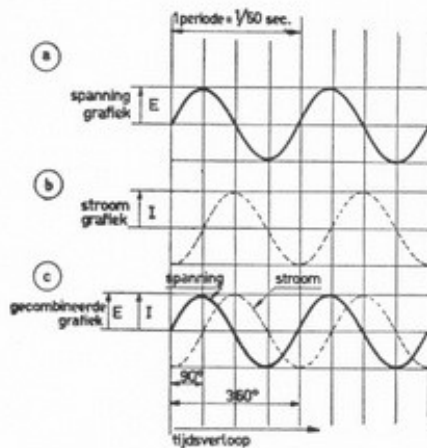


fig. 35a Stroom ijlt na; in dit geval heeft de wisselspanning een frequentie van 50 Hz en duurt 1 periode dus 1/50 sec.

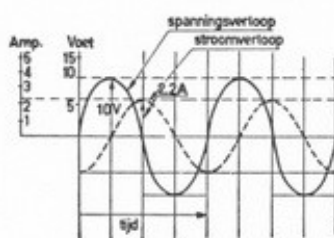


fig. 35b Stroom ijlt na

ken; we bewaren op die manier de voetstappen, om ze later te bekijken... Het „officiële” resultaat zien we in fig. 35a (c). Om het voorbeeld aannemelijk te maken zijn de toppen van de sinuslijnen van spanning en stroom even hoog gehouden; in werkelijkheid zal dit zelden het geval zijn; verder hangt het trouwens van de schaalwaarde af. Die schaalwaarde is een soort tekening-sleutel: we schrijven dan bij een grafiek b.v.: 1 cm = 10 volt; of: 1 cm = 1/100 seconde. De schaalwaarde zal in 't algemeen afhangen van de afmetingen die onze grafische voorstelling heeft en van de spanningen of stromen, die er grafisch op voorgesteld worden. Een meer wetenschappelijke vorm van een dergelijke grafische voorstelling zien we in fig. 35b.

Nu kan men zich over dat na-ijlen de vraag stellen: hoeveel tijd verloopt er nu tussen het tijdstip dat a) de spanning maximum is en b) de stroom minimum is?

Ja, hoe lager de frequentie, hoe meer tijdsverloop daartussen ligt. We kunnen dus niet zeggen: O, dat duurt zó veel microseconden, want voor elke frequentie verschilt dat tijdsverloop.

Het blijkt echter, dat we wél kunnen zeggen: het na-ijlen duurt circa 1/4 of 25 % van één gehele wisselstroomcyclus of -periode. Omdat we draaiende verschijnselen steeds met hoeken en graden (°) omschrijven en een héle omwenteling gelijk is aan 360°, zeggen we dat de stroom 90° na-ijlt op de spanning.

Er doen zich gevallen voor, waarbij door verschillende oor-

zaken, o.a. het in serie schakelen van een spoel met een weerstand, de stroom niet 90° doch minder na-ijlt. Wij zullen hierop thans niet ingaan.

Om in die gevallen de faze-hoek uit te drukken gebruikt men vaak de cosinus van die hoek, die men φ (fi) noemt. Men schrijft dan b.v.: $\cos. \varphi = 0.8$ (cosinus is een begrip uit de goniometrie). Men kan deze uitdrukking vaak op draaistroommotoren lezen.

Tot slot van dit zelfinductie-hoofdstuk moet er op gewezen worden, dat de grootte van de zelfinductie van de spoel in hoofdzaak bepaald wordt door: het aantal windingen; de vorm van de spoel (cilinderspoel, honingraatspoel, mandbodemspeel) (fig. 37) en het feit of zich een ijzer- of poederijzerkern in de spoel bevindt of niet. Overigens zijn er nog wel andere factoren, die de zelfinductie beïnvloeden; we komen die later nog wel tegen.

De indirecte reactantie of schijnweerstand voor wisselstroom echter hangt af van de zelfinductie en bovendien van de frequentie van de wisselspanningsbron. En het is deze inductieve schijnweerstand die we met behulp van de formule berekenen.

In feite is hierboven een eenvoudige voorstelling gegeven van het verschijnsel der zelfinductie, dat zijn grondslagen vindt in de wet van Lenz, die we hier echter niet zullen behandelen.

SPOELLEN, PARALLEL EN IN SERIE

Evenals we ohmse weerstanden parallel of in serie kunnen schakelen, kunnen we dat ook met spoelen doen. Toch is er een zeer groot verschil, want weerstanden beïnvloeden elkaar volstrekt niet. Spoelen kunnen elkaar echter wel degelijk beïnvloeden door WEDERZIJDSE INDUCTIE, die het gevolg is van het z.g. uitwendig veld van de spoelen. We hebben dit trouwens reeds bij de behandeling van de transformatoren gezien. Vanzelfsprekend wordt deze wederzijdse inductie geringer als men de onderlinge afstand vergroot. Men kan echter ook de invloed van het elektromagnetisch veld beperken, wanneer we de spoel in een afschermbus plaatsen. Daar buiten bestaat dan in 't geheel geen magnetisch veld meer! Natuurlijk mag zo'n bus niet te eng om die spoel passen, want in feite vormt de buswand een kortgesloten winding om de spoel. Welnu, de zelfinductie van 2 of meer in serie geschakelde afgeschermdde spoelen is (fig. 38, links)

$$L_{tot} = L_1 + L_2 + L_3 \text{ enz., uitgedrukt in henry.}$$

Bij 2 parallel geschakelde spoelen, afgeschermd, krijgen we (fig. 39, links):

$$L_{tot} = \frac{L_1 \times L_2}{L_1 + L_2} \text{ (weer in henry).}$$

De letter L stelt hier de waarde der zelfinductie voor, uitgedrukt in henry.

We zien dat de opbouw van deze formules geheel op die van de ohmse weerstand lijkt (blz. 13 en 15, les 1).

Het in serie of parallel schakelen van niet afgeschermdde spoelen maakt de zaak véél ingewikkelder, want dan speelt deze vraag een grote rol: ondersteunen de velden elkaar of werken ze elkaar tegen? De onderlinge af-



fig. 36
Mu-core spoeltjes voor midden-golf-ontvangst in afschermbusjes

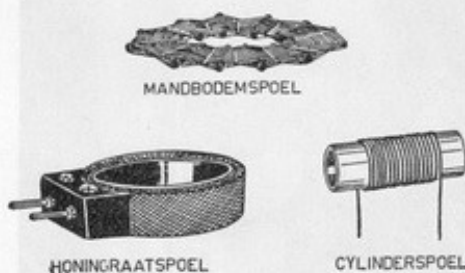


fig. 37

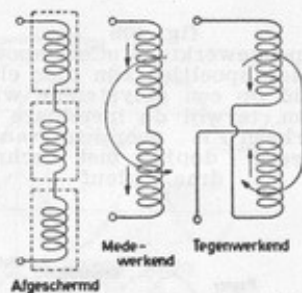


fig. 38

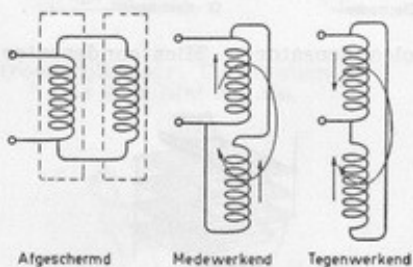


fig. 39

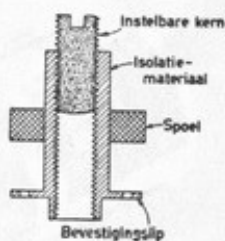


fig. 40a

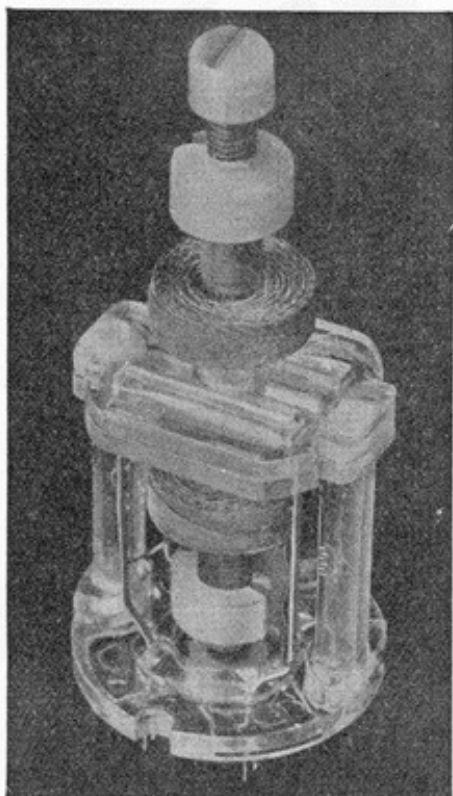
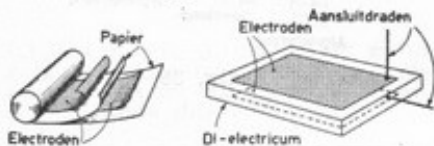


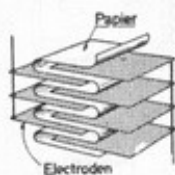
fig. 40b

Opengewerkte MuCore-spoel
De beide spoeltjes zijn hier elk gewikkeld op een polysterene wikkellijchaam, terwijl de instelbare ijzerpoederkern is voorzien van een geïsoleerd dopje met schroefdraaiergleuf



Rolcondensator

Mica condensator



Stapelcondensator
fig. 41

stand, of zoals men zegt, de koppelingsgraad is hierbij van overwegend belang. We zullen hier niet verder op ingaan omdat, evenals bij de spoelberekening, te veel ongewisse factoren in 't spel zijn.

Aan het einde van het vorige hoofdstuk bespraken wij de gunstige invloed van een gelamelleerde ijzerkern op spoelen: hierdoor wordt de weerstand voor de magnetische krachtlijnen verkleind. Als de frequentie echter hoger wordt moet het ijzer nog sterker onderverdeeld worden; we komen op die manier tot IJZER-POEDERKERNEN. Hier bevindt zich betrekkelijk weinig en zeer fijn verdeeld ijzer in een neutrale vulstof, zo ongeveer als krenten in een krentenbrood (fig. 40a). Op deze manier kunnen in de ijzerdeeltjes geen stromen van betekenis meer geïnduceerd worden, terwijl er ook weinig energie nodig is, om het magnetisme $2 \times$ per periode om te polen (= van richting te doen veranderen). Want hiervoor is inderdaad energie nodig.

Eveneens is er energie nodig om de verliezen te overwinnen die bij de HOOGFREQUENT- (dus radio-) spoelen veroorzaakt worden door stoffen als pertinax, eboniet en vooral niet te vergeten vocht in het veld van de spoel. Wij komen hierop terug, als we de praktische toepassing van spoelen behandelen.

Het is goed er nogmaals op te wijzen, dat de zelfinductie van een spoel en dus ook de impedantie belangrijk vergroot worden, wanneer we een ijzerkern toepassen voor laagfrequent spoelen of een poeder-ijzerkern voor hoogfrequent spoelen.

Als regel zal het er ons niet om te doen zijn een grotere zelfinductie te verkrijgen, maar om een bepaalde zelfinductie te verkrijgen met zo min mogelijk draadwindingen en hierbij kunnen wij dus profijt trekken van ijzer of poederijzerkernen. Weliswaar brengen deze kernen een zeker verlies met zich mede, maar daar staat tegenover een veel groter winst doordat wij veel minder draadwindingen behoeven toe te passen, met als gevolg geringere ohmse weerstand en dus kleiner koperverliezen. Bovendien kunnen we, door de ijzer-poederkernen in- en uitschroefbaar te maken, de zelfinductie van hoogfrequent spoelen binnen zekere grenzen wijzigen en zo nodig 2 zelfinducties precies aan elkaar gelijk maken, hetgeen in de toestelbouw vaak noodzakelijk is (fig. 40).

DE CONDENSATOR

Een condensator is een soort reservoir waarin een elektrische lading bewaard kan worden en bestaat uit twee stukken metaal, de elektroden, die door een ISOLATOR, b.v. papier, mica of lucht gescheiden worden (fig. 41). Het vermogen van 'n condensator om een elektrische lading te bewaren noemt men zijn CAPACITEIT; de eenheid daarvan is FARAD (F). Een condensator van 1 F is echter onmenselijk groot, vandaar

dat we met $\mu F = \text{micro-farad} = \frac{1}{1.000.000} F$ (één miljoen-

ste F) werken, terwijl in radiokringen gebruik gemaakt wordt

van $\mu\mu F = \text{micro-micro-farad} = \frac{1}{1.000.000.000.000} F =$

1 pF = 1 pico-farad. Ook ziet men voor 1 $\mu\mu\text{F}$ of 1 pF wel 1 cm op oudere condensatoren vermeld staan.

CONDENSATOR OP GELIJKSPANNING AANGESLOTEN

Wat doet nu een condensator als hij op een gelijkspanning wordt aangesloten? Er loopt reeds onmiddellijk na 't aansluiten een fikse stroom; dat kunnen we op een ampèremeter wel zien, wanneer we die in serie schakelen met de condensator van b.v. $\frac{1}{2} \mu\text{F}$ (fig. 42). Een over de condensator geschakelde spanningsmeter laat echter zien, dat onmiddellijk ná 't inschakelen die spanning nog 0 volt is, want de condensator is nog leeg. Is de condensator eenmaal geladen, dan is de spanning gelijk aan die van de spanningsbron maar nu is de stroom weer 0. Hier is evenzeer sprake van een fazeverschuiving, maar thans is het de stroom die vooruitloopt (of voorijlt). In ieder geval zal er ná de lading geen stroom meer door de condensator lopen: een condensator vormt een blokkering voor gelijkstroom.

Een watervoorbeeld is aardig: Onder in een gevuld reservoir A is een verbinding (met kraan) naar een ander (ledig) reservoir B dat even hoog staat als A. Draaien we de kraan open, dan is de waterhoogte in B (de spanning) = 0. Door de kraan loopt een flinke waterstroom (de stroom). Eindelijk staat 't water in B even hoog als in A, spanning is dus in beide reservoirs gelijk. Door de kraan loopt niets meer; stroom is 0.

Reservoir A is te vergelijken met de gelijkstroombron, b.v. een batterij en reservoir B is onze condensator. De „waterwip” van fig. 16 kan als illustratie voor dit voorbeeld dienen, mits hij precies horizontaal gehouden wordt.

We hebben nu gezien hoe we een condensator laden.

Om hem te ontladen zouden we de milliampère-meter over zijn klemmen kunnen aansluiten; we zouden dan de stroom in omgekeerde richting zien lopen. Maar... met dit kunstje moeten we voorzichtig zijn, want het ontladen van een condensator is schadelijk voor de condensator; slechts wanneer we hem via een weerstand ontladen is het onschadelijk.

En dan blijft het, zowel bij het laden als het ontladen, uitkijken voor onze meter!

CONDENSATOR OP WISSELSpanning AANGESLOTEN

Sluiten we nu een condensator op wisselspanning aan, dan loopt er 2 $\times$ per periode werkelijk een stroom; gedurende de eerste helft van de periode in positieve richting, gedurende de tweede helft in negatieve zin. Ook hier treden éérst de stroomverschijnselen op en dan pas de spanning: ook hier is dus sprake van het voorijlen, ditmaal van de stroom t.o.v. de spanning (fig. 43).

We grijpen hier nog even terug naar de baas met zijn hond. We zien nu, dat het de hond (de stroom) is die de baas (de spanning) voorttrekt (fig. 44); dat is dus net andersom als bij fig. 31.

Belangrijk is het, dat een condensator voor wisselstroom géén blokkering vormt doch een weerstand. Daar het geen ohmse weerstand is spreekt men ook hier van een schijnweerstand en wel van een capacatieve schijnweerstand ofwel reactantie.

De wisselstroomweerstand R_C van een condensator is:

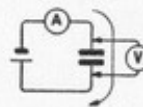


fig. 42

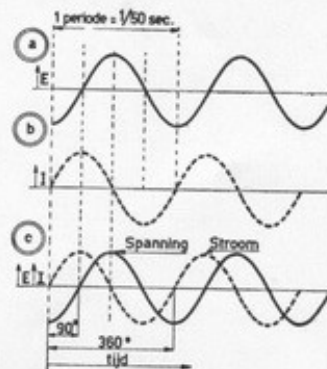


fig. 43
Stroom ijlt vóór. De frequentie was ook hier 50 Hz.



fig. 44

$$R_c = \frac{1}{2\pi \times f \times C}$$

(C = farads, $\pi = 3.14$, f = frequentie).

Voor dagelijks gebruik is een formule, waarin C uitgedrukt is in Farads, wat onhandelbaar; we maken er daarom μF van:

$$\frac{1}{2\pi} \times \frac{1000000}{1} \times \frac{1}{C \text{ (in } \mu F) \times f}$$

Nu kunnen we ook nog die π wegwerken:

$$\begin{aligned} R_c &= \frac{1}{2 \times 3.14} \times \frac{1000000}{1} \times \frac{1}{C \times f} = \\ &= \frac{1000000}{2 \times 3.14} \times \frac{1}{1} \times \frac{1}{C \times f} = \frac{15900 \times 1}{C \times f} \\ &= \frac{15900}{C \text{ (in } \mu F) \times f} \end{aligned}$$

We maken geen grote fout als we zeggen:

$$R_c = \frac{160000}{f \times C \text{ (in } \mu F)}$$

VOORBEELDEN van berekening van de WISSELSTROOM-WEERSTAND van een condensator:

Hoe groot is de weerstand van een condensator van 9 μF voor wisselstroom van 50 Hz?

$$R_c = \frac{160000}{f \times C} = \frac{160000}{50 \times 9} = \frac{160000}{450} = 355 \Omega$$

Hoe groot is de weerstand van een condensator van 5 μF voor wisselstroom van 50 Hz?

$$R_c = \frac{160000}{f \times C} = \frac{160000}{50 \times 5} = \frac{160000}{250} = 640 \Omega$$

We zien dus: hoe groter de condensator, des te kleiner de wisselstroomweerstand!

Als we deze laatste condensator nu op een net van 125 V/50 Hz aansluiten, hoe groot is dan de stroom?

Volgens de wet van Ohm is dat:

$$I = \frac{E}{R} = \frac{125}{640} = 0.195 \text{ A}$$

We zijn nu in staat om de grootte van een onbekende condensator te bepalen door hem op het net aan te sluiten, met een wisselstroomampèremeter in serie: we meten dan de stroom en berekenen daarmee de capaciteit (fig. 45):

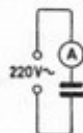


fig. 45

VOORBEELD

Op een 220 V $\sim$ net meten we op die manier een stroom van 0.15 A. En met de wet van Ohm kunnen we R berekenen:

$$R = \frac{E}{I} = \frac{220}{0.15} = 1466 \Omega. (R = R_c \text{ in dit geval.})$$

De netfrequentie is 50 Hz, zoals we weten. Wanneer nu de $R_c = 1466 \Omega$ is, hoe groot is dan die condensator?

$$R_c = \frac{160000}{f \times C} \text{ of } C = \frac{160000}{f \times R_c} = \frac{160000}{50 \times 1466} = \frac{160000}{73300} = 2.18 \mu\text{F}$$

Onze condensator heeft dus een capaciteit van $2.18 \mu\text{F}$.

PARALLELSCHAKELING VAN CONDENSATOREN

Plaatsen we een aantal condensatoren parallel, dan is de capaciteit daarvan de som van de capaciteiten van deze condensatoren of, in formule uitgedrukt: $C_{\text{totaal}} = C_1 + C_2 + C_3$ (fig. 46). Deze formule geldt voor een onbeperkt aantal parallel geschakelde condensatoren.

Zetten we 2 condensatoren van resp. $9 \mu\text{F}$ en $5 \mu\text{F}$ in parallelschakeling, dan is $C_{\text{tot.}} = C_1 + C_2 = 9 + 5 = 14 \mu\text{F}$.

In de praktijk zullen we vaak condensatoren parallel schakelen: wanneer b.v. ergens een condensator van 500 pF is voorgeschreven, maar we hebben deze niet in voorraad, dan is er niets tegen één van 300 pF parallel te schakelen aan één van 200 pF .

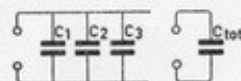


fig. 46

SERIESCHAKELING VAN 2 CONDENSATOREN

De formule hiervoor is (fig. 47):

$$C_v = \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2}$$

De capaciteit van de serieschakeling van twee condensatoren van resp. 9 en $5 \mu\text{F}$ is dus:

$$C_v = \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2} = \frac{9 \times 5}{9 + 5} = \frac{45}{14} = 3.21 \mu\text{F}$$

Denk er om, dat deze formule slechts geldt voor serieschakeling van 2 condensatoren!

Het in serie schakelen van 2 condensatoren komt minder vaak voor dan het parallelschakelen. In een superheterodyne ontvanger, die we later zullen leren kennen, echter is de padding-condensator een bekend en belangrijk voorbeeld van serieschakeling.

Het valt op, dat de formule voor serieschakeling van condensatoren lijkt op die voor parallelschakeling van weerstanden, terwijl de formule voor parallelschakeling van condensatoren weer lijkt op die voor de serieschakeling van weerstanden.

Toch is dit niet zo vreemd als het lijkt, als we ons steeds maar voor ogen houden: hoe groter een condensator is, des te kleiner is zijn wisselstroomweerstand.

We kunnen wel eens goed de proef op de som nemen:

$$R_c = \frac{160000}{f \times C} = \frac{160000}{50 \times C_{\text{tot.}}} = \frac{160000}{50 \times 3.21} = 995 \Omega.$$

In onze beide voorbeelden bleek de R_c voor 50 Hz van $9 \mu\text{F} = 355 \Omega$ te zijn en van $5 \mu\text{F}$ is de $R_c = 640 \Omega$.

Deze beide weerstanden in serie vormen samen:

$$R_{\text{tot.}} = 355 \Omega + 640 \Omega = 995 \Omega. \text{ Klopt dus.}$$

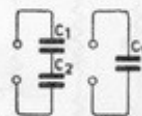


fig. 47

SERIESCHAKELING VAN CONDENSATOREN MET OHMSE WEERSTANDEN

Deze serieschakeling komt zeer veel voor op verschillende plaatsen in alle elektronische apparaten, ook waar we deze niet op het eerste gezicht als zodanig herkennen. We weten dat een ohmse weerstand in principe even groot blijft of we hem nu op gelijkstroom of wisselstroom aansluiten; van condensatoren weten we dat hun weerstand voor gelijkstroom oneindig groot is en voor wisselstroom afhangt van de frequentie. Wanneer we een weerstand van 200Ω in serie schakelen met een condensator van $5 \mu\text{F}$, waarvan zoals we berekenden de weerstand voor 50 Hz 640Ω is, mogen we niet zeggen, dat de totaalweerstand bij 50 Hz $= 200 \Omega + 640 \Omega = 840 \Omega$. Wij maken nl. de fout, geen rekening te houden met de fazeverschuiving tussen spanning en stroom die, zoals wij zagen, bij condensatoren optreedt. We zullen niet in theoretische details treden, maar geven de formule voor Z (de impedantie):

$$Z = \sqrt{R^2 + R_c^2} \text{ (fig. 48).}$$

Passen we deze formule nu toe op de weerstand en condensator in serie uit ons voorbeeld (200Ω en $5 \mu\text{F}$), dan krijgen we:

$$Z = \sqrt{R^2 + R_c^2} = \sqrt{200^2 + 640^2} = \sqrt{40000 + 409600} = \sqrt{449600} = 670 \Omega.$$

Dat is dus heel wat anders!

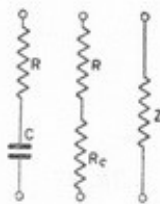


fig. 48

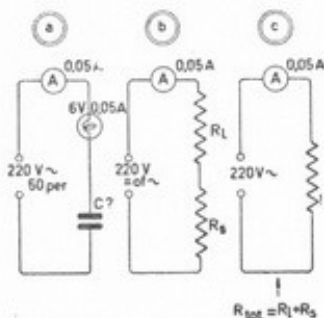


fig. 49 a—b—c

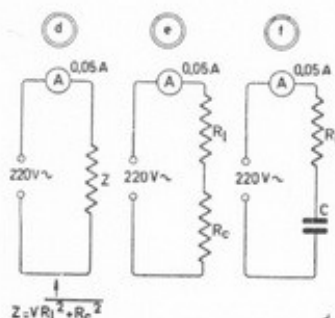


fig. 49 d—e—f

VOORBEELD

We hebben een fiets-achterlichtlampje, 6 V bij 0.05 A. We willen dit in serie schakelen met een condensator en dan op een wisselstroomnet van 220 V, 50 per. aansluiten.

Hoe groot moet die condensator zijn? (fig. 49a).

Drie dingen weten we zeker: de netspanning is 220 V; de stroom in de gehele kring moet precies 0.05 A zijn; de spanning over het lampje moet 6 V zijn. De weerstand van het lampje kunnen we berekenen met de wet van Ohm; deze

$$\text{ohmse weerstand is dus } R_L = \frac{E}{I} = \frac{6}{0.05} = 120 \Omega.$$

We beginnen de oplossing steeds door eerst de weerstand $R_{tot.}$ van de gehele kring uit te rekenen; het doet er in dit stadium nog niet toe, of we nu een serie weerstand of een seriecondensator gaan toepassen.

Bij een netspanning van 220 V en een stroomsterkte van 0.050 A is deze $R_{tot.}$:

$$R_{tot.} = \frac{E}{I} = \frac{220}{0.05} = \frac{22000}{5} = 4400 \Omega \text{ (fig. 49c).}$$

Deze $R_{tot.}$ of 4400Ω bestaat dus uit de weerstand van het lampje R_L in serie met die van de serie weerstand R_s (fig. 49b). Aangezien R_s hier de onbekende grootheid is gaan we die „isoleren“, d.w.z. aan één kant van het = teken brengen: $R_{tot.} = R_s + R_L$ wordt: $R_{tot.} - R_L = R_s$ of: $4400 - 120 = R_s$. En R_s is dus $4400 - 120 = 4280 \Omega$. Dit zou de waarde zijn wanneer een lampje zowel op wisselspanning als op gelijkspanning van 220 V zou moeten kunnen branden via een gewone weerstand (fig. 49b).

Maar 't gaat hier uitsluitend om wisselspanning en daarom mogen we een condensator toepassen. We zullen later zien dat dit voordeel meebrengt. De totale stroom moet ook hier 0.05 A zijn en de impedantie Z van de gehele kring (weerstand van lampje R_l en de reactantie van condensator R_c

in serie) moet dus óók $\frac{220}{0.05} = 4400 \Omega$ zijn (d). Z is dus

weer 4400Ω .

Nu kennen we de formule voor de serieschakeling van een ohmse weerstand (lampje) en een capacatieve reactantie (condensator): $Z = \sqrt{R_l^2 + R_c^2}$.

De vraag is dus nu: hoe groot is R_c ?

Wat we reeds weten vullen we in:

$$4400 = Z_{tot.} = \sqrt{R_l^2 + R_c^2} = \sqrt{120^2 + R_c^2}.$$

Nu kwadrateren we het linker- en het rechter lid van deze vergelijking: (kwadrateren wil zeggen: met zichzelf vermenigvuldigen)

$$4400^2 = 120^2 + R_c^2 \text{ of } R_c^2 = 4400^2 - 120^2$$

$$R_c^2 = 19.360.000 - 14.400 = 19.345.600.$$

$$R_c = \sqrt{19.345.600} = \text{circa } 4398 \Omega.$$

De condensator die we zoeken moet dus voor 50 Hz een wisselstroomweerstand of reactantie van 4398Ω bezitten.

De formule is $R_c = \frac{160000}{f \times C}$. We mogen ook zeggen:

$$C = \frac{160000}{f \times R_c} = \frac{160000}{f \times 4398} = \frac{160000}{50 \times 4398} = \frac{160000}{219900} = 0.725 \mu F. \text{ (f).}$$

Dit is geen gangbare waarde, maar we kunnen deze samenstellen door enige condensatoren parallel te schakelen (fig. 50). In dit speciale geval worden het er meer nl. één van $0.5 \mu F$, twee van $0.1 \mu F$, twee van $0.01 \mu F (= 10000 \text{ pF})$ en één van $0.005 \mu F (= 5000 \text{ pF})$. Samen geeft dat $0.725 \mu F$.

Aangezien deze schakeling in dit geval op $220 \text{ V} \sim$ komt te staan, moeten we condensatoren van voldoende hoge werkspanning kiezen; aanbevolen wordt 1000 V .

Het is aardig om te weten, dat het lampje met seriecondensator slechts $0.05 \times 6 = 0.30$ volt-ampère uit het net opneemt; door de grote condensator is nl. de stroom 90° in fase vóór op de spanning. En het opgenomen vermogen W is nu eenmaal $E \times I$; telkens wanneer E max. is, is I nul en omgekeerd. In feite komt het er zo ongeveer op neer, dat alléén het verbruik van 't lampje zelf uit 't net wordt opgenomen. Gebruikten we echter een serieweerstand, dan zag de zaak er duurder uit: $W = E \times I$, dus $220 \times 0.05 \text{ A} = 10$ watt. En die weerstand R_s neemt hiervan 't grootste deel voor zijn rekening. Deze schakeling geeft dus meer warmte dan licht. Let wel, dat we bij die ohmse weerstand met eerlijke watts te maken hebben, terwijl we bij die condensator als voorschakelweerstand niet over watts doch volt-ampères mogen spreken!

Voor de goede orde wijzen we er nog even op, dat de Amerikanen de begrippen inductieve reactantie en capacatieve reactantie vaak vertalen met: inductance en capacitance ofwel

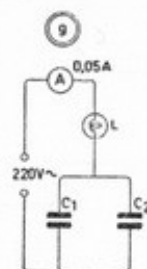


fig. 50

reactance en dat als gevolg daarvan ook in ons land het woord reactantie helaas vaak gekoppeld wordt aan het begrip: capacatieve schijnweerstand.

UITVOERINGSVORMEN VAN CONDENSATOREN DIËLEKTRISCHE CONSTATE

Wanneer we nu een condensator gaan vervaardigen, dan nemen we dus 2 metalen plaatjes die we op enige afstand van elkaar opstellen, terwijl zich daartussen lucht als DIËLEKTRICUM bevindt. Het elektrische opzamelvermogen noemen we de capaciteit. Hoe groter de plaatjes worden, hoe groter de capaciteit wordt, maar hoe verder we ze van elkaar afbrengen, hoe kleiner die capaciteit weer wordt! Laten we deze elektroden even ver van elkaar en brengen we weer een andere stof er tussen, b.v. mica, dan blijkt bij het nameten de capaciteit ruim $6 \times$ zo groot geworden te zijn! Brengen we er kwarts tussen, dan wordt de capaciteit maar ruim $4\frac{1}{2} \times$ zo groot. En bij condensa-C, een keramische stof, blijkt zelfs de capaciteit $80 \times$ zo groot geworden! Men noemt deze getallen (factoren), waarmee de capaciteit vermenigvuldigd wordt vergeleken met lucht, de DIËLEKTRISCHE CONSTATE van een materiaal.

We moeten er om denken, dat 2 draden, die evenwijdig aan elkaar lopen óók een condensator vormen! Dat is dan wel een „toevallige” condensator maar in vele gevallen tevens een „ongewenste”.

VERLIEZEN

We zullen geen diepgaande beschouwing geven van het gedrag van elektronen in een condensator, maar het is lang niet onverschillig, wèle materialen we als diëlektricum benutten, want sommige materialen veroorzaken grote verliezen.

Deze verliezen betekenen niets bij de frequenties, waarop ons voedingsapparaat werkt (50 Hz). Ook in laagfrequent-versterkers, waar met frequenties van 30—15000 Hz gewerkt wordt, zijn dergelijke verliezen nog te compenseren, maar bij de z.g. hoogfrequente trillingen, dus radiofrequenties in het algemeen, spelen zij een zeer belangrijke rol.

Verliezen betekent: er verdwijnt iets. In feite zal de moleculaire structuur van het isolatiemateriaal door het wisselende elektrische veld regelmatig „gekneed” worden; het ene materiaal verzet zich niet daartegen, het andere wèl, en dat „verzet” betekent: weerstand, die men zich kan voorstellen als een afzonderlijke weerstand, die we in serie geschakeld denken met de betrokken condensator. Uiteindelijk wordt dan een deel van de energie in die weerstand in warmte omgezet (fig. 51). Ofwel, men kan zich de verliesweerstand parallel geschakeld aan de condensator voorstellen; in principe blijft dat hetzelfde. En hoe hoger de frequentie, des te groter blijken die verliezen te worden.

Denk hierbij maar weer aan de lepel in de strooppot: bewegen we hem langzaam, dan ondervinden we geen grote weerstand; bewegen we hem snel, dan neemt de weerstand enorme afmetingen aan!

Hoe voorkomen we die verliezen? Door toepassing van verlies-arm materiaal (verlies-vrij bestaat nl. niet). Verlies-arme materialen zijn mica, trolituul, keramische materialen als gebakken speksteen (meer technisch genoemd: frequentiet), polystyrene, calan, condensa, caliet, enz.

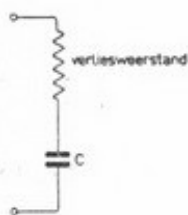


fig. 51

Bepaald ongunstige stoffen voor hoogfrequent gebruik zijn: papier, karton, glas (door het vocht dat er op neerslaat), bakeliet, pertinax. De beste stoffen zijn kwarts en lucht!

Toch doen zich wonderlijke verschijnselen voor: mica is uitstekend als diëlektricum, lucht: idem. Evenwel moeten de elektroden, bij voorkeur zilver, aan weerskanten op een mica-plaatje of keramisch materiaal „ingebrand” zijn. Zit er een luchtlaagje tussen dan nemen de verliezen weer toe.

Overigens moeten we er steeds aandenken, dat deze verliezen slechts bij hoge frequenties een rol spelen; zij hebben dus niets met de isolatie-eigenschappen van een materiaal te maken, wanneer dit uitsluitend bij lage frequenties of op gelijkspanning wordt toegepast.

WERKSPANNING

Aan het bovenstaande kunnen we zien, dat we onze condensatoren in twee gebruiksgroepen moeten verdelen: de condensatoren voor gebruik op legere frequenties, b.v. tot 15000 Hz en die voor gebruik op hogere frequenties, de z.g. radiofrequenties.

Voor laagfrequentgebruik tellen de verliezen nl. niet zo zwaar, maar daar moeten we de afmetingen weer zo gering mogelijk houden, omdat het hier om grotere capaciteiten gaat, b.v. 10000 pF en hoger. We passen hier dus rustig papierisolatie toe (fig. 52).

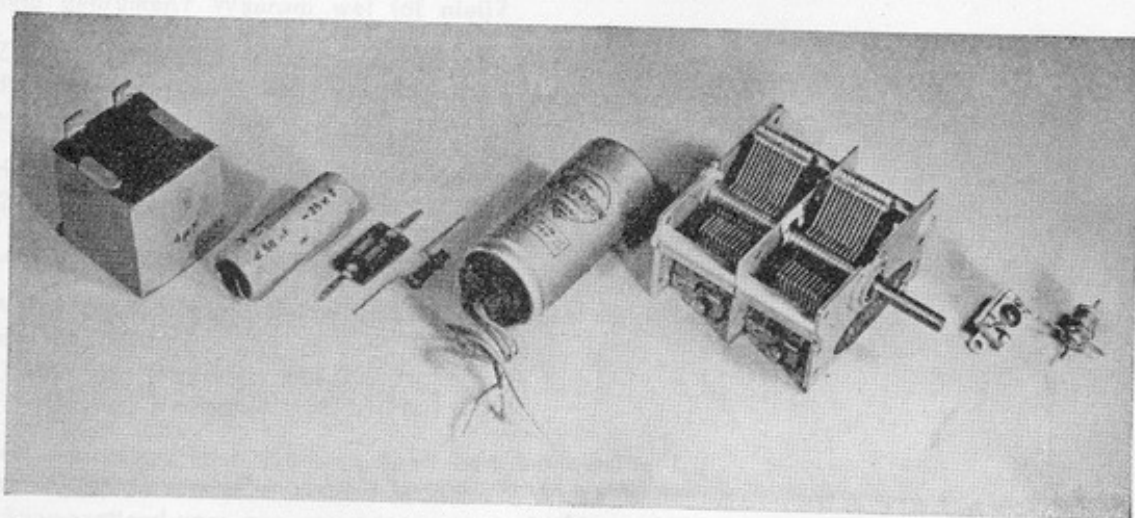


fig. 52

Worden de capaciteiten nog groter dan b.v. 10 μ F, dan zouden de afmetingen te groot worden; men past dan elektrolytische condensatoren toe, waarbij een uiterst dun oxyde-laagje op één der elektroden het diëlektricum vormt; hoe dunner het laagje, des te groter de capaciteit.

Het nare is evenwel, dat hoe dunner het tussenlaagje is, hoe lager de spanning is waarbij wij de condensator gebruiken mogen. Er treedt bij te hoge spanning nl. doorslag op; de elektronen banen zich als het ware een weg door het diëlektricum, waardoor de condensator voor goed bedorven is en de stroombron kortgesloten staat, met alle gevolgen van dien. Op elke condensator staat de werkspanning aangegeven naast de capaciteit; bovendien wordt soms de proef-spanning vermeld. Dat is dan de spanning, waarop hij in de fabriek getest is; ligt circa 30 % hoger dan de

Verschillende condensatoren van links naar rechts
papiercondensator
elektrolytische condensator (laagspanning)
verzilverde mica condensator
keramische condensator
elektrolytische condensator (hoogspanning)
2-voudige variabele luchtcondensator ($2 \times$ ca. 500 pF)
trimmer (10 ... 50 pF) met mica isolatie, zgn. postzegeltrimmer.
trimmer (10 ... 30 pF) met luchtisolatie

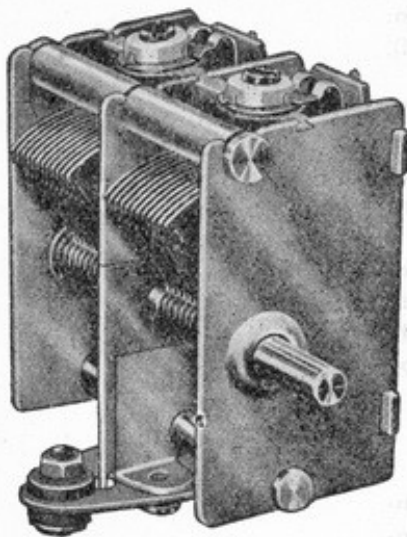


fig. 53
De Novocon 2-voudige afstem-
condensator DC203, wordt door
middel van rubber verend op
het chassis bevestigd

werkspanning. Voor elk doel kunnen we ons dus de juiste condensator kiezen.

VARIABELE CONDENSATOREN

In radiotoestellen is het op sommige plaatsen noodzakelijk de capaciteit te kunnen veranderen, b.v. in AFSTEMKRINGEN, dat zijn de organen, waarmee we de verschillende radio-stations kunnen kiezen. Hier passen we uitsluitend lucht als diëlektricum toe; vaak worden er meerdere op één as geplaatst; in elke stand moeten de afzonderlijke secties onderling gelijk zijn (fig. 53).

Om eventuele ongelijkheid van de capaciteit der toevoerdaden t.o.v. aarde weg te nemen past men TRIMMERS toe, kleine condensatortjes van max. 100 pF, die met een schroefdraaier op de juiste waarde gebracht worden. Alleen bij deze trimmers wordt nog vaak mica-isolatie toegepast, maar de luchttrimmers hebben het grote voordeel van constant te zijn, terwijl de capaciteit van micatrimmers steeds verloopt tengevolge van temperatuurschommelingen, die in elk radio-toestel regelmatig optreden.

VRAAGSTUKKEN OVER DE DERDE LES

1. Wat gebeurt er wanneer we een magneetstaaf bij een zakkompas houden?
2. Waarvan hangt de sterkte van een elektromagneet af?
3. Is het waar, dat een elektromagneet steeds sterker wordt als wij maar een elektrische stroom toevoeren aan een om een ijzerkern gewikkelde spoel?
4. Wat gebeurt er, wanneer we een draadlus in een magnetisch veld bewegen?
5. Wat wil het woord periode zeggen?
6. Welke netfrequentie kennen wij in Europa?
7. Welk belangrijk onderdeel vinden we op een gelijkspanningsdynamo maar missen we op de wisselspanningsdynamo?
8. Wanneer één der beide wikkelingen van een transformator 50 windingen telt en de andere 250, welke spanning zal er dan op die van 250 windingen staan als die 50 windingen met een 65 V wisselspanningsnet verbonden zijn?
9. Kunnen we een transformator ook voor een gelijkspanning gebruiken? Waarom wel (of niet)?
10. Zal er onmiddellijk stroom lopen door een spoel als we die op een gelijkspanning aansluiten? Verklaar het antwoord.
11. Hoe kunnen wij de zelfinductie van een spoel verhogen? (2 mogelijkheden).
12. Laat een condensator gelijkstroom door?
13. Welke reactantie of schijnweerstand heeft een condensator van $10 \mu\text{F}$?
 - a) voor een frequentie van 250 Hz.
 - b) voor een frequentie van 50 Hz.
14. Een smoorspoel met ijzerkern heeft een zelfinductie L van 20 H; de ohmse weerstand is 200Ω . Welke is de schijnweerstand voor een wisselstroom met een frequentie van 100 Hz? ¹⁾
15. Gegeven is een Philips gloeilampje, dat veel voor schaalverlichting gebruikt wordt, waarvan we weten dat de spanning 19 V is en de stroom 0.1 A. We willen dit lampje op een wisselspanningsnet van 220 V aansluiten door middel van een condensator. Hoe groot moet de capaciteit van deze condensator zijn? Frequentie van het net is 50 Hz. ¹⁾

¹⁾ In dit vraagstuk komt een worteltrekking voor. Die hiermee moeite heeft gaat maar zover hij kan; de wortelvorm is dan zijn uitkomst. Tenslotte gaat het in deze les méér om het begrip van de zaak dan om de rekenkunst.

