



R.T.

Materialen en onderdelen. Les 1.

Nadruk verboden 1

Hoofdstuk 1

1.1 De noodzaak van kennis van materialen en onderdelen.

Bekijken we een radio-ontvangtoestel, dan zien we allereerst de kast. Deze is gemaakt van hout of philite. We zien een schaal, waarover een wijzer kan worden bewogen met behulp van een afstemknop. De schaal is afgedekt met een glazen plaat. Aan de achterzijde is de kast afgesloten met een kartonnen achterplaat, voorzien van een groot aantal gaatjes. Het toestel kan met het stopcontact worden verbonden door middel van een snoer met een steker. Het snoer bestaat uit twee met isolatiemateriaal beklede koperen geleiders. Ieder van deze geleiders bestaat uit een groot aantal in elkaar gevlochten dunne koperdraadjes, zoals we gemakkelijk kunnen zien als we een nieuwe steker aan het snoer moeten maken. Schroef zo'n steker eens uit elkaar en bekijk de constructie. Verder zijn een antenne en een aardverbinding aanwezig, waarvoor gewoonlijk massief koperdraad wordt gebruikt. Beide verbindingen zijn met enkelpolige stekers met het toestel verbonden.

Zonder het toestel van binnen te bekijken hebben we zo reeds met verschillende materialen kennis gemaakt. Een technicus stelt zich echter niet tevreden met eenvoudig te constateren, dat voor verschillende onderdelen verschillende materialen worden gebruikt, maar vraagt ook, waarom nu eens het ene, dan weer het andere materiaal wordt gebruikt. Zo zal hij vragen waarom is bij het ene toestel de kast van hout, bij het andere van philite? Waarom is een houten kast uit een aantal stukken samengesteld, doch is een philite kast een geheel? Waarom is de achterplaat van karton en bv. niet van hout? Waarvoor dient deze plaat? Waarom is deze plaat van gaten voorzien? Waarom bestaan de draden van een netsnoer uit vele ineengevlochten draden, doch wordt voor de aardleiding een massieve draad gebruikt?

Bij een beschouwing van het inwendige van een ontvangtoestel zien we een groot aantal verschillende onderdelen, vervaardigd van een grote verscheidenheid van materialen. Daarbij stelt een technicus zich nog veel meer vragen betreffende het hoe en waarom.

Om hierop het antwoord te kunnen geven moeten we weten. Waartoe de verschillende onderdelen dienen en aan welke eisen deze moeten voldoen met het oog op de goede werking en duurzaamheid. Ook de prijs speelt een belangrijke rol. Verder moeten we de eigenschappen der verschillende materialen kennen en de wijze, waarop deze materialen kunnen worden bewerkt.

Is in een ontvanger iets defect geraakt en willen we het gebrek verhelpen, dan is het niet voldoende, de werking en de constructie van het apparaat te kennen, doch ook de eigenschappen der materialen en de wijze waarop deze kunnen worden gebruikt. Moet een defect onderdeel worden vervangen, dan moeten we weten, welke eigenschappen het nieuwe onderdeel moet bezitten, zowel in elektrisch als in mechanisch opzicht.

Een grondige kennis van materialen en onderdelen is dus noodzakelijk. Wanneer het niet gaat over een reparatie, doch als we zelf een of ander apparaat in elkaar moeten zetten, is dit in nog sterkere mate het geval. Uit de vele materialen en onderdelen die ons te beschikking staan, moeten we met overleg het meest geschikte weten te kiezen.

R.T.

2 MO 2

Nadruk verboden

Hoofdstuk 2

2.1. Geleidende materialen. Specifieke weerstand

Alle metalen, zoals koper, aluminium, ijzer, goud, messing, geleiden de elektriciteit goed. Ook enkele andere stoffen behoren tot de goede geleiders, bv. kool (koolborstels van elektromotoren). De stoffen, die de elektriciteit vrijwel niet geleiden, zoals glas, porselein, rubber, weefsels van katoen of zijde, noemen we isolatoren. We beschouwen eerst de geleiders.

Niet alle geleiders geleiden de elektriciteit even goed.

De mate, waarin de elektriciteit door een geleider kan stromen, wordt aangegeven door de weerstand. De meeste geleiders die we gebruiken, hebben de vorm van een draad. In les Th.E. 3 is vermeld, dat de weerstand van een draadvormige geleider evenredig is met de lengte en omgekeerd evenredig met de doorsnede van de draad. Van draden met dezelfde vorm, dus met dezelfde lengte en doorsnede, doch vervaardigd van verschillende materialen, zijn de weerstanden ongelijk. Om voor de verschillende materialen aan te geven, in welke mate ze de elektriciteit kunnen geleiden, wordt de weerstand aangegeven van een kubus van het betreffende materiaal met ribben van 1 m; kort gezegd: 1 m^3 van het materiaal. Dit wordt de specifieke weerstand van het materiaal genoemd. Om deze specifieke weerstand van bv. koper te weten te komen neemt men niet een koperen kubus van 1 m^3 , doch een koperdraad, die overal even nauwkeurig even dik is. van deze draad worden de weerstand, de doorsnede en de lengte gemeten. Is bv. de diameter 1 mm, dus de doorsnede $\frac{\pi}{4}\text{ mm}^2$ en de lengte 100 m, dan vinden we voor de weerstand $2,195\ \Omega$.

Bij een doorsnede van $1\text{ m}^2 = 10^6\text{ mm}^2$, en een lengte van 100 m is de weerstand $\frac{\pi}{4} \times 10^{-6} \times 2,195\ \Omega$ en bij een doorsnede van 1 m^2 en een lengte van 1 m: $\frac{\pi}{4} \times 10^{-6} \times 10^{-2} \times 2,195 = 1,724 \times 10^{-8}\ \Omega$.

Om de specifieke weerstand te vinden hebben we de weerstand van de draad, uitgedrukt in ohm, vermenigvuldigd met de doorsnede (een aantal vierkante meters), zodat we uiteindelijk een aantal ohms hebben vermenigvuldigd met een aantal meters.

We zeggen nu, dat de specifieke weerstand van koper $1,724 \times 10^{-8}\ \Omega\text{ m}$ (ohm meter) bedraagt.

Ook zeggen we, dat de dimensie van de specifieke weerstand $\Omega\text{ m}$. (ohm meter) is.

De specifieke weerstand van een materiaal stellen we voor door de Griekse letter ρ (spreek uit: rho). In het bovenstaande hebben we de specifieke weerstand gedefinieerd. In plaats van te spreken over de weerstand van een stof, kunnen we ook spreken over de geleiding van een stof. De geleiding van een stof zal evenredig zijn met de doorsnede en omgekeerd evenredig met de lengte.

Om de geleiding van een lichaam te bepalen is nodig dat we de zogenaamde specifieke geleiding kennen.

Onder de specifieke geleiding verstaan we dan de geleiding welke 1 m^3 van die stof bezit; d.w.z. een stuk materiaal van 1 m lengte en 1 m^2 doorsnede, dus een kubus.

De specifieke geleiding geven we aan met γ (gamma). De waarde van de specifieke geleiding is gelijk aan het omgekeerde van de specifieke weerstand

$$\gamma = \frac{1}{\rho}.$$

We drukken de specifieke geleiding uit in siemens/m, afgekort s/m.

Te maken opgaven M.O. No. 1 t/m 5 (oplossingen inleveren)



2.2. Temperatuurscoëfficiënt van de weerstand

De weerstand van een geleider is afhankelijk van zijn temperatuur. In het algemeen is de weerstand groter bij hogere temperatuur. Schakelen wij een gloeilamp in, dan verkrijgt de gloeidraad pas geleidelijk de vereiste temperatuur; hiervoor zijn enkele seconden nodig.

De weerstand neemt hierbij geleidelijk een weinig toe. De stroom is daardoor het eerste ogenblik groter dan bij normaal branden. Bij de ouderwetse kooldraadlamp was het omgekeerd; de weerstand van een kooldraad neemt af bij hogere temperatuur, doch kool is in dit opzicht een uitzondering op de algemene regel.

Voor een niet te grote temperatuursverandering Δt kunnen we de specifieke weerstand voorstellen door:

$$\rho = \rho_0 (1 + \alpha \Delta t)$$

Waarin ρ_0 de specifieke weerstand is bij 20°C en Δt het aantal graden Celsius, dat de temperatuur meer is dan 20°C (voor een temperatuur lager dan 20°C is Δt negatief; voor 15°C is bv. $\Delta t = -5^\circ\text{C}$). We noemen de Griekse letter α (spreek uit alpha) de temperatuurscoëfficiënt van het materiaal.

Onderstaande tabel geeft de specifieke weerstand bij 20°C en de temperatuurscoëfficiënt voor enkele metalen. Voor grote temperatuursveranderingen geldt de juist genoemde formule niet meer; dan hangt de weerstand op een ingewikkelder wijze van de temperatuur af.

<u>Materiaal</u>	<u>Specifieke weerstand</u> <u>Bij 20°C (in $\Omega\text{ m}$)</u>	<u>Temperatuurscoëfficiënt</u> <u>Bij 20°C</u>
koper	$1,7 \times 10^{-8}$	$3,9 \times 10^{-3}$
messing (66% koper, 34% zink)	$6,8 \times 10^{-8}$	$2,0 \times 10^{-3}$
aluminium	$2,8 \times 10^{-8}$	$4,9 \times 10^{-3}$
tin	$11,5 \times 10^{-8}$	$4,2 \times 10^{-3}$
zilver	$1,6 \times 10^{-8}$	$3,8 \times 10^{-3}$
nikkel	10×10^{-8}	$5,0 \times 10^{-3}$
zink	$6,0 \times 10^{-8}$	$4,0 \times 10^{-3}$

(Tracht niet deze tabel van buiten te leren; dat is doelloos.)

Van legeringen is de specifieke weerstand in het algemeen groter dan van de zuivere metalen; de temperatuurscoëfficiënt is echter in vele gevallen kleiner (een legering is een mengsel van twee of meerdere verschillende metalen). In bovenstaande tabel is messing een voorbeeld.

Voor vele praktische toepassingen wenst men een materiaal met een zo klein mogelijke temperatuurscoëfficiënt, terwijl de specifieke weerstand liefst groot is. men heeft verschillende legeringen weten te vervaardigen, die de gewenste eigenschappen bezitten.

De volgende tabel geeft enige voorbeelden.

<u>Materiaal</u>	<u>Samenstelling</u>	<u>Specifieke weerstand bij 20°C</u>	<u>Temperatuurscoëfficiënt bij 20°C</u>
Constantaan	55% koper 45% nikkel	$49 \times 10^{-8} \Omega m$	$0,02 \times 10^{-3}$
Nickelin	67% koper 30 – 31% nikkel 2 – 3% mangaan	$40 \times 10^{-8} \Omega m$	$0,03 \times 10^{-3}$
Manganin	84% koper 12% mangaan 4% nikkel	$45 \times 10^{-8} \Omega m$	$0,02 \times 10^{-3}$

2.3. De voornaamste geleidende materialen

a. Koper

Koper wordt om zijn geringe specifieke weerstand het meest gebruikt voor elektrische leidingen, gewoonlijk in de vorm van draad met een ronde doorsnede. Het wordt met behulp van trekstenen (harde stenen plaatjes met een gaatje met de gewenste diameter) tot dunne draden getrokken. Het montagedraad, dat o.a. in onze radiotoestellen wordt gebruikt, is vertind om oxidatie van de oppervlakte te voorkomen. In vele gevallen is het van een isolatielaag voorzien, bv. omspinnen met katoen of zijde, of bedekt met een isolatielak (zgn. emaliedraad) of met rubber of podur.

Ook papier kan als isolatiemateriaal dienst doen; papier is een goede isolator, mits het droog is. Om het papier vochtvrij te houden wordt het van een vochtwerende laag voorzien.

Spoelen, waar stromen door-vloeien met een hoge frequentie, zoals de spoelen in de radiozenders en –ontvangers, worden in vele gevallen vervaardigd van litzedraad. Deze bestaat eveneens uit een aantal en elkaar geslagen dunne draadjes, doch ieder draadje afzonderlijk is voorzien van een isolerende emaillelaag.

Het geheel is gewoonlijk bovendien nog van een isolerende omspinning met katoen of zijde voorzien.

Voor spoelen van transformatoren wordt meestal emaliedraad gebruikt, tenminste als de spanning tussen de tegen elkaar liggende windingen niet te hoog is. bij hoge spanning slaat de emaillelaag eerder door dan een omspinning met katoen, zijde of papier.

b. Messing

Als we over koper spreken, bedoelen we het zuivere metaal koper, in het dagelijks leven rood koper genoemd. Het zgn. geel koper is geen zuiver koper, maar messing, een legering, bestaande uit 55 tot 70% koper en 45 tot 30% zink.

De specifieke weerstand is ongeveer viermaal zo groot als die van koper. Daarom wordt het als geleidend materiaal minder gebruikt. Het is aanzienlijk harder en sterker dan koper.

Wanneer hoge eisen worden gesteld aan mechanische stevigheid, zoals bij de platen van een draaicondensator, komt messing in aanmerking.

Een legering van 85% koper en 15% zink heet tombak. Het is veerkrachtig en wordt gebruikt, als verende geleidende verbinding nodig is.

Te maken opgaven M.O. No 6 t/m 10 (oplossingen inleveren)

R.T.

Materialen en onderdelen. Les 3

Nadruk verboden 5



HILVERSUM

c. Brons

Brons is een legering, in hoofdzaak bestaande uit koper en tin (gewoonlijk iets minder dan 25% tin). Soms zijn kleine hoeveelheden van andere stoffen er aan toegevoegd, bv. zink, silicium en fosfor. Brons is harder en sterker dan messing. Bronsdraad wordt gebruikt voor leidingen, die een grote trekkracht moeten kunnen verdragen, bv. soms voor leidingen met grote spanwijdte en voor antennes.

d. Aluminium

Aluminium is zeer licht en gemakkelijk te bewerken. Het is goedkoper dan koper. In de radiotechniek wordt het veel gebruikt. Bussen voor spoelen en elektrolytische condensatoren en onderdelen van variabele condensatoren worden veel van aluminium vervaardigd. Als folie (d.i. zeer dun uitgewalste plaat) wordt het gebruikt in papier- en elektrolytische condensatoren.

e. Tin

Tin wordt als folie gebruikt in gewikkelde papier- en elektrolytische condensatoren. Verder is het een bestanddeel van het gebruikelijke soldeer. Het zgn. tinsoldeer is geen zuiver tin; het is een legering, die tin bevat en waarvan het smeltpunt veel lager ligt dan dat van zuiver tin.

f. Zilver

Zilver is duur, doch bezit in elektrisch opzicht zeer gunstige eigenschappen. De specifieke weerstand is nog geringer dan die van koper. Het oxideert niet. De verwerkingsmethoden zijn er steeds op gericht, het materiaal zo zuinig mogelijk te gebruiken.

Het kan worden opgedampt op mica-plaatjes, die daarna worden opgestapeld tot micacondensatoren; het kan in vloeibare toestand worden aangebracht op een keramisch buisje bij de fabricage van keramische condensatoren; het kan elektrolytisch worden aangebracht op koperdraad, waardoor de draad beter geschikt wordt bij stromen met zeer hoge frequenties; de contacten van schakelaars kunnen ermee worden bedekt ter vermindering van de overgangsweerstand.

g. Nikkel

Nikkel wordt gebruikt voor onderdelen van radiobuizen. Verder bevatten verschillende legeringen, die worden gebruikt voor weerstanddraad, een hoeveelheid nikkel.

h. Weerstandmateriaal

voor verschillende doeleinden hebben we geleiders nodig, waarvan de weerstand vrij groot is en die in een klein volume kunnen worden ondergebracht. Men gebruikt dan in vele gevallen draad, gemaakt van een legering. De legeringen bezitten in het algemeen de eigenschap, dat hun specifieke weerstand aanzienlijk groter is dan die van de zuivere metalen, waaruit de legering bestaat. Enkele der meest gebruikte legeringen zijn in de voorgaande tabel genoemd. De draad wordt gewoonlijk op een koker van isolerend materiaal (glas of keramiek) gewikkeld.

2.4 De voornaamste isolatiematerialen

De isolatiematerialen kunnen we verdelen in twee groepen, nl. natuurlijke en kunstmatige materialen. Tot de natuurlijke isolatiematerialen behoren mica, marmer, kwarts, zijde, hars, was, olie enz. tot de kunstmatige isolatiematerialen behoren glas, keramiek, paraffine, celluloid, polystyreen, enz.

Van al deze materialen is de specifieke weerstand zeer veel groter dan van metalen; voor de genoemde isolatiematerialen ligt deze tussen 10^4 en $10^{17} \Omega \cdot m$.

Ideale isolatoren, die in het geheel geen stroom geleiden, zijn er niet bij, doch de stroom, die er door vloeit, is zo gering, dat deze in de praktijk gewoonlijk geheel kan worden verwaarloosd.

Bij wisselspanning treedt in de isolatoren een verschijnsel op, waarop we in de elektriciteitsleer uitvoerig terugkomen. Hoewel de geleidingsstroom zo klein is, dat de invloed daarvan kan worden verwaarloosd, wordt vooral bij hoge spanning en bij hoge frequenties, zoals in de radiotechniek voorkomen, het materiaal toch warm. Er treden diëlectrische verliezen op. Hoe kleiner deze verliezen, des te beter is het materiaal geschikt voor isolatie bij hoge frequenties. Mica, kwarts en polystyreen zijn daarom bruikbare isolatiematerialen bij hoge frequenties; papier, sommige keramische materialen en rubber zijn voorbeelden van materialen, die bij hoge frequenties ongeschikt zijn, doch bij lage frequenties en bij gelijkspanning kunnen worden gebruikt.

Poreuze materialen, die op zichzelf goede eigenschappen bezitten als isolator, kunnen slecht worden als er vocht in dringt. Daarom worden porseleinen isolatoren geglazuurd en wordt papier geïmpregneerd (doortrokken) met olie of paraffine of door een vochtdichte omhulling van de buitenlucht afgesloten. Met dit doel wordt bv. een telefoonkabel, waarbij de aders onderling geïsoleerd zijn door papier, met een loodmantel omgeven.

2.5. Weerstanden

De weerstanden, die in de radiotechniek worden gebruikt, kunnen naar het gebruik dat men ervan maakt, worden verdeeld in:

- a. Vaste weerstanden, waarvan de waarde na de fabricage niet kan worden veranderd; zij kunnen wel van een of meerdere vaste aftakkingen zijn voorzien.
- b. Weerstanden met instelbare aftakkingen, met een of meer aftakkingen die eenmaal naar verkiezing kunnen worden ingesteld
- c. Variabele weerstanden en potentiometers, die steeds naar behoefte kunnen worden ingesteld.

Naar de constructie kunnen de weerstanden worden verdeeld in:

- a. Massaweerstanden, waarbij het gehele weerstandlichaam deel uitmaakt van een stroomkring.
- b. Oppervlakteweerstanden, waarbij een betrekkelijk dunne laag van weerstandmateriaal op een drager van een ander, isolerend materiaal is aangebracht.
- c. Draadweerstanden, waarbij een draad van een materiaal met een grote specifieke weerstand op een geschikte drager is gewikkeld.

Te maken opgaven No 11 t/m 14. (Oplossingen inleveren).



2.6. Massaweerstanden

Massaweerstanden worden vervaardigd van een geleidend poeder, vermengd met kleipoeder. Het mengsel wordt in de vorm van een cilinder geperst, nadat aan de uiteinden aansluitdraden zijn aangebracht. Het geheel wordt daarna gebakken, zodat een stevig geheel ontstaat.

De weerstand hangt niet alleen af van de lengte en de doorsnede, maar ook van de samenstelling der persmassa en de wijze van bakken. Het is moeilijk, een zodanig gelijkmatig product te verkrijgen, dat de weerstanden nauwkeurig aan elkaar gelijk zijn. Men maakt daarom een groot aantal weerstanden met verschillende waarden en sorteert deze in groepen, zodat een opvolgende reeks wordt verkregen. Wenst men bv. weerstanden met een toelaatbare afwijking van de nominale waarde van 10% (men noemt dit een tolerantie van 10%), dan worden de weerstanden gesorteerd naar nominale waarden, die met 20% opklimmen. Iedere weerstand wijkt dan hoogstens 10% van een der nominale waarden af. Het is een bezwaar van een massaweerstand, dat weerstandwaarde niet nauwkeurig kan worden afgeregeld.

De stroom, die door een weerstand vloeit, is de oorzaak, dat de weerstand warm wordt. Het vermogen, dat in warmte wordt omgezet, is I^2R . Deze warmte wordt door het oppervlak van de weerstand uitgestraald en aan de omringende lucht meegedeeld. Als er een stationaire toestand is bereikt, wordt een even groot vermogen in de vorm van warmte afgegeven als er elektrisch aan wordt toegevoerd, nl. I^2R . Het vermogen, dat in warmte wordt afgegeven, is groter naarmate het temperatuurverschil met de omgeving groter is. Hoe groter de stroom, des te hoger is dus de eindtemperatuur. Maar ook: hoe beter de warmte kan worden afgevoerd, des te lager blijft de temperatuur bij eenzelfde stroom of des te groter is de toelaatbare stroom bij eenzelfde temperatuur van de weerstand. Bij een massaweerstand vloeit de stroom niet alleen aan de oppervlakte, maar gelijkmatig door de gehele doorsnede van de cilinder. De warmte, die in het inwendige van de massa ontstaat, moet eerst door geleiding het oppervlak bereiken alvorens aan de omgeving te kunnen worden afgegeven. Wegens de slechte warmte-afvoer is de toelaatbare stroom dus betrekkelijk klein. Ook dit is een nadeel van deze soort weerstanden.

Een voordeel van deze weerstanden is, dat ze betrekkelijk goedkoop zijn. De meeste geleiders hebben een positieve temperatuurscoëfficiënt, d.w.z. de weerstand neemt toe als de temperatuur toeneemt. Het is echter mogelijk, massaweerstanden te vervaardigen met een grote negatieve temperatuurscoëfficiënt, d.w.z. dat de weerstand afneemt bij toenemende temperatuur. Het persstukje kan bestaan uit ijzeroxide (Fe_2O_3), dat tijdens het bakproces overgaat in Fe_3O_4 . Dit laatste materiaal heeft een grote negatieve temperatuurscoëfficiënt, nl. enkele percenten per °C temperatuursverhoging.

De eindvlakken van het persstukje worden door middel van een chemisch mengsel versterkt. Hierop worden doppen aangebracht, waarin de aansluitdraden zijn bevestigd (fig. 2,1).



Fig. 2,1. Opbouw van een N.T.C.-weerstand.

Deze weerstanden worden wel aangeduid als N.T.C.-weerstand (N.T.C. als afkorting van: negatieve temperatuurscoëfficiënt.)

Deze weerstanden zijn bv. zeer geschikt voor de compensatie van de positieve temperatuurs-coëfficiënt van de gloeidraden van radiobuizen. In ontvangers, waar de gloeidraden der buizen in serie zijn geschakeld, plaatst men een N.T.C.-weerstand in

serie, waardoor kan worden bereikt, dat de gloeistroom direct na het inschakelen en tijdens het opwarmen der buizen niet boven de normale waarde stijgt. Van een voor dit doel geschikte N.T.C.-weerstand is bv. in koude toestand ($20\text{ }^{\circ}\text{C}$) de weerstand 2000 a $3000\ \Omega$, doch nadat er gedurende 2 minuten een stroom van 100 mA door heeft gevloeid, hebben zowel de gloeidraden der buizen als de N.T.C.-weerstand de eindtemperatuur bereikt en is de weerstand van deze laatste (bij $130\text{ }^{\circ}\text{C}$) tot $220\ \Omega$ gedaald.

Voor sommige toepassingen is het gewenst, dat de weerstand bij toenemende temperatuur slechts langzaam afneemt. Dit kan worden bereikt met een combinatie van een massaweerstand als de beschreven N.T.C.-weerstand en een oppervlakteweerstand (fig. 2,2). Het cilindervormige persstukje wordt gedompeld in een koolmengsel, dat hierop hecht.

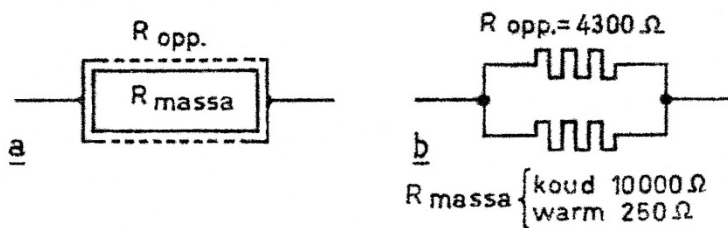


Fig. 2,2. a: Traag werkende compenserende weerstand, b: vervangschema.

Het geheel is een parallelschakeling van twee weerstanden zoals fig. 2,2 aangeeft.

In koude toestand is de totale weerstand ongeveer $3000\ \Omega$ en vloeit de stroom grotendeels door de oppervlakteweerstand. Daardoor wordt de massaweerstand met een grote negatieve temperatuurscoëfficiënt verwarmd, doch dit vraagt meer tijd

dan wanneer de gehele stroom door de massaweerstand vloeide. In opgewarmde toestand is de totale weerstand ongeveer die van de laatste.

2.7. Oppervlakteweerstanden

De massaweerstanden bezitten twee nadelen: de afvoer van de ontwikkelde warmte is slecht en de waarde van de weerstand kan niet worden gevarieerd en op een gewenste grootte worden gebracht. De oppervlakteweerstanden zijn in deze beide opzichten gunstiger.

Deze weerstanden worden onderscheiden in mengselkoolweerstanden, ook wel geschreven koolweerstanden genoemd, opgedamppte koolweerstanden, glaskoolweerstanden, metaalweerstanden en koolpotentiometers.

a. Mengselweerstanden

Een mengselkoolweerstand bestaat uit een keramisch buisje als drager bedekt met een koollaag, bestaande uit een mengsel van klei, grafiet en een kleverig bindmiddel.

Het buisje geeft een goede isolatie, is mechanisch voldoende sterk, goed bestand tegen temperatuurveranderingen en bestand tegen slijpen; de koollaag hecht er goed op. Het keramisch mengsel voor deze buisjes wordt door een cilindervormige opening geperst en van rillen voorzien om het buisje later gemakkelijk in stukken te kunnen verdelen. De buisjes worden vervolgens gebakken en schoongebrand om vet en stof te verwijderen. De koollaag wordt op de lange buizen "geschreven". Vervolgens wordt de buis in een zuurstofvrije ruimte gebakken, waarbij vluchtige stoffen ontwijken en de klei vast wordt. De koollaag wordt mechanisch beschermd door het geheel in lak te dompelen en daarna te drogen. De lange buis wordt bij de rillen in stukjes gebroken; ieder stukje wordt aan beide einden voorzien van doppen, die door de laklaag heen contact maken met de koollaag.

Om de gewenste waarde van de weerstanden te verkrijgen wordt de koollaag schroefvormig weggeslepen, waardoor een langere koolweg en dus een grotere weerstand ontstaat tussen beide uiteinden. Tijdens dit wegslijpen wordt de weerstand doorlopend gecontroleerd met een ohmmeter.

Te maken opgaven M.O. No. 15 t/m 19. (Oplossingen inleveren).



Tegenwoordig worden in hoofdzaak drie typen van deze weerstanden gemaakt, nl. voor 1 , $\frac{1}{2}$ en $\frac{1}{4}$ W toelaatbare continue belasting. Hoe langer het buisje, des te groter is de toelaatbare belasting (de diameter der verschillende soorten is dezelfde). Voor speciale toepassingen worden ook weerstanden voor $0,1$ W gemaakt. Hierbij zijn de buisjes dunner. Deze weerstanden worden gebruikt, als de beschikbare plaatsruimte gering is.

De nominale waarden der weerstanden zijn tegenwoordig 10 , 12 , 15 , 18 , 22 , 27 , 33 , 39 , 47 , 56 , 68 , 82 , 100Ω en deze waarden vermenigvuldigd met opvolgende machten van 10 . Met een tolerantie van 10% kunnen alle weerstanden bij een dezer waarden worden ingedeeld en kan de fabricage geschieden zonder uitval. De maximaal toelaatbare spanning U wordt enerzijds bepaald door het toelaatbare vermogen U^2/R , anderzijds door de toelaatbare spanning over de slijp-groef (300 tot 600 V). Het is raadzaam, koolweerstanden niet boven 75% van de nominaal toelaatbare belasting te gebruiken, ten einde enige reserve te hebben in verband met netspanningsschommelingen, toleranties in de waarde van de weerstand en in de overige onderdelen van de schakeling enz. De temperatuurscoëfficiënt van de weerstand is ongeveer $-0,1\%$ (negatief, d.w.z. de weerstand neemt af bij toenemende temperatuur). De maximale temperatuur, die onder de ongunstigste omstandigheden op de warmste plaats van het weerstandslichaam mag optreden, is 120°C . Bij hogere temperatuur wordt door de negatieve temperatuurscoëfficiënt de weerstand steeds lager, waardoor, bij constante spanning, de stroom toeneemt en dus ook het vermogen. De temperatuur kan zo hoog worden, dat de koollaag tenslotte verbrandt.

b. Opgedamppte koolweerstanden

Deze weerstanden worden vervaardigd door eenzelfde keramische drager als bij de onder a genoemde weerstanden wordt gebruikt, in een koolwaterstofgas te brengen bij een temperatuur van ongeveer 1000°C . Bij deze temperatuur wordt het gas ontleed en slaat de kool fijn verdeeld als grafiet op de drager neer. De zo gevormde koollaag bezit gunstiger eigenschappen dan het koolmengsel dan de geschreven weerstand, waar de bijmengsels een ongunstige invloed hebben. De in de handel verkrijgbare weerstanden hebben een tolerantie van 10 , 5 , 2 of 1% . De maximaal toelaatbare bedrijfsspanning is wat hoger dan bij de geschreven weerstanden, nl. 500 tot 1000 V. De toelaatbare bedrijfstemperatuur is bij de weerstanden met 1% tolerantie 100°C , bij de overige weerstanden 125°C . De temperatuurscoëfficiënt is kleiner dan bij de geschreven weerstanden, nl. ongeveer $-0,3 \times 10^{-3}$.

c. Glas-koolweerstanden

Deze weerstanden bestaan uit een drager, waarop een mengsel van kool en een bij lage temperatuur smeltend email wordt ingebrand. De toelaatbare belasting is, bij dezelfde afmetingen, ongeveer vijfmaal zo groot als bij de onder a en b beschreven weerstanden. Men maakt deze weerstanden in verschillende uitvoeringsvormen. In de zendertechniek worden ze gebruikt als kunstantennes (dat zijn weerstanden, die de plaats innemen van de antenne; het vermogen, dat anders door de antenne wordt uitgestraald, wordt in de weerstand in warmte omgezet). Bij deze toepassing worden ze met lucht of water gekoeld. Voor dit doel maakt men ze voor grote vermogens, tot 15 kW toe.

d. Metaalweerstanden

Metaalweerstanden worden vervaardigd door een metaal in vacuüm te laten verstuiven of verdampen en te laten neerslaan op een drager. Volgens deze methoden kunnen zeer grote weerstanden worden verkregen. Deze weerstanden zijn zeer gevoelig voor atmosferische invloeden. Daarom worden ze in glazen buisjes ingesmolten. Ze worden vrijwel uitsluitend voor laboratoriumdoeleinden gebruikt.

e. Koolpotentiometers

Voor regelbare weerstanden en regelbare potentiometers worden in vele gevallen koolpotentiometers gebruikt. Deze bestaan uit een plaat van isolatiemateriaal, waarop een cirkelvormige laag is aangebracht van hetzelfde mengsel, waarmee de geschreven koolweerstanden worden gemaakt. De gewenste waarde van de weerstand wordt verkregen door de koollaag te polijsten. Daardoor wordt bovendien het oppervlak mooi glad en hard. Over deze koollaag kan het afneemcontact draaien. Dit bestaat eveneens uit kool. De weerstandslaag is geïsoleerd van het metalen huis, waarin het verende afneemcontact is bevestigd, dat op de koollaag rust. Dit contact is eveneens geïsoleerd van de as.

Deze as is in vele gevallen hol, waardoor het mogelijk is, de potentiometer samen te bouwen met andere constructie- en schakelelementen. Bij sommige koolpotentiometers is op een punt van de omtrek van de koollaag een extra contact aangebracht om een vaste aftakking te kunnen maken.

De koolpotentiometers worden gebruikt als sterkteregelaar en toonregelaar in ontvangers en versterkers. De sterkteregelaar in radio-ontvangers is in vele gevallen gecombineerd met de netschakeelaar. Bij de gebruikelijke potentiometers is het toelaatbare vermogen ongeveer 0,1 tot 0,2 W. De bedrijfstemperatuur mag hoogstens 70 °C zijn.

Het verloop van de weerstand als functie van de draaiingshoek kan bij de fabricage naar wens worden gemaakt door bij het aanbrengen van de koollaag mallen te gebruiken, die achtereenvolgens verschillende delen van het oppervlak van de drager vrijlaten. Op deze vrijgelaten delen worden koolmengsels van verschillende samenstelling gespoten.

In de "nulstand" blijft er nog een kleine weerstand over, die afhangt van de contactdruk. Bij een goede potentiometer van 10 000 Ω is deze restweerstand van de orde van 5 Ω; bij een potentiometer van 2 MΩ is deze van de orde van 500 Ω. Bij een sterkteregelaar van een radio-ontvanger is deze restweerstand oorzaak, dat het geluid niet geheel weg gedraaid kan worden.

Tracht eens een oude koolpotentiometer te bemachtigen. Sloop deze en beschouw de constructie.

2.8. Draadweerstanden

Draadweerstanden kunnen met groter nauwkeurigheid worden gefabriceerd dan de tot nu toe besproken weerstanden. Ook is, bij gelijke afmetingen, het toelaatbare vermogen groter. Zij zijn evenwel duurder, dus alleen dan economisch verantwoord, als grote nauwkeurigheid of grote belasting zijn vereist.

Men wikkelt deze weerstanden gewoonlijk van een der drie volgende draadsoorten:

- a. nichroomdraad (soortelijke weerstand $10^{-6} \Omega\text{m}$, temperatuurscoëfficiënt $0,1 \times 10^{-3}$ tot $0,4 \times 10^{-3}$)
- b. constantandraad (soortelijke weerstand $0,5 \times 10^{-6} \Omega\text{m}$, temperatuurscoëfficiënt ongeveer $0,01 \times 10^{-3}$). De draadsoorten met de geringste temperatuurscoëfficiënt zijn helaas ook de duurste; daarom worden deze alleen gebruikt wanneer grote nauwkeurigheid wordt vereist, dus voor precisieweerstanden voor meetapparaten, enz.

De draad wordt door diamantstenen op de juiste diameter getrokken. De eigenschappen van de weerstand (soortelijke weerstand en temperatuurscoëfficiënt) hangen in sterke mate af van de hierbij optredende rek. Daarom is het noodzakelijk, de draad na het trekken zacht uit te gloeien.

Als drager wordt gewoonlijk een glazen buis gebruikt. De uiteinden van de draad worden stevig verbonden met de aansluitdoppen, die zo zijn gevormd, dat de lucht vrij door het inwendige van de buis kan stromen.

Te maken opgaven M.O. 20 t/m 24. (Oplossingen inleveren).



HILVERSUM

Door deze luchtstroming wordt de weerstand gekoeld. De weerstand wordt bedekt met een laklaag, die bij hoge temperatuur wordt gebakken. Daardoor wordt de draad beschermd tegen atmosferische invloeden en blijven de draden ook bij hoge temperatuur, die een gevolg is van een grote stroom, op hun plaats. Vooral bij dun draad, die voor grote waarden van de weerstand nodig is, is dit van belang.

Door de fabrikant wordt voor iedere weerstand het maximaal toelaatbare vermogen opgegeven. Hiermee wordt bedoeld het vermogen, dat blijvend toelaatbaar is bij normale omgevings-temperatuur. Gedurende korte tijd, bv. bij het inschakelen van een apparaat, mag de belasting hoger zijn. Is de omgevingstemperatuur hoger dan normaal, dan mag de belasting niet hoger zijn dan die, waarbij de temperatuur van de weerstand ongeveer 130 °C wordt.

Het grootste vermogen, waarvoor deze weerstanden worden gemaakt, is 5 W. Weerstanden voor groter vermogen, tot 400 W, worden gewoonlijk gewikkeld op een keramische drager, omdat de uitzetting van glas minder gelijkmatig is. Bovendien is een keramische drager bij grote afmetingen minder breekbaar. In plaats van de beschermende laklaag wordt de weerstand met een emaillelaag bedekt. De toelaatbare belasting is bij een geëmailleerde draadweerstand bij gelijke afmetingen groter dan bij een gelakte draadweerstand. De temperatuur kan bij belasting tot ongeveer 350 °C stijgen zonder dat de weerstand schade lijdt.

De geëmailleerde draadweerstanden worden ook gemaakt met een instelbare aftakking (fig. 2,3). Hiertoe is in de emaillelaag een uitsparing gelaten, die het mogelijk maakt, een losse, verschuifbare beugel aan te brengen. Een kortstondige overbelasting is toelaatbaar; zo zal het tien-

voudige vermogen gedurende enkele seconden geen schade veroorzaken.

De maximaal toelaatbare spanning voor een weerstand wordt gegeven door $U_{max} = \sqrt{RW_{max}}$, waarin R de waarde van de weerstand en W_{max} het toelaatbare vermogen is.

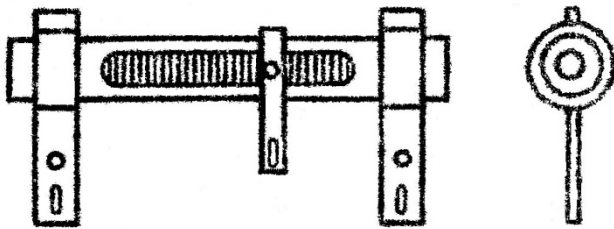


Fig. 2,3 Geëmailleerde draadweerstand met instelbare aftakking.

Opmerking Hoofdstuk 3 behoeft nog niet bestudeerd te worden; dit moet bestudeerd worden nadat, de condensatoren in de lessen Theoretische Elektriciteitsleer behandeld zijn.

Hoofdstuk 3

Condensatoren.

3.1. Diëlectrische verliezen.

Sluiten we een ideale condensator aan op een gelijkspanning, dan vloeit er gedurende zeer korte tijd een laadstroom. Onze werkelijke condensatoren zijn echter niet ideaal. De platen van de condensator (ook wel elektroden genoemd) zijn bevestigd aan isolatiemateriaal. Over dit materiaal staat de condensatorspanning. Daar dit isolatiemateriaal niet ideaal is, vloeit er een kleine gelijkstroom door, die lekstroom genoemd wordt. Bij condensatoren met lucht of vacuüm als diëlectricum vloeit de lekstroom alleen door het isolatiemateriaal, dat dient ter bevestiging van de elektroden en is deze stroom zeer klein. Bij andere diëlektrica, zoals mica, kwarts, polystyreen, keramische stoffen en papier, is de lekstroom iets groter. Doch men streeft er in het algemeen naar deze lekstroom zo klein mogelijk te houden.

Bij elektrolytische condensatoren echter is de lekstroom soms vrij groot. Het optreden van een dergelijke lekstroom is voornamelijk te danken aan het feit dat de samenstelling van het diëlectricum niet overal hetzelfde is en dat verschillende delen zich in elektrisch opzicht verschillend gedragen. We zeggen dan dat het diëlectricum inhomogeen is. Daar de lekstroom, gaande door het diëlectrisch materiaal, daar altijd nog een zekere weerstand ondervindt, zal de lekstroom dus warmte-ontwikkeling in het diëlectricum ten gevolge hebben. Er wordt dus elektrisch vermogen omgezet in warmte en spreekt men van diëlectrische verliezen. Bij verhogen van de temperatuur nemen de diëlectrische verliezen toe. Ten gevolge hiervan wordt er meer warmte ontwikkeld en stijgt de temperatuur nog meer, waardoor de diëlectrische verliezen nog meer toenemen enz. Wordt de temperatuur te hoog, dan slaat de condensator door en wordt het diëlectricum beschadigd of verbrand.

We kunnen nu de condensator in een vervangingscircuit weergeven door een weerstand, waarin dus de bovengenoemde warmte-ontwikkeling plaatsvindt en een ideale condensator. Deze vervangingsweerstand en condensator kunnen we dan parallel geschakeld denken. Deze parallel geschakelde weerstand noemt men ook wel de isolatieweerstand. Deze isolatieweerstand is bepaald door de lekstroom welke optreedt, te delen op de spanning welke tussen de elektroden van de condensator werkzaam is.

Naarmate de kwaliteit van de condensator groter is, zal de isolatieweerstand groter zijn. In de elektrotechniek hebben we herhaaldelijk te maken met een combinatie van een weerstand R en een condensator C . Bij berekeningen, die daar betrekking op hebben, komt dan gewoonlijk het product $R.C.$ te pas. Dit is aanleiding geweest om de condensatoren te beoordelen op dit product, hetgeen ons dan, bij een bepaalde waarde van de capaciteit van de condensator, een indruk geeft van de isolatieweerstand van de condensator. Deze **tijdconstante** is overigens slechts een materiaal-constante; zij wordt alleen bepaald door de kwaliteit van het gebruikte materiaal. De voorkomende condensatoren kunnen we onderverdelen in variabele condensatoren, waarvan de capaciteit tijdens het gebruik kan worden veranderd en vaste condensatoren, waarvan de capaciteit na de fabricage niet meer kan worden veranderd.

Variabele condensatoren worden onderscheiden in afstemcondensatoren en trimmers. Vaste condensatoren worden in zeer veel verschillende soorten vervaardigd.

Zoals in het bovenstaande reeds werd vermeld, wordt het product $R.C.$ de tijdconstante van de condensator genoemd. De naam "tijd-constante" is een gevolg van het feit dat de dimensie van dit product seconden is. Het product RC geeft een tijd aan. Later zullen we dit nader toelichten.

Naarmate bij gelijkblijvende capaciteit van een condensator de energieverliezen in de condensator groter worden, wordt de isolatieweerstand welke parallel aan de condensator gedacht wordt, kleiner en dus eveneens wordt de tijdconstante kleiner.

Het is verder bij condensatoren van belang dat de diëlectrische eigenschappen zo min mogelijk afhankelijk zijn van de veranderingen welke zich in de omgeving van de condensator voltrekken, zoals temperatuurvariaties en veranderingen in de vochtigheidsgraad van de omgeving.

Te maken opgaven M.O. No. 25 t/m 27. (oplossingen inleveren).



3.2. Vaste condensatoren

a. Condensatoren met lucht of vacuüm als diëlectricum

Condensatoren met lucht of vacuüm als diëlectricum geven vrijwel geen lekstroom. Als isolatiemateriaal wordt gewoonlijk glas of kwarts gebruikt. De mechanische constructie der elektroden moet robuust zijn, daar er geen diëlectricum aanwezig is, dat stevigheid kan verlenen. De diëlectrische constante van het diëlectricum is slechts 1, zodat de afmetingen groot zijn, terwijl de capaciteit betrekkelijk klein is. Vaste condensatoren met lucht of vacuüm als diëlectricum gebruikt men alleen in zeer bijzondere gevallen.

b. Condensatoren met kwarts of mica als diëlectricum

Condensatoren met kwarts, mica of polystyreen als diëlectricum veroorzaken slechts geringe diëlectrische verliezen. Bij gegeven afmetingen kan men met deze diëlectrica een redelijke capaciteit verkrijgen. De isolatieweerstand is zeer groot, de lekstroom dus zeer klein, de toelaatbare spanning is voor de meeste gevallen meer dan voldoende.

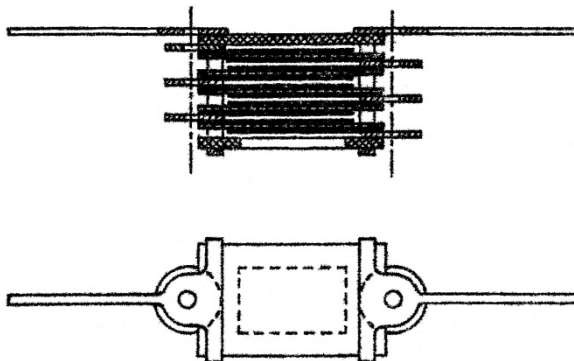


Fig. 3,1. Opbouw van een kleine mica-Condensator. De dikte der plaatjes is Sterk vergroot weergegeven

tot de gewenste afmetingen gestampt, waarbij uit de aard der zaak materiaal verloren gaat. Het opbouwen van de condensatoren moet geschieden door veel betrekkelijk kleine plaatjes op elkaar te stapelen. Door al deze noodzakelijke bewerkingen en de grote uitval van materiaal wordt de condensator duur. De micaplaatjes worden ontvet en daarna verzilverd, zodat de elektroden één geheel uitmaken met het diëlectricum. Daardoor worden insluitsels van lucht en vocht voorkomen, waardoor de stabiliteit van de capaciteit zeer groot wordt. Dit wil zeggen dat de eigenschappen van de condensator minder zullen veranderen ten gevolge van temperatuursveranderingen of andere invloeden.

De opbouw van de condensator blijkt uit fig. 3,1. Tussen de verzilverde micaplaatjes worden, beurtelings aan iedere zijde, koperfolies ingestoken, die zorgen voor het contact van de elektroden met de ter weerszijden aangebrachte klembeugeltjes, waaraan de aansluitdraden zijn bevestigd. De waarde van de capaciteit kan worden gecorrigeerd door de opgebrachte zilverlaag gedeeltelijk weg te nemen. Vervolgens wordt de condensator geïmpregneerd met was, waardoor insluitsels van lucht en vocht worden verwijderd.

Kwarts is schaars, duur en moeilijk tot dunne plaatjes te verwerken.

Daarom gebruikt men kwartscondensatoren alleen in bijzondere gevallen voor laboratoriumdoeleinden.

Mica vindt men als mineraal hoofdzakelijk in India. Het hoofdbestanddeel is SiO_2 . Men splijt het mica tot dunne plaatjes, 20 tot 60 μ dik (1 micron afgekort 1μ (de Griekse letter mu, overeenkomende met onze letter m), is 0,001 mm).

Deze plaatjes worden gesorteerd naar kwaliteit en dikte. De heldere plaatjes zijn de beste daar deze de geringst diëlectrische verliezen geven. Alleen de goede kwaliteit is voor condensatoren geschikt. Dit sorteren moet met de hand geschieden. De plaatjes worden

Daarna wordt de condensator gewoonlijk gedompeld in een vochtwerende massa met een hoog smeltpunt. Ten slotte worden de waarde van de capaciteit en eventueel verdere kentekenen er op gestempeld.

De voornaamste eigenschappen van dergelijke condensatoren zijn:

Capaciteit van 10 pF tot 0,1 μ F; grotere capaciteiten worden verkregen door enige condensatoren parallel te schakelen;

tolerantie van de capaciteit (d.w.z. grootste afwijking van de aangegeven waarde): 0,5%, 1% of 2% (met een minimum van \pm 1pF);

bedrijfsspanning: 250 V of 500 V;

isolatieweerstand: groter dan 7500 M Ω ;

toelaatbare bedrijfstemperatuur: met compoundomhulsel 70 °C; met geperst omhulsel van kunsthars: 85°C.

c. Condensatoren met polystyreen als diëlectricum

Polystyreen wordt als diëlectricum voor condensatoren gebruikt in de vorm van folie, dat verkrijgbaar is in verschillende breedten, tot ca. 50 cm vanaf 10 μ dik. Afhankelijk van de spanning, waarvoor de condensator is bestemd, wordt het gewikkeld in een of meer lagen op speciaal daarvoor geconstrueerde wikkelmachines. Als elektroden worden twee dunne aluminiumfolies, ca. 6 μ dik, tussengevoegd. Deze zijn smaller dan het diëlectricum. De gewikkelde folies (diëlectricum met elektroden) noemt men de "wikkel". Op de halve wikkellengte worden aan elke zijde smalle dunne koperstrippen ingestoken, die aan het eind van de wikkellengte worden teruggevouwen. Op deze wijze worden de verbindingen met de elektroden verkregen, waaraan de aansluitdraden kunnen worden gesoldeerd. Een zeer solide constructie verkrijgt men, indien men de condensator wikkel op een kern van glas, keramiek of kunsthars, waarin de aansluitdraden zijn bevestigd (fig. 3,2).

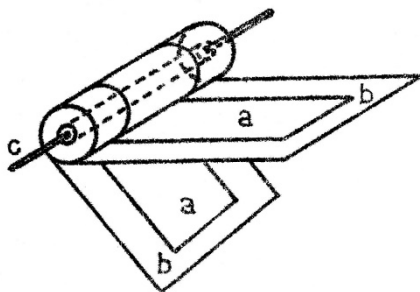


Fig. 3,2. Opbouw van een gewikkelde condensator.

a,a: elektroden.

b,b: diëlectricum.

c: kern.

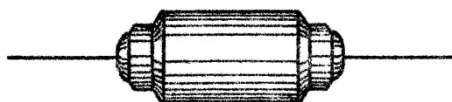


fig. 3,3. Gewikkelde polystyreen condensator

de condensator); bedrijfsspanning: 50, 250 of 700 V; isolatieweerstand: $RC > 10\,000\text{ M}\Omega \cdot \mu\text{F}$; toelaatbare bedrijfstemperatuur: 60 °C.

Voor alle op een dergelijke wijze samengestelde condensatoren is het noodzakelijk, vocht en lucht in de steeds aanwezige holten te weren om te voorkomen, dat ionisatie in deze holten doorslag zou inleiden. Daartoe wordt de wikkel gedroogd en verhit tot een temperatuur, die even boven het verwekingspunt van het polystyreen ligt. Daardoor krimpen de beide kappen van de wikkel, die geen aluminiumfolie bevatten, samen en smelten aaneen. Het binnendringen van vocht is dan onmogelijk en een duur dichtgesoldeerd omhulsel van metaal (fig.3,3) keramiek of glas is niet nodig. Het polystyreen zelf is vochtafstotend. De voornaamste eigenschappen van deze condensatoren zijn:

capaciteit van 1000 pF tot 1 μ F;

grotere capaciteiten worden verkregen door enige condensatoren parallel te schakelen en deze te plaatsen in een blikken doos met glazen doorvoeringen, die worden dichtgesoldeerd.

tolerantie van de capaciteit:

0,5%, 1%, 2%, of 5% (hoe kleiner de door de fabrikant gegarandeerde tolerantie, des te duurder is



3.2. Vaste condensatoren

d. Keramische condensatoren

Wanneer aan de kwaliteit en de temperatuurscoëfficiënt van de condensator (dit is de capaciteitsverandering per graad Celsius temperatuurverandering) geen zeer hoge eisen worden gesteld, doch meer wordt gelet op kleine afmetingen en lage prijs, gebruikt men voor capaciteiten beneden ca. 1000 pF keramiek als diëlectricum. De lage prijs is in hoofdzaak een gevolg van de grote relatieve diëlectrische constante, die, afhankelijk van de samenstelling van het materiaal, ligt tussen 6 en 1500.

Men kan ook glas als diëlectricum gebruiken. Het is nog goedkoper en de vormvastheid bij hoge temperatuur is groter. Doch het heeft als bezwaren, dat de afmetingen bij de fabricage minder nauwkeurig kunnen worden aangehouden en dat vocht gemakkelijk op de oppervlakte neerslaat. Glascondensatoren worden slechts zelden gebruikt en dan nog alleen voor lage spanningen; mede wegens de betrekkelijke kleine relatieve diëlectrische constante (hoogstens 7) en de breekbaarheid.

De keramische materialen worden verkregen door klei, vermengd met andere stoffen, te bakken. De klei maakt de massa kneedbaar en dus goed verwerkbaar. Men voegt aan de klei veldspaat toe, dan verkrijgt men na het bakken porselein; voegt men magnesiumsilicaat toe, dan verkrijgt men steatiet, dat in elektrisch opzicht beter is dan porselein; het is echter duurder. Voegt men titaanoxide toe, dan verkrijgt men rutiel, dat een buitengewoon grote relatieve diëlectrische constante heeft, nl. ca. 100. Verder is de grote negatieve temperatuurscoëfficiënt van rutiel merkwaardig, nl. ca. $-800 \cdot 10^{-6}$. Door mengen met andere keramische stoffen, die een positieve temperatuurscoëfficiënt hebben, kan men verschillende materialen verkrijgen met verschillende waarden van de diëlectrische constante, de temperatuurscoëfficiënt en de diëlectrische verliezen. Gewoonlijk gaat daarbij een grote diëlectrische constante samen met grote diëlectrische verliezen. De temperatuurscoëfficiënt kan positief, negatief of vrijwel nul zijn.

De geringe sterkte van keramisch materiaal maakt het ongeschikt om in de vorm van dunne plaatjes te worden vervaardigd. De plastische grondstof wordt tot buisjes met een wanddikte van bv. 0,3 mm gespoten. Deze worden vervolgens gedroogd en gebakken. Bij het bakken treedt krimp op waardoor de nauwkeurigheid der afmetingen niet groter is dan $\pm 2\%$.

De elektroden brengt men aan door het buisje aan de binnen- en de buitenzijde in te smeren met een papje van metaaloxiden en deze vervolgens bij hoge temperatuur te reduceren. Op deze wijze verkrijgt men een hechte aaneengesloten metaallaag (gewoonlijk zilver), die een geheel vormt met het keramische buisje en waarop de aansluitdraden worden gesoldeerd (fig. 3,4).



Fig. 3,4. Opbouw van een keramische condensator

Daar vocht de isolatieweerstand en de diëlectrische verliezen ongunstig beïnvloedt, wordt de condensator met een vochtwerende laklaag bedekt.

In bijzondere gevallen, zoals bij gebruik in vliegtuigen, waar behalve grote verschillen in vochtigheid ook grote verschillen in druk optreden, die de inwerking van vocht bevorderen, wordt de condensator in een hermetisch gesloten omhulsel geplaatst.

De voornaamste eigenschappen van deze condensatoren zijn:

capaciteit: 3 tot 1200 pF

tolerantie van de capaciteit: 1, 2, 5, 10 of 20% met een minimum van ± 1 pF.

toelaatbare spanning: 600 V

isolatieweerstand: 5000 M Ω

toelaatbare temperatuur: 85 °C.

e. Papiercondensatoren

In zeer vele gevallen wenst men condensatoren te gebruiken, waarvan de capaciteit vrij groot is, de toelaatbare spanning enkele honderden volts, doch waarbij de diëlectrische verliezen niet klein hoeven te zijn. Daar men van deze condensatoren grote aantallen nodig heeft, is een zo laag mogelijke prijs van overwegend belang. Voor dit doel zijn condensatoren met papier als diëlectricum zeer geschikt. Er is geen ander diëlectricum, dat bij eenzelfde volume een zo grote capaciteit kan geven en bovendien zo goedkoop is als papier, terwijl de toelaatbare bedrijfsspanning toch vrij hoog kan zijn.

Papier is poreus; bovendien bevat papier gewoonlijk enkele kleine geleidende deeltjes.

Daarom worden altijd minstens twee lagen papier op elkaar gebruikt; de kans, dat twee kleine gaatjes of geleidende deeltjes op elkaar komen te liggen, is zeer gering. Bij condensatoren voor hoge spanning en bij condensatoren, die aan hoge eisen moeten voldoen wat de betrouwbaarheid betreft tegen doorslag, worden meer dan twee lagen papier gebruikt.

Tezamen met tin- of aluminiumfolie, 6 tot 10 μ dik, worden de papierstroken op een kern gewikkeld, op dezelfde wijze als in fig. 3,2 voor de polystyreencondensatoren is aangegeven. Bij het opladen en ontladen van, moet de stroom, om het laatste gedeelte van de wikkel te bereiken, de gehele lengte van de dunne metaalfolie doorlopen. De stroom ondervindt dan een niet te verwaarlozen weerstand. Men kan dit voorkomen, door de folies buiten het papier te laten uitsteken, het ene aan de ene zijde, het andere aan de andere zijde, zoals fig. 3,5 aangeeft. Na het wikkelen worden de uitstekende metaalfolies samengeperst en door een druk- of soldeercontact met de aansluitdraad verbonden.

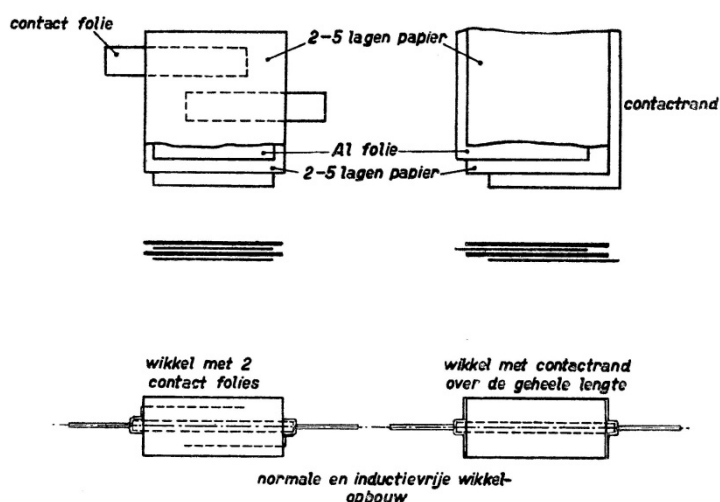


Fig. 3,5. Opbouw van gewikkelde papiercondensatoren
Links normale wikkeling; rechts inductievrije wikkeling.

Daar papier zeer hygroscopisch is (d.i. gemakkelijk vocht opneemt), is het verkregen product nog niet geschikt om als condensator dienst te doen.

Daarom wordt het gedurende Vrij lange tijd in vacuüm gedroogd en daarna geïmpregneerd met natuurlijke of synthetische was, die de holten tussen de papiervezels vult en in de capillaire vezels dringt.

Vervolgens wordt de wikkel aangesloten aan een proefspanning, die ongeveer 3 maal de bedrijfsspanning bedraagt.

Indien deze beproeving wordt

doorstaan, dan is er een redelijke garantie voor een lange levensduur.

Opgaven maken M.O. No. 32 t/m 35. (Oplossingen inleveren).



Om de condensator te beschermen tegen inwerking van vocht, wordt deze bedekt met compound (fig. 3,6 a) of wordt een omhulsel aangebracht van metaal, glas of keramiek, voorzien van afdichtingen van glas, rubber of metaal (fig. 3,6 b). Een moderne wijze van afdichten bestaat in het

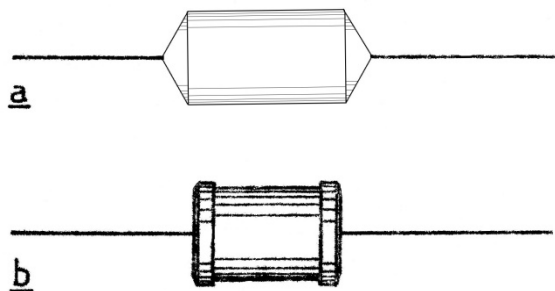


fig. 3,6. Papiercondensatoren;
a: afgesloten met compound;
b: met keramisch omhulsel en metalen doppen

aanbrengen van een omhulsel van een kunststof, door persen, gieten of spuiten.

Daar men tegenwoordig streeft naar zo klein mogelijke afmetingen der verschillende apparaten, is de temperatuur in het apparaat soms vrij hoog.

De kunststof, die de condensator moet beschermen, moet deze temperatuur kunnen verdragen en niet worden beschadigd bij aanraking met een soldeerbout. Bij het gebruik van condensatoren met compound-omhulsel moet men zorgen bij de montage de compound niet met de soldeerbout aan te raken, daar de compound reeds week wordt bij een lagere temperatuur dan die van de bout.

De voornaamste eigenschappen van papiercondensatoren zijn:

Capaciteit: 1000 pF tot 1 μ F

Tolerantie van de capaciteit: 10% tot 20%

Toelaatbare bedrijfsspanning: 125, 250, 500, 1000 of 2000 V

Isolatieweerstand: $R \approx 5000 \text{ M}\Omega$ als $C < 0,1 \mu\text{F}$

$RC \approx 5000 \text{ M}\Omega$ (als $C < 0,1 \mu\text{F}$)

Toelaatbare bedrijfstemperatuur: $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ tot $+80 \text{ }^\circ\text{C}$.

Hierbij moet het volgende worden opgemerkt.

De isolatieweerstand hangt sterk af van de temperatuur; deze weerstand daalt bij iedere $10 \text{ }^\circ\text{C}$ temperatuursverhoging met een factor 2.

Condensatoren met gemetalliseerd papier

Een nieuwe methode voor het vervaardigen van condensatoren met papier als diëlectricum bestaat hierin, dat men een zeer dunne laag metaal dunner dan $0,5 \mu$, op het papier neerslaat en vervolgens dit gemetalliseerd papier opwikkelt.

Men neemt een metaal, dat bij lage temperatuur smelt, bv. zink. Dit is veel goedkoper dan aluminium, terwijl bij het gebruik van aluminium het opbrengen van de metaallaag op het papier veel moeilijker zou zijn. Het is gebleken, dat het gemetalliseerd papier geschikt is om zelfs in één laag tot condensatoren te worden gewikkeld. De kleine gaatjes en de kleine geleidende insluitsels in het papier geven weliswaar ook hier aanleiding tot doorslag, doch de dunne metaallaag verdampt daarbij ter plaatse en in de omgeving van de zwakke plekken, waardoor de isolatie wordt hersteld met een onmerkbaar kleine daling van de capaciteit. Door het papier vóór het metalliseren aan een zijde met lak te bedekken vermindert het aantal gaatjes en zwakke plekken in het papier.

Daar de metaallaag zeer dun is, is de weerstand groot, veel groter dan bij de papiercondensatoren met aluminiumfolie. Om de nadelige invloed hiervan te ontgaan wordt een speciale wikkelmethode toegepast (fig. 3,7), die enige overeenkomst vertoont met de constructie, die men voor ditzelfde doel bezigt bij de andere papiercondensatoren. De papierstroken worden met de gemetalliseerde zijde naar buiten zijdelings omgevouwen.

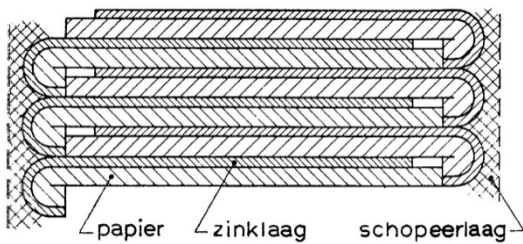


Fig. 3,7. Opbouw van een condensator van gemetalliseerd papier.

De wikkelkoppen worden tenslotte geschopeerd, d.w.z. met behulp van perslucht met een dikke metaallaag bedekt, waarop de aansluitdraden worden gesoldeerd.

Voor kleine capaciteiten behouden de wikkels hun cilindrische vorm; voor grote capaciteiten worden ze plat gedrukt, waardoor ze minder ruimte innemen. Ze worden evenals de andere papiercondensatoren geïmpregneerd, geplaatst in blikken dozen met in het deksel gesmolten glazen doorvoeren met contactlip, waarna de doos hermetisch wordt gesloten. Voor eenzelfde capaciteit en bedrijfsspanning zijn de afmetingen veel kleiner dan die van de papiercondensatoren met aluminiumfolie.

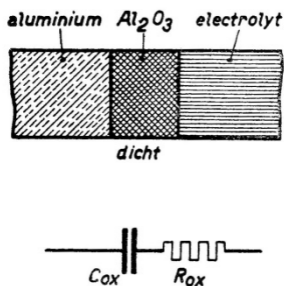
De voornaamste eigenschappen van deze condensatoren zijn:

- Capaciteit: 1 tot 100 μF
- Tolerantie van de capaciteit: $\pm 20\%$
- Isolati weerstand: $RC = 100$ (R in $M\Omega$, C in μF)
- Toelaatbare bedrijfstemperatuur: -20 tot $+70$ $^{\circ}\text{C}$
- Proefspanning: 1,6 maal de bedrijfsspanning

f. Elektrolytische condensatoren

Elektrolytische condensatoren bezitten een grote capaciteit in een klein volume. Er moet echter steeds een zodanige spanning tussen de elektroden aanwezig zijn, dat de ene elektrode steeds positief blijft ten opzichte van de andere.

In een metalen cilinder, gevuld met een waterige oplossing van een zuur, gewoonlijk boorzuur, bevindt zich een strook aluminium. Als het aluminium zich in lucht bevindt, is het bedekt met een laag aluminiumoxide (Al_2O_3), ongeveer $0,03 \mu$ dik. Wordt nu tussen het aluminium en het vat een gelijkspanning aangelegd, het aluminium als anode (+), het vat als kathode (-), groeit de oxide laag aan tot het een dikte heeft bereikt, die afhangt van de grootte van de aangelegde gelijkspanning, nl. totdat de veldsterkte in de oxidelaag ca. $700 \text{ V}/\mu$ bedraagt. Het aluminium en het zuur vormen de beide bekleedsels van de zo verkregen condensator; het aluminiumoxide is het diëlectricum, waarvan de relatieve diëlectrische constante ongeveer 8 is. Daar het diëlectricum bijzonder dun is (bij 700 V gelijkspanning slechts 1μ), is de capaciteit bijzonder groot.



Stijgt de spanning boven ca. 700 V , enigszins afhankelijk van de soortelijke weerstand van het gebruikte zuur (de elektrolyt), dan treedt doorslag op. Voor deze hoge spanningen zou men een elektrolyt met een zeer grote soortelijke weerstand moeten nemen.

Doch dan zou de weerstand, die met de capaciteit in serie staat, te groot zijn om nog een praktisch bruikbare condensator te verkrijgen (fig.3,8).

Fig.3,8. Opbouw en vervangschema van een elektrolytische condensator.



De capaciteit van de condensator hangt af van de grootte van het oppervlak van het aluminium. Men kan dit oppervlak aanzienlijk vergroten door het aluminium te beitsen (fig. 3,9).

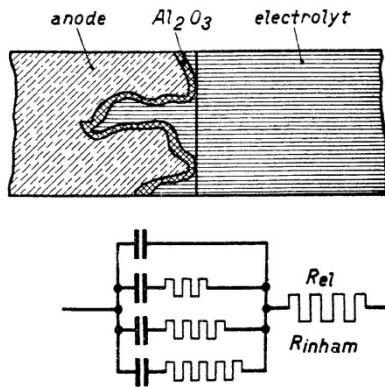


Fig. 3,9. Gebeitst oppervlak van het aluminium, waardoor het oppervlak en de capaciteit groter worden.

Hierdoor wordt evenwel de weerstand, die met de capaciteit in serie staat, vergroot en daalt de capaciteit bij lage temperatuur meer dan anders het geval is.

Er gaan gemakkelijker elektronen uit het aluminium door de sperlaag aluminiumoxide naar de elektrolyt dan in omgekeerde richting. Wordt dus de spanning van het aluminium negatief en die van de elektrolyt positief, dan vloeit er een grote stroom en werkt het geheel niet meer als een condensator. Hieruit volgt, dat men een elektrolytische condensator niet kan gebruiken bij een spanning die van richting verandert. Er moet een gelijkspanning aanwezig zijn. (Het aluminium positief, de elektrolyt, of wat op hetzelfde neerkomt, het vat negatief); voor een veranderlijke spanning, waarvan de maximale waarde kleiner is dan de aangelegde gelijkspanning, werkt het

geheel als een condensator (fig. 3,10). Is de spanningsverandering groter dan de gelijkspanning, dan vloeit er een vrij grote stroom, waardoor de condensator warm wordt en op den duur uitdroogt en doorslaat.

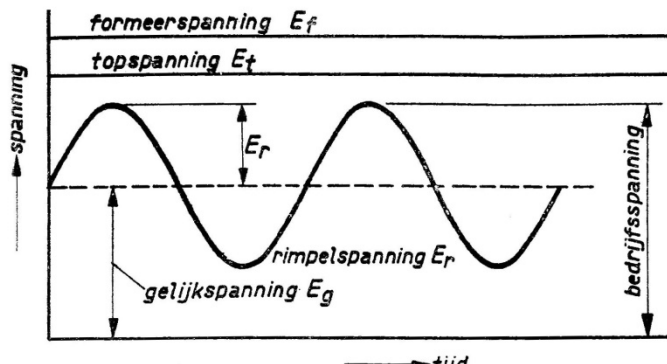


Fig. 3,10. Gelijkspanning, rimpelspanning, bedrijfsspanning, Toelaatbare topspanning en formerspanning voor een Elektrolytische condensator.

Moderne elektrolytische condensatoren zijn op overeenkomstige wijze als papiercondensatoren gewikkeld, waarbij anode en kathode zijn gescheiden door een of meer lagen absorberend papier, die zijn gedrenkt in de elektrolyt. De wikkel wordt geplaatst in een aluminium bus, die wordt gesloten met een dop isolatiemateriaal, bekleed met rubber om een goede vloeistofafdichting te verkrijgen (fig. 3,11 en 3,12). De dop kan

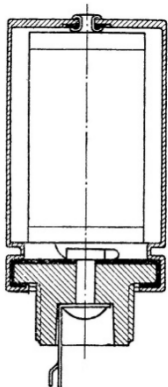


Fig. 3,11.

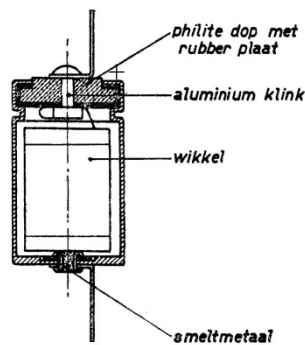
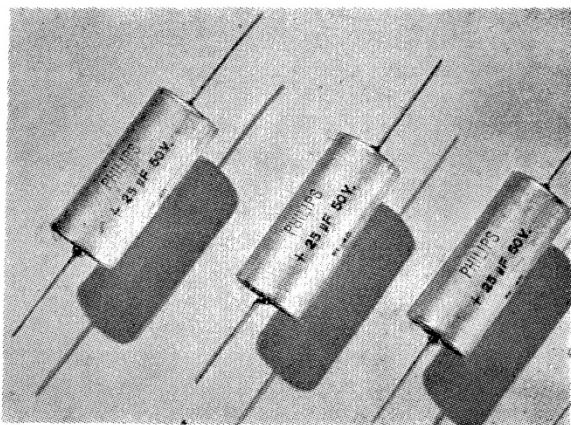


Fig. 3,12.

voorzien zijn van een schroefdraad om de condensator gemakkelijk op een chassis te kunnen monteren. Bij condensatoren voor een bedrijfsspanning boven 100 V is het noodzakelijk, een inrichting aan te brengen, die voorkomt, dat bij sluiting in de condensator, door aansluiting op een te hoge wisselspanning, de condensator explodeert. Daartoe wordt aan de boven- of onderzijde een smeltventiel aangebracht, dat bij een temperatuur boven 70 °C opent. Voor afvlakcondensatoren voor voedingsapparaten plaatst men wel twee condensatoren in een bus, die als gemeenschappelijke

negatieve pool dienst doet (zgn. tweelingen). Voor ontkoppelcondensatoren parallel aan de kathode-



weerstand van laagfrequent versterkerbuizen gebruikt men condensatoren voor een maximale bedrijfsspanning van 50 V (fig. 3,13). Van de gebruikelijke elektrolytische condensatoren is de capaciteit 10 tot 250 µF; de lekstroom ligt tussen 0,1 en 2 mA; de serieweerstand ligt tussen 2 en 10 MΩ; de toelaat-bare bedrijfsspanning (gelijkspanning) ligt tussen 10 en 500 V.

Fig. 3,13. Elektrolytische condensatoren voor Een maximale bedrijfsspanning van 50 volt.

Variabele condensatoren

a. Afstemcondensatoren

De meest gebruikte afstemcondensatoren zijn draaicondensatoren. Iedere elektrode wordt gevormd door een aantal geleidend met elkaar verbonden platen. Het ene stel platen is onbeweeglijk bevestigd, het andere stel platen kan draaien tussen de vaststaande platen. Op deze wijze kan de capaciteit over een groot gebied worden gevarieerd. Bij de in ontvangers gebruikte condensatoren is de maximale waarde van de capaciteit gewoonlijk ongeveer 400 pF. Worden de platen geheel uitgedraaid dan blijft er toch nog een zekere capaciteit over, die de nulcapaciteit wordt genoemd. Deze kan 10 pF zijn. Indien, zoals gewoonlijk het geval is, de vaste platen een weinig groter zijn dan de draaibare, is de vergroting van de capaciteit ongeveer evenredig met de vergroting van de draaiingshoek φ ($\varphi = 0$ komt overeen met de geheel uitgedraaide condensator), indien de draaibare platen de vorm hebben van een halve cirkel (zie fig. 3,14).

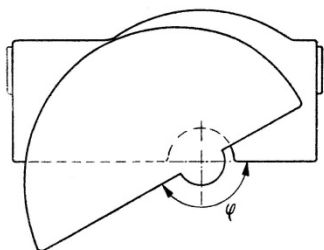


Fig. 3,14. Variabele condensator.

In omroepontvangers is echter een andere vorm der draaibare Platen gewenst. Deze zullen later besproken worden. De vaststaande zijn met isolatiemateriaal aan het metalen huis bevestigd. De draaibare platen zijn gewoonlijk geleidend met het huis verbonden. In de meeste ontvangers zijn twee of drie variabele condensatoren nodig, die met een knop worden ingesteld. Deze condensatoren worden dan op een as gemonteerd. Zo verkrijgt men tweevoudige of drievoudige condensatoren. Hierbij is het nodig, dat de capaciteit van de afzonderlijke condensatoren bij eenzelfde hoekverdraaiing evenveel varieert. Bij goede condensatoren is de onderlinge afwijking minder dan 1%.

Bij meervoudige condensatoren zijn de buitenste platen van ieder draaibaar pakket van insnijdingen voorzien, waardoor aan de buitenrand van deze platen een aantal vanen ontstaat. Door deze vanen in- of uit te buigen kan het capaciteitsverloop als functie van de draaiingshoek voor de verschillende condensatoren vrijwel gelijk gemaakt worden. De gemeenschappelijk as bij meervoudige condensatoren kan veelal geleidend aan het huis worden verbonden. Soms is het echter gewenst de condensatoren van elkaar te isoleren. Dit vindt dan plaats door een keramische as te gebruiken en ieder stilstaand pakket van een afzonderlijke aardverbinding te voorzien. Het diëlectricum is voor het grootste gedeelte lucht; slechts het materiaal voor isolerende bevestiging der vaste platen geeft enige diëlectrische verliezen. De invloed van vocht is belangrijk. Is het materiaal bv. hardpapier, dan worden de diëlectrische verliezen en de diëlectrische constante aanzienlijk groter; de capaciteit daardoor dus toe. Bij goede condensatoren gebruikt men daarom keramisch materiaal. De verbinding tussen het draaibare stel platen en het aansluitpunt wordt gevormd door een of meer contactveren, die op de as rusten. Bij meervoudige condensatoren bezit iedere condensator een afzonderlijke contactveer. Deze contactveren moeten een betrouwbaar elektrisch contact verzekeren.

Indien tijdens het draaien het contact een ogenblik zou worden verbroken, wordt de stroom in de keten waarvan de condensator deel uitmaakt, verbroken, hetgeen zeer hinderlijke effecten kan hebben.

Om de moeilijkheden, die de contactveren kunnen geven te ontgaan, worden wel condensatoren met dubbele stator gebruikt. Dit zijn eigenlijk twee in serie geschakelde condensatoren, die onderling zijn opgesteld tussen de beide statoren.

b. Trimmers

Voor het nauwkeurig instellen van een capaciteit, bv. die van een afgestemde kring, zijn variabele condensatoren in gebruik met een kleine capaciteitsvariatie. Men noemt deze trimmers. Omdat zij slechts eenmaal, hoogstens enkele malen worden ingesteld, zijn zij niet voorzien van een draaibare as, waarop men een knop kan worden bevestigd voor bediening van buitenaf, doch kunnen zij worden versteld met een schroevendraaier of een speciale trimmsleutel.

Een nog wel voorkomende uitvoering is de micatrimmer (fig. 3,15). Op een plaatje van keramiek of hardpapier is een metalen plaatje bevestigd, terwijl een tweede plaatje, als veer uitgevoerd en instelbaar met een schroef, de tweede elektrode vormt.

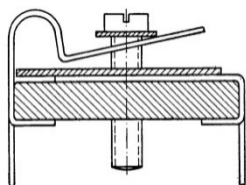


Fig. 3,15. Micatrimmer.

Een micaplaatje dient als isolatie in de ingedraaide stand. Deze constructie levert grote bezwaren. De verandering van de capaciteit bij temperatuurverandering is groot, omdat daarbij de mechanische spanning van de veer en de schroef verandert. Bovendien heeft vocht een grote invloed op de diëlectrische verliezen en de diëlectrische constante.

Verder is de capaciteitsvariatie per omwenteling van de schroef in de uitgedraaide stand gering, doch bij verder ingedraaide stand veel groter. Wegens deze nadelen wordt deze trimmer tegenwoordig bijna niet meer gebruikt.

De meest gebruikte trimmers zijn luchttrimmers. Een aantal coaxiale cilinders is om en om samengesteld tot twee elektroden, waarvan er een in en uit de andere kan worden bewogen (fig. 3,16). Het beweegbare deel wordt daartoe met een trimmsleutel in axiale richting langs een schroefdraad geschroefd.

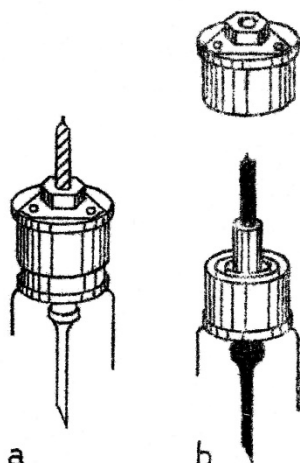


Fig. 3,16. Luchttrimmer.
a: de complete trimmer
b: de beide delen uit el-
kander geschroefd

De isolatie wordt gevormd door een keramisch staafje, waarop de stator is vastgekrompen en waarover de rotor kan schuiven en draaien.

De temperatuurscoëfficiënt is zeer klein; de invloed van vocht op de capaciteit en op diëlectrische verliezen is zeer gering. De instelling geschiedt zeer soepel. Deze trimmers voldoen dus aan de zeer hoge eisen en worden daarom veel gebruikt.

Voor sommige doeleinden worden draadtrimmers gebruikt (fig. 3,17). Deze bestaan uit een dunwandige keramische buis, die aan de binnenzijde is verzilverd en uitwendig is bewikkeld met een laag dun draad.

De zilverlaag aan de binnenzijde vormt de ene elektrode; de draad op de buitenzijde is de andere elektrode.

Door de draad af te wikkelen wordt de capaciteit verkleind tot deze de gewenste waarde heeft bereikt.

De temperatuur- en vochtbestendigheid zijn veel geringer dan bij de luchttrimmer. Een groot bezwaar is, dat wederom opwikkelen van de draad praktisch niet mogelijk is, zodat slechts in één richting kan worden geregeld, nl. verkleinen van de capaciteit. Daardoor is de bruikbaarheid beperkt.

Diëlectrische constanten.

De grootte van de capaciteit, welke door een condensator per eenheid van plaatoppervlak gevormd wordt, hangt, zoals we in het voorgaande hebben gezien, niet alleen af van de dikte van het diëlectricum, maar ook van de soort diëlectricum, welke wordt toegepast.

We onderscheiden de diverse soorten stoffen door de diëlectrische constante.

Ter wille van het overzicht geven we in de onderstaande tabel van enige stoffen de diëlectrische constante, waarbij wordt uitgegaan dat de diëlectrische constante van vacuüm 1 is.

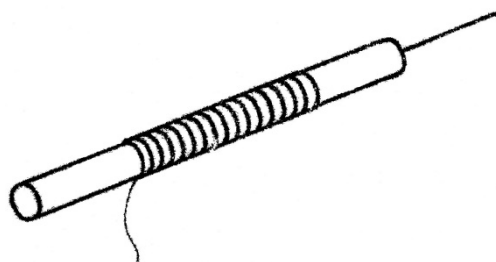


Fig. 3,17. Draadtrimmer.

Stof	Diël. Const.	Stof	Diël. Const.
Vacuüm	1	Pyrex	4,9
Zuiver water	81	Micalex	8
Aceton	21,5	Polystyreen	7
Barnsteen	2,8	Trolituul	2,6
Kwarts	8	Schellak	6
Glas (gewoon)	5 - 7	Porselein	7
Optisch glas	10	Fiber	5 - 7,5
lucht	1,006		

Verder speelt de spanning, welke de condensator moet verdragen en eveneens het frequentiegebied van de wisselspanning, een rol in de keuze van de soort diëlectricum, maar daar komen we later op terug.

Wordt een condensator geschakeld in een bepaald circuit, dan zal het diëlectricum van een zodanige kwaliteit en dikte moeten zijn, dat deze de spanningen, welke op de condensator werkzaam zijn, zonder schadelijke gevolgen (doorslag) kan verdragen. Kwaliteit en dikte van het diëlectricum moeten tevens de gewenste capaciteit aan de condensator geven.

Te maken opgaven MO 48 t/m 50.
Oplossingen inleveren.

3.4. Verlieshoek en RC-tijd van condensatoren

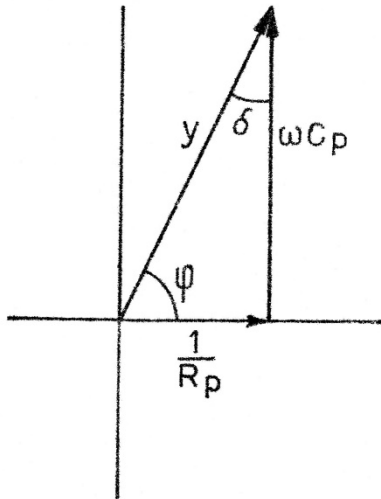


Fig. 3,18. Admittantiediagram van fig. 3,19.

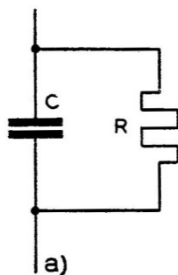


Fig. 3,19. Vervangingschema condensator met verliezen.

omgezet, vandaar de naam diëlectrische verliezen.

Volgens fig. 3,18 is $\cos \varphi = \frac{1}{Y R_p}$ en $\tan \delta = \frac{1}{\omega C_p R_p}$. Indien de verliezen van de condensator klein zijn (dus R_p groot), dan is nagenoeg $y = \omega C_p$ en kunnen we $\cos \varphi$ gelijk stellen aan $\tan \delta$, waarmee het toegevoerd vermogen wordt:

$$P = U \cdot I \cdot \tan \delta.$$

In de elektrotechniek hebben we herhaaldelijk te maken met een combinatie van een condensator en een weerstand, hetgeen bij de eigenlijke condensator ook al het geval is.

We hebben in MO 3,1 reeds vermeld, dat bij een condensator diëlectrische verliezen optreden. Deze verliezen konden in rekening worden gebracht door parallel aan de condensator een weerstand werkzaam te denken.

Is de condensator op wisselspanning aangesloten, dan zijn de verliezen belangrijk grote, dan indien een gelijkspanning werkzaam is. Bij aanwezigheid van wisselspanning zal de parallelweerstand dus kleiner zijn dan bij de aanwezigheid van gelijkspanning. De diëlectrische verliezen zullen ook nog toenemen, naarmate de frequentie van de wisselspanning hoger is.

Hoewel een ideale condensator een faseverschuiving van 90° tussen wisselstroom en –spanning veroorzaakt, zal de faseverschuiving bij een condensator met verliezen, kleiner dan 90° zijn.

In fig. 3,19 hebben we het vervangingschema van een condensator met verliezen weergegeven, terwijl in fig. 3,18 het admittantie-diagram is getekend.

We zien hieruit, dat naarmate de weerstand kleiner (verliezen groter) is, de faseverschuiving meer van 90° gaat afwijken.

Om de kwaliteit van een condensator uit te drukken, gebruikt men veelal de verlieshoek.

Dit is de hoek δ , die gevormd wordt tussen de vector, die de admittantie voorstelt en de verticale as of, wat hetzelfde is, de hoek gevormd door de vectoren y en ωC_p .

De verlieshoek is dus het complement van de fasehoek.

De tangens van de verlieshoek, $\tan \delta = \frac{1}{\omega C_p R_p}$ noemt men de kwaliteitsfactor van de condensator.

De meest gebruikelijke condensatoren hebben een $\tan \delta$, die gelegen is tussen 10^{-2} en 10^{-4} . Nu de faseverschuiving minder dan 90° is, wordt er dus vermogen aan de condensator geleverd en wel $P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$. Dit vermogen wordt in het diëlectricum in warmte

R.T.

24 MO 3

Nadruk verboden

Bij berekeningen die daarop betrekking hebben, komt dan veelal het product RC , de tijdconstante voor. Zoals de naam doet vermoeden is deze constante uitgedrukt in de tijdseenheid; we zeggen nu de dimensie van $T = RC$ is die van tijd. We kunnen dit als volgt inzien. De dimensie van C is:

farad of: $\frac{\text{Amp}\cdot\text{sec}}{\text{volt}}$, terwijl de dimensie van R is ohm of: $\frac{\text{volt}}{\text{ampere}}$.

Het product RC levert dus sec. op

Het product $T = RC$ is overigens een materiaalconstante, onafhankelijk van de afmeting van het diëlectricum alleen afhankelijk van de soort van het materiaal.

We beschouwen daartoe een condensator, gevormd door twee evenwijdige vlakke platen met oppervlak O op een afstand l , terwijl de ruimte daartussen gevuld is met homogeen diëlectricum.

De weerstand van het diëlectricum is $R = \rho \frac{l}{O}$. De capaciteit van de condensator is $C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \frac{O}{l}$.

$$\text{Het product is dus } RC = \rho \frac{l}{O} \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \frac{O}{l} = \rho \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r .$$

Hierin is $\epsilon_0 = 8,855 \cdot 10^{-12}$, ϵ_r de relatieve diëlectrische constante en ρ de specifieke weerstand van het materiaal.

Voorbeeld. Een condensator heeft bij een frequentie $\omega = 10^3$ eentan $\delta = 0,01$ terwijl $C = 0,1 \mu F$.

Bereken de RC -tijd van deze condensator. Indien parallel aan deze condensator een weerstand van $2 \cdot 10^6 \Omega$ geschakeld wordt, hoe groot is dan de RC -tijd van het circuit.

Oplossing. We berekenen eerst de parallelweerstand welke de diëlectrische verliezen vertegenwoordigt:

$$\tan \delta = \frac{1}{\omega C_p R_p} = \frac{1}{100}, \quad \frac{1}{10^3 \cdot 10^{-7} \cdot R_p} = \frac{1}{100}, \quad R_p = 10^6.$$

De RC -tijd is nu $RC = 10^6 \cdot 10^{-7} = \mathbf{1/10 \text{ sec}}$.

Indien de weerstand van $2 \cdot 10^6 \Omega$ parallel geschakeld is dan kunnen we allereerst de verliesweerstand van $2 \cdot 10^6 \Omega$ vervangen door één enkele weerstand. Deze is:

$$RV = \frac{10^6 \cdot 2 \cdot 10^6}{10^6 + 2 \cdot 10^6} = \frac{2}{3} \cdot 10^6 \Omega = \frac{2}{3} \text{ Mega} = \text{ohm} = \frac{2}{3} \mathbf{M\Omega}.$$

De RC -tijd van de aldus gevormde keten is:

$$RC = \frac{2}{3} 10^6 \times 10^{-7} = \frac{1}{15} \text{ sec}.$$

Voorbeeld. Een condensator is in serie geschakeld met een weerstand van $2 \text{ M}\Omega$ en aangesloten op een gelijkspanning van 200 volt . Over de weerstand neemt men een gelijkspanning waar van 2 V . Hoe groot is de isolatieweerstand van de condensator, als de capaciteit $0,1 \mu F$ is?

Oplossing. De gelijkstroom door de weerstand en dus ook door de condensator is:

$$I = \frac{2}{2 \cdot 10^6} = 10^{-6} \text{ A}. \quad \text{Over de condensator valt een spanning van:}$$

$$200 - 2 = 198 \text{ V}. \quad \text{De isolatieweerstand van de condensator is dus:}$$

$$R_c = \frac{198}{10^{-6}} = \mathbf{198 \text{ M}\Omega}.$$

De grootte van de capaciteit is een gegeven dat voor de beantwoording van de gestelde vraag niet gebruikt behoefde te worden.

Te maken opgaven MO No. 51 t/m 55. Oplossingen inleveren.



Hoofdstuk 4

4.1. Verschillende soorten spoelen en transformatoren.

In de elektrotechniek en in het bijzonder in de radiotechniek worden zeer vele verschillende soorten spoelen en transformatoren gebruikt. Voor het gebruik bij hoge frequenties verschilt de constructie gewoonlijk zeer veel van die van de spoelen, die bij lage frequenties dienst moeten doen. Met lage frequenties bedoelen we gewoonlijk de hoorbare frequenties, audiofrequenties genoemd, dus frequenties tot circa 15000 Hz; met hoge frequenties bedoelen we in dit verband in de regel frequenties boven 15 kHz.

De spoelen en transformatoren voor lage frequenties bevatten gewoonlijk een gesloten ijzeren circuit; in enkele gevallen is er een kleine luchtspleet aanwezig, bij een dergelijke luchtspleet is de spleet gewoonlijk geen luchtruimte, doch is opgevuld met hard papier, dat in magnetisch opzicht dezelfde eigenschappen heeft als lucht. Spoelen en transformatoren voor hoge frequenties bevatten of wel in het geheel geen ijzer of ander magnetisch materiaal of wel een klein kerntje van geperst poederijzer of van ander magnetisch materiaal.

De spoelen voor hoge frequenties, die in ontvangers en versterkers worden gebruikt, worden gewoonlijk voorzien van een aluminium afschermbus; grote spoelen voor zenders gewoonlijk niet; spoelen voor lage frequenties worden slechts zelden door afschermend materiaal omgeven.

4.2 Energieverliezen in spoelen en transformatoren

a. Kopperverliezen

Indien door de windingen van een spoel een stroom optreedt, zal ten gevolge van de weerstand welke de windingsdraad bezit, elektrische energie worden omgezet in warmte. Men geeft deze energieverliezen aan met de naam 'kopperverliezen'. Men zal de kwaliteit en afmetingen van de draad zo moeten kiezen, dat de warmte-ontwikkeling in het koper, bij een stroomwaarde waarvoor de spoel wordt berekend, binnen de grenzen blijft, welke niet nadelig zijn voor de spoel. Hiertoe zal men dus een dikke draad bezigen. Grote draaddoorsnede brengt echter mee, dat de afmetingen van de spoel te groot worden, hetgeen grote materiaalkosten met zich brengt, terwijl er tevens technische bezwaren tegen grote afmetingen bestaan, welke in het volgende duidelijk zullen worden.

De draadlengte is in belangrijke mate afhankelijk van het aantal windingen dat nodig is ter verkrijging van de gewenste zelfinductie.

Het materiaal waaruit de draad is vervaardigd moet een zo laag mogelijke specifieke weerstand hebben. Voor spoelen waarbij de weerstand zeer klein moet zijn, we denken hier aan spoelen die voor hoge frequenties moeten dienen, gebruikt men daarom elektrolytisch koper. Dit heeft, daar het een minimum aan verontreinigingen bezit, een kleinere specifieke weerstand dan het gewone koper.

b. Hysteresisverliezen

In Th.E. 5,8 hebben we reeds kennis gemaakt met hysteresis. We hebben gezien, dat een ijzeren kern welke zich in een spoel bevindt, magnetisch wordt ten gevolge van een door de spoel gaande stroom. Bij afname van de stroom houdt de afname van de magnetisatie (de afname van de magnetische inductie) geen gelijke tred met de afnemende stroom (afnemende magnetische veldsterkte). Dit doet het meest van zich spreken, indien de stroom snel van richting wisselt, dus bij hoge frequenties. Als de stroom is afgenomen tot nul, bezit de kern nog magnetisme dat behoort bij de inmiddels afgenomen stroom.

De stroom welke daarna in tegengestelde richting gaat vloeien zal dus eerst een magnetische veldsterkte tot stand moeten brengen welke het achtergebleven (remanent) magnetisme opheft, alvorens de kern gemagnetiseerd wordt overeenkomstig de omgekeerde stroomrichting. Dit vindt steeds plaats als de stroom van richting wisselt. De veldsterkte, welke nodig is om het achtergebleven magnetisme op te heffen, en in Th.E. fig. 5,14 met OD aangegeven, wordt coërcitiefkracht genoemd. De coërcitiefkracht is sterk afhankelijk van het soort materiaal dat gebezigd wordt en van de frequentie van de wisselstroom welke door de spoel vloeit.

Dat stroom moet worden toegevoerd, om het achtergebleven magnetisme op te heffen betekent dat er een zekere hoeveelheid energie moet worden toegevoerd. We denken hierbij aan de energie welke in het magnetisch veld wordt opgenomen ($1/2LI^2$ joules).

Deze elektrische energie is dus besteed om de remanentie op te heffen en is dus verloren.

Deze energie vinden we in het kernmateriaal in de vorm van warmte terug.

Bij hoge frequentie en grote hysteresis van het kernmateriaal zal op deze wijze een belangrijke warmte-ontwikkeling kunnen ontstaan.

De energie welke op deze wijze in warmte wordt omgezet, is evenredig met de oppervlakte van de hysteresislus (zie Th.E. fig. 5,14)

c. Wervelstroomverliezen, Foucault-stromen

Beweegt men een stuk materiaal in een magnetisch veld, dan zullen in dat materiaal spanningen worden geïnduceerd, Deze spanningen hebben, indien het materiaal geleidend is, stromen ten gevolge.

Bij massief geleidend materiaal kunnen deze stromen vrij groot zijn.

De richtingen van deze stromen zijn zodanig dat zij een Lorentz-kracht ondervinden welke de beweging van het materiaal tegenwerkt.

Wordt een stuk materiaal geplaatst in een veranderend magnetisch veld, dan zullen eveneens spanningen in het materiaal worden geïnduceerd. Deze spanningen zullen weer stromen ten gevolge hebben en deze stromen hebben een zodanige richting dat de veranderingen van het magnetisch veld worden tegengewerkt. Men noemt deze stromen Foucault-stromen of wervelstromen. De laatste naam is ontstaan doordat de stromen op het oog zeer willekeurig banen in het materiaal doorlopen.

Bij een spoel met ijzeren kern hebben we eveneens met wervelstromen te maken. Een stroomverandering in de spoel zal een verandering van de magnetische flux in het ijzer ten gevolge hebben. Deze verandering van de magnetische flux heeft op haar beurt spanningen en dus ook stroompjes in het kernmateriaal ten gevolge. Deze stroompjes (wervelstroompjes) zullen de verandering van de magnetische flux tegenwerken. De wervelstromen zullen, gaande door het kernmateriaal, ten gevolge van de weerstand van het kernmateriaal warmte-ontwikkeling tot gevolg hebben. De stroom, welke de magnetische flux opbouwt, zal de energie welke in warmte wordt omgezet moeten leveren. In de kern kan vooral als de frequentie van de magnetische flux groot is, een grote warmte-ontwikkeling plaats vinden.

Te maken Opgaven MO No. 56 t/m 59.
Oplossingen inleveren.



Om de wervelstromen te verminderen, streeft men er naar de afmetingen van het gebezigde ijzer zo klein mogelijk te houden. Men bouwt daartoe de kern veelal op uit onderling geïsoleerde dunne plaatjes, lamellen genaamd. Door de plaatjes dun te houden bv. 0,35 á 0,5 mm, beperkt men de wervelstromen, dus ook de wervelstroomverliezen. De lamellen kunnen worden vervaardigd uit dynamoblik (ijzer met 2 á 4% silicium). De aanwezigheid van ijzer maakt de weerstand voor de wervelstromen groter.

De isolatie van de lamellen onderling wordt verkregen door de lamellen te maken uit gegloeid dynamoblik. Het gegloeide dynamoblik bezit aan de oppervlakte een oxidehuidje dat isolerend werkt. Ook kunnen de lamellen vervaardigd worden uit ongegloeid dynamoblik, waarbij aan een zijde van de lamel een dun laagje papier ter isolatie is aangebracht.

De toepassing van gegloeid dynamoblik heeft het voordeel, dat hierbij de hysteresisverliezen kleiner zijn dan bij ongegloeid blik.

De kern al of niet op te bouwen uit lamellen heeft geen verandering van de hysteresisverliezen ten gevolge; wel zullen de wervelstroomverliezen bij een kern opgebouwd uit lamellen, kleiner zijn dan bij een massieve kern.

4.3 afhankelijkheid van μ_r van de veldsterkte

De stoffen welke invloed uitoefenen op een magnetisch veld kunnen we onderverdelen in drie groepen:

1° Diamagnetische stoffen. Deze stoffen hebben een relatieve permeabiliteit μ_r kleiner dan 1 en veroorzaken een kleine verzwakking van het magnetisch veld (koper, bismuth).

2° Paramagnetische stoffen. Hieronder verstaat men stoffen welke een relatieve permeabiliteit hebben die iets groter is dan 1. Door deze wordt het magnetisch veld een weinig versterkt (aluminium). Bij para- en diamagnetische stoffen wijkt μ_r minder dan 1/1000 af van 1, zodat we in de praktijk hiermede geen rekening hebben te houden.

3° Ferromagnetische stoffen. Deze stoffen hebben een relatieve permeabiliteit μ_r , welke veel groter is dan 1 bv. 20 – 20000. Met deze materialen kan dus een grote versterking van het magnetisch veld tot stand gebracht worden.

De ferromagnetische materialen kunnen omvatten ijzer, nikkel, kobalt en hun legeringen, alsmede mengsels van bepaalde metaaloxiden. Bij para- en diamagnetische stoffen is μ_r nagenoeg constant, d.w.z. de waarde van μ_r verandert niet als de veldsterkte waarin deze stoffen geplaatst zijn verandert. Bij ferromagnetische stoffen is μ_r niet constant doch verandert als de veldsterkte verandert. In fig. 4,1 is een grafiek weergegeven welke een voorbeeld geeft hoe μ_r kan veranderen bij verandering van de veldsterkte H. de ferromagnetische stoffen hebben bij een veldsterkte een zogenaamde beginpermeabiliteit welke reeds beduidend groter dan 1 is.

We zien bij aangroeiing van H de permeabiliteit μ_r snel toenemen om bij verdere toename van H geleidelijk weer af te nemen.

De maximale waarde van μ_r ligt in ons gekozen voorbeeld bij 2400. De waarde van de beginpermeabiliteit bij 300. Deze beide waarden zijn voor verschillende stoffen verschillend. Indien we ferromagnetisch materiaal plaatsen in een magnetisch veld dat regelmatig toeneemt, dan zal de magnetische inductie niet evenredig daarmee toenemen. Dit wordt veroorzaakt door de veranderlijke waarde van μ_r .

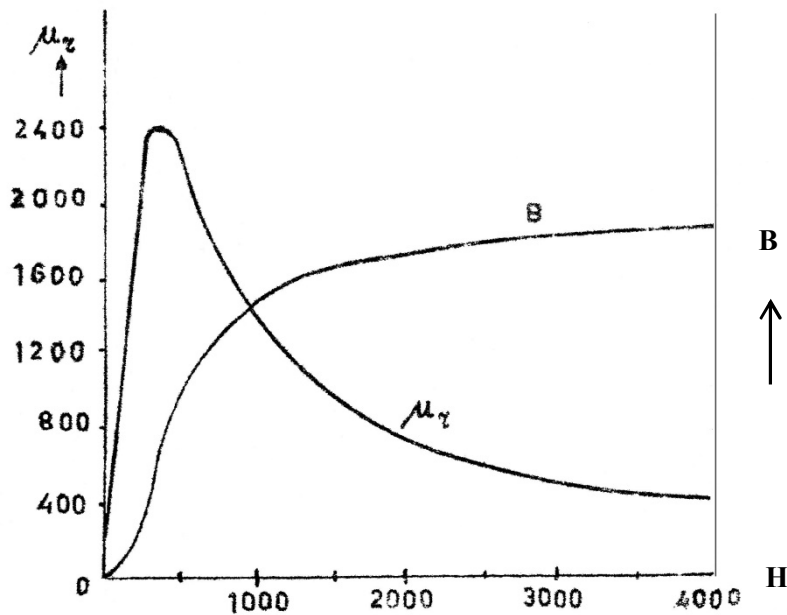


Fig. 4,1. Afhangelijkheid van μ_r van de veldsterkte.

Bij zeer grote veldsterkte zal μ_r afgenomen zijn tot kleine waarde. De magnetische inductie bereikt dan de maximum-waarde (zie kromme B in fig. 4,1). Is de maximum-waarde van de inductie bereikt, dan noemt men het materiaal magnetisch verzadigd. De kromme B van fig. 4,1 vinden we ook weer terug in Th.E. fig. 5,14, in de zogenaamde hysteresislus.

4.4 Spoelen voor hoge frequenties, zonder ferromagnetische kern.

Bij hoge frequenties heeft men gewoonlijk spoelen nodig met een betrekkelijk kleine zelfinductie, orde van grootte 1mH tot 1 μ H, soms nog kleiner. Deze zelfinductie kan gemakkelijk worden verkregen met een niet al te groot aantal windingen, zonder dat een ferromagnetische kern nodig is om de zelfinductie te verhogen,

Deze spoelen maken veelal deel uit van een afgestemde kring, welke een resonantiekromme moet hebben welke aan bepaalde eisen voldoet. De energieverliezen in de kring en dus ook de energieverliezen van de spoel, moeten dan zo klein mogelijk gehouden worden. Aan de spoel wordt dan de eis gesteld dat de verhouding $\frac{\omega L}{R}$, de kwaliteitsfactor Q groot is. hierin is dan ω de hoekfrequentie, L de zelfinductie en R de verliesweerstand van de spoel. Het is dus de taak van de constructeur, bij gegeven waarden van ω en L, de weerstand R zo klein mogelijk te houden.

Verder moet een spoel gewoonlijk voldoen aan bepaalde eisen betreffende de afmetingen, de afscherming en de prijs. Bovendien wenst men een gemakkelijke, eenvoudige en goedkope fabricagemethode te kunnen gebruiken, in het bijzonder, als het aantal te maken spoelen groot is. De windingen van een spoel bezitten ten opzichte van elkaar een zekere capaciteit. Zijn twee spoelen dicht bij elkaar geplaatst, bv. in een afschermibus, dan is er bovendien een capaciteit tussen deze spoelen. Ook is er een capaciteit tussen spoel en de geleidende onderdelen van het toestel, waarin de spoel geplaatst is. Al deze capaciteiten moeten in de regel zo klein mogelijk worden gehouden.

Te maken Opgaven MO 60 t/m 66 (Oplossingen inleveren).



HILVERSUM

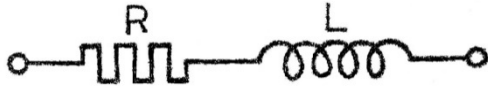
4.5. De kwaliteitsfactor Q van een spoel.

Fig. 4,2. Vervangschema voor een spoel, die een weerstand bezit.

Tussen de windingen van de spoel treedt een zekere capaciteit op. Twee verschillende windingen van de spoel zijn twee geleiders, op enige afstand van elkaar, dus vormen een condensator. De beide elektroden van deze condensator zijn wel geleidend met elkaar verbonden door de tussen-gelegen windingen van de spoel, doch in deze tussen-gelegen windingen wordt een spanning geïnduceerd, zodat er tussen de beide elektroden van de beschouwde "condensator" een spanning aanwezig is als bij een meer gewone condensator. De verschillende condensator-tjes, die we ons kunnen voorstellen tussen de windingen van de spoel en waarvan er in fig. 4,3 enkele zijn aangeduid, kunnen we vervangen denken door een enkele condensator met een capaciteit C , parallel aan de gehele spoel. Deze capaciteit wordt de eigen capaciteit van de spoel genoemd. We kunnen dus de gehele spoel vervangen denken door een schakeling volgens fig. 4,4, bestaande uit een weerstandsloze zelfinductie L , in serie met een weerstand R en een condensator met een capaciteit C parallel.

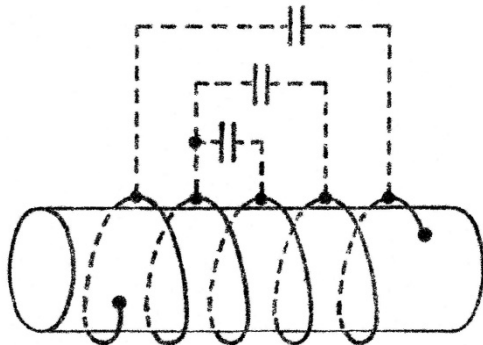
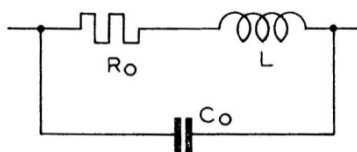


Fig. 4,3. Spoel met eigen capaciteit.

Het diëlectricum van de condensator-tjes, die samen C leveren, is gedeeltelijk lucht, gedeeltelijk de koker, waarop de spoel is gewikkeld. Het materiaal van de koker geeft diëlectrische verliezen. Deze verliezen kunnen we in rekening brengen door een weerstand parallel aan de gehele spoel werkzaam te denken.

Om de kwaliteitsfactor van de spoel zo groot mogelijk te doen zijn, moet de verlieshoek van het materiaal waaruit de spoel-

koker is vervaardigd, alsmede de verlieshoek van andere isolatiematerialen die zich in de omgeving van de spoel bevinden, zo klein mogelijk zijn.

Fig. 4,4. Spoel met weerstand R_0 en Capaciteit C_0 .

De draad waarvan de spoel is gewikkeld bezit een zekere weerstand. We kunnen de spoel opvatten als een spoel zonder weerstand in serie met een weerstand R , gelijk aan die van de spoel (fig. 4,2).

De weerstand R is gemeten bij wisselstroom, groter dan de weerstand, die bij gelijkstroom optreedt.

Dit is een gevolg van het huideffect (Engels: skin effect). Hoe hoger de frequentie, des te meer wordt de stroom naar de buitenzijde van de doorsnede van de draad gedrongen, zodat de stroom-dichtheid in het

hart van de draad gering wordt. De eigenlijke stroom maakt dus gebruik van een kleinere doorsnede dan de gehele draaddoorsnede is. De weerstand wordt dan groter. Deze weerstand neemt dus toe met toenemende frequentie. De kwaliteitsfactor $Q = \frac{\omega L}{R}$ zou, als R onafhankelijk was van de frequentie, evenredig met de frequentie toenemen. Daar R echter toeneemt met toenemende frequentie, neemt Q in mindere mate toe. (Een nadere verklaring van het huideffect wordt later gegeven).

Tussen de windingen van de spoel treedt een zekere capaciteit op. Twee verschillende windingen van de spoel zijn twee geleiders, op enige afstand van elkaar, dus vormen een condensator. De beide elektroden van deze condensator zijn wel geleidend met elkaar verbonden door de tussen-gelegen windingen van de spoel, doch in deze tussen-gelegen windingen wordt een spanning geïnduceerd, zodat er tussen de beide elektroden van de beschouwde "condensator" een spanning aanwezig is als bij een meer gewone condensator. De verschillende condensator-tjes, die we ons kunnen voorstellen tussen de windingen van de spoel en waarvan er in fig. 4,3 enkele zijn aangeduid, kunnen we vervangen denken door een enkele condensator met een capaciteit C , parallel aan de gehele spoel. Deze capaciteit wordt de eigen capaciteit van de spoel genoemd. We kunnen dus de gehele spoel vervangen denken door een schakeling volgens fig. 4,4, bestaande uit een weerstandsloze zelfinductie L , in serie met een weerstand R en een condensator met een capaciteit C parallel.

Het diëlectricum van de condensator-tjes, die samen C leveren, is gedeeltelijk lucht, gedeeltelijk de koker, waarop de spoel is gewikkeld. Het materiaal van de koker geeft diëlectrische verliezen.

Deze verliezen kunnen we in rekening brengen door een weerstand parallel aan de gehele spoel werkzaam te denken.

Om de kwaliteitsfactor van de spoel zo groot mogelijk te doen zijn, moet de ver-

lieshoek van het materiaal waaruit de spoel-

Geleiders, die zich in het magnetisch veld van de spoel bevinden, veroorzaken ook een verkleining van de kwaliteitsfactor. In het bijzonder is dit het geval met de afschermbus, die om vele spoelen is aangebracht.

4.6. De afschermbus.

Bij een spoel zonder ijzerkern loopt de magnetische inductie zoals in fig. 4,5 is geschetst. Met toenemende afstand tot de spoel neemt de magnetische inductie B af. Bevindt zich in dit magnetische veld een andere spoel, dan wordt hierin een wisselspanning geïnduceerd als door de eerste spoel een wisselstroom vloeit. Dit kan zeer ongewenste gevolgen hebben. Ook kan door de capaciteit tussen twee niet ver van elkaar geplaatste spoelen een spanning in de tweede spoel ontstaan ten gevolge van een spanning tussen de uiteinden van de eerste. De eerstgenoemde soort koppeling noemen we magnetische koppeling, de laatstgenoemde elektrische koppeling. Beide kunnen zeer ongewenst zijn. Door de spoel te plaatsen in een koperen of aluminium bus worden beide opgeheven.

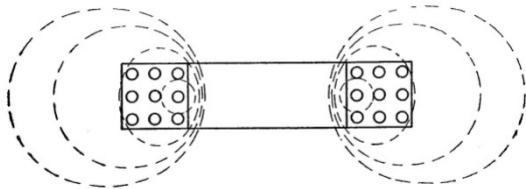


Fig. 4,5. Verloop van de magnetische inductie bij een spoel zonder ijzer.

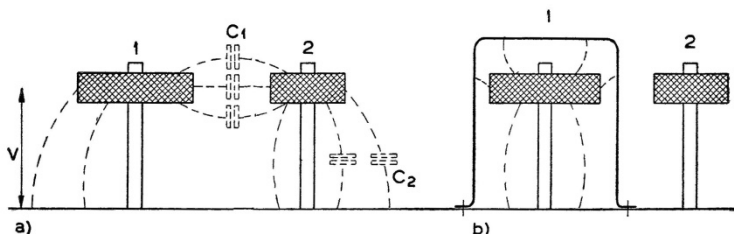


Fig. 4,6. a. Twee spoelen zonder afscherming; b. een spoel voorzien van een afschermbus.

In fig. 4,6a zijn twee spoelen getekend, geïsoleerd opgesteld op een chassis, dat geaard is. Een spanning U tussen spoel 1 en het chassis wordt door de capaciteiten C_1 en C_2 gedeeltelijk overgebracht op spoel 2.

Wordt spoel 1 omgeven door een metalen bus, die met het chassis is verbonden, dan eindigt de elektrische flux die van spoel 1 uitgaat, op de binnenwand van de bus en kan dus spoel 2 niet meer bereiken. Zou de afschermbus van het chassis geïsoleerd zijn, dan is de bus niet werkzaam als elektrische afscherming. Het is dus nodig, dat de bus is "geaard".

Om de afscherming van het magnetisch veld te begrijpen denken we eerst om de spoel een metalen ring aangebracht met zeer geringe weerstand (fig. 4,7).

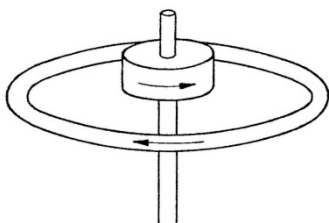


Fig. 4,7. Spoel, omgeven door een gesloten ring.

Indien door de spoel een wisselstroom vloeit, wordt in de ring een spanning geïnduceerd, die een stroom tot gevolg heeft in de richting tegengesteld aan de stroomrichting in de spoel. In fig. 4,7 zijn deze stroomrichtingen door pijlen aangegeven. Men kan het samenstel beschouwen als een transformator met grote spreiding. Op enige afstand van de spoel zal de stroom door de spoel een magnetisch veld veroorzaken, doch de stroom door de ring eveneens, evenwel in tegengestelde richting.



Indien de weerstand van de ring zeer klein is, zal de stroom door de ring zo groot zijn, dat beide genoemde magnetische velden elkaar buiten de bus opheffen. Neemt men in plaats van de ring een cilinder of bus, dan geeft deze hetzelfde effect (fig. 4,8). Door de gehele cilinder mantel vloeit een wisselstroom. Voor deze magnetische afscherming is het niet nodig, dat de bus geleidend met het chassis is verbonden; dit is alleen voor de elektrische afscherming.

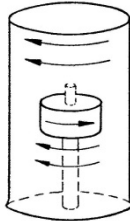


Fig. 4,8. Spoel in een magnetisch afschermende cilinder. De pijlen geven de richting van de stroom aan.

Zou men de bus in de lengterichting opensnijden, waardoor de weg der geïnduceerde stromen zou worden onderbroken, dan vindt geen magnetische afscherming plaats. De elektrische afscherming zou dan echter wel blijven bestaan.

Door het aanbrengen van de bus wordt de zelfinductie van de spoel kleiner. Zoals gezegd, kan het samenstel worden beschouwd, als een secundair kortgesloten transformator. Aan de primaire zijde blijft dan alleen de spreidingszelfinductie over. Daar de spreiding hier groot is, is de resterende zelfinductie van de spoel nog bevredigend. Bij de gebruikelijke constructies daalt de zelfinductie door het aanbrengen van de bus 10 tot 20%. De effectieve weerstand van de spoel neemt bij deze afscherming niet af, zodat de kwaliteitsfactor $Q = \omega L/R$ in dezelfde mate kleiner wordt als de zelfinductie. De weerstand van de bus geeft bovendien nog enig verlies; er vloeit stroom door de bus, dus er wordt elektrisch vermogen in warmte omgezet, dit vermogen wordt door de spoel geleverd, zodat de kwaliteitsfactor nogmaals iets kleiner wordt. Deze laatste bijdrage is echter niet groot, indien de bus naadloos is vervaardigd. Bezit de bus een naad, dan is het noodzakelijk, deze zeer goed te lassen. Anders zou de weerstand van de naad de kwaliteit van de spoel zeer ernstig benadelen.

Hoe nauwer de bus om de spoel sluit, des te groter is de invloed van de bus op de zelfinductie van de spoel. Soms is het nodig, voor het verkrijgen van kleine afmetingen, de bus zeer nauw te maken. Om nu toch te voorkomen, dat de verliezen van de spoel te groot worden, de kwaliteitsfactor Q dus te klein, kan men eerst een bus van ijzer of ander magnetisch materiaal (bv. ferroxcube) direct om de spoel aanbrengen. Het magnetische veld buiten deze ijzeren bus is reeds zwak, zodat men de koperen of aluminium bus nauwsluitend om het ijzer kan aanbrengen.

4.7 Constructie der spoelen

De spoelen worden meestal gewikkeld op een koker van een isolerende stof, nl. keramiek, polystyreen, of trolituul, glas, kunsthars of hardpapier, in de regel met cirkelvormige doorsnede. Op deze koker wordt de draad gewikkeld, vervaardigd van elektrolytisch koper. Deze draad is gewoonlijk bedekt met een isolerende laag, emallak of een zijde-omspinning. Soms gebruikt men massieve draad, soms litzedraad. Deze laatste draadsoort is verkregen door een aantal dunne, door emallak onderling geïsoleerde draadjes samen te vlechten en daarna een zijde-omspinning aan te brengen. De complete spoel wordt door een impregneermiddel, aardwas of een laksoort tegen het indringen van vocht beschermd.

Voor kleine zelfinducties laat men soms de spoelkoker achterwege, wikkelt men de spoel van koperdraad, dat voldoende dik en stevig is om zijn vorm te bewaren en bevestigt men de spoel bij montage alleen aan de uiteinden.

Het doel, dat men bij de constructie nastreeft, is een zo groot mogelijke waarde voor de kwaliteitsfactor Q te verkrijgen.

De specifieke weerstand van koper neemt toe als de onzuiverheden in het koper, dus de bijmengsels van andere stoffen, toenemen. Daarom wordt voor de draad koper gebruikt, dat langs elektrolytische weg is bereid en daardoor zo goed als geen andere bijmengsels bevat.

Door het huid-effect neemt de effectieve weerstand van een draad toe met de frequentie; voor een dikke draad is deze verhoging van de weerstand meer dan voor een dunne draad. Van een enkele dunne draad zou de weerstand te groot zijn. Daarom wordt litzedraad gebruikt, bestaande uit vele ineengevlochten onderling geïsoleerde dunne draadjes. Deze draadjes zijn zo in elkaar geslagen, dat ieder draadje op zijn beurt aan de buitenzijde en in het midden van de bundel komt. Anders zouden die draadjes die steeds in het midden van de bundel zijn gelegen, vrijwel geen stroom voeren en niet meewerken aan het verminderen van de weerstand, zodat de weerstand van een gevlochten draad niet kleiner zou zijn dan die van een enkele massieve draad met dezelfde totale doorsnede. Ook als de draadjes onderling niet geïsoleerd zouden zijn, zou de gevlochten draad geen voordeel opleveren. Bij zeer lage en zeer hoge frequenties biedt het gebruik van litzedraad geen voordelen en gebruikt men dan ook steeds massieve draad.

Het huid-effect wordt veroorzaakt doordat binnen in het koper een door de wisselstroom veroorzaakt magnetisch wisselveld aanwezig is, dat, in een recht uitgespannen draad, de stroom naar de buitenzijde van de draad dringt. Wordt de draad echter opgewikkeld tot een spoel, dan ontstaat er bovendien een magnetisch veld zoals in fig. 4,5 is aangegeven. Deze magnetische inductie loopt gedeeltelijk ook door het koper en veroorzaakt daar een extra stroomverdringing, waardoor de weerstand van de opgewonden draad meer toeneemt dan die van een recht uitgespannen draad.

Het materiaal van de spoelkoker is ook van belang met het oog op de kwaliteitsfactor Q . De koker maakt deel uit van het dielectricum van de eigencapaciteit. Hoe kleiner de verlieshoek δ van dit materiaal, des groter is de factor Q . Van de bovengenoemde materialen is hardpapier het slechtst. De andere materialen, die in dit opzicht beter zijn, zijn evenwel duurder.

Voor kleine zelfinducties kan dikwijls met voordeel de spoelkoker achterwege worden gelaten; men neemt dan een enkele dikke massieve draad, die bij bevestiging aan de uiteinden zonder meer voldoende stevig en vormvast is. De dielectrische verliezen zijn dan zeer gering; de omtrek van de dikke draad is groot genoeg om een voldoende lage weerstand te geven.

Te maken opgaven MO No. 72 t/m 75.
Oplossingen inleveren.

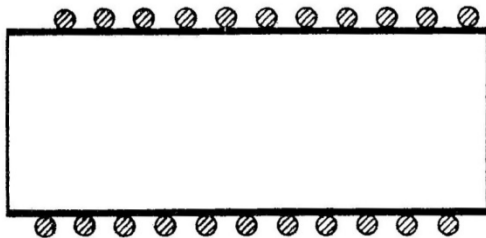


4.8 Wickelmethoden

Men kan de draad op verschillende manieren op de koker wikkelen. Bij spoelen voor hoge frequenties is men er steeds op bedacht, de eigencapaciteit klein te houden. Zou men de windingen zonder meer in een aantal lagen op elkaar wikkelen, dan zou de eigencapaciteit voor de meeste toepassingen ontoelaatbaar groot worden. De wikkelmethoden, die in dit opzicht goed resultaat geven zijn: a: de cilinderwikkeling; b: de bankwikkeling; c: de slinger- of kruiswikkeling; d: de meelopende slingerwikkeling.

a. De cilinderwikkeling

Bij de cilinderwikkeling (fig. 4,9) worden de windingen al of niet met spatiëring naast elkaar

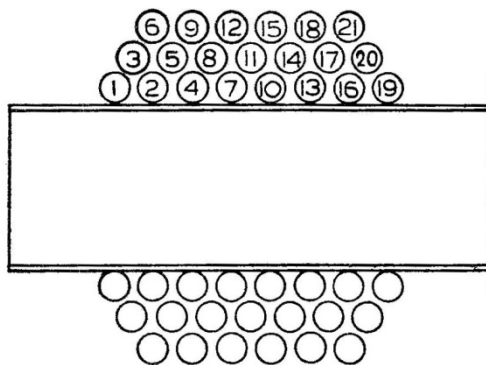


op een spoelkoker gelegd. Bij spoelen voor hoge frequenties legt men slechts een laag; bij meer lagen zou de capaciteit te groot worden. Voor spoelen met een kleine zelfinductie gebruikt men meestal de cilinderwikkeling.

Fig. 4,9. Cilinderwikkeling

b. De bankwikkeling

Indien meer dan een laag over een grote lengte moet worden gewikkeld, kan men de zg. bankwikkeling toepassen (fig. 4,10). De windingen liggen daarbij in de volgorde zoals in fig. 4,10 is aangegeven. Tussen de tegen elkaar liggende windingen is de spanning klein.



De totale eigencapaciteit is in hoofdzaak opgebouwd uit een parallelschakeling van enkele serieschakelingen van vele zeer kleine capaciteiten en is dus klein.

Daar het niet mogelijk is, een dergelijke wikkelwijze machinaal toe te passen, wordt zij zelden gebruikt.

Daar het niet mogelijk is, een dergelijke wikkelwijze machinaal toe te passen, wordt zij zelden gebruikt.

c. De slinger- of kruiswikkeling.

Bij de slinger- of kruiswikkeling liggen de windingen ten opzichte van elkaar op dezelfde wijze als bij vroeger veel gebruikte honigraatspoelen, die met de hand op

pennen werden gewikkeld. Deze wikkeling kan evenwel zeer goed machinaal geschieden en wordt veel toegepast (fig. 4,11).

De draad wordt tijdens het wikkelen met een zg. wikkelvinger (fig. 4,12) gedurende iedere omwenteling van de spoel heen en weer geleid over de volle breedte van de wikkeling. Men zorgt daarbij, dat de draad na een omwenteling niet precies in zijn uitgangspunt is teruggekeerd, doch iets verder, waardoor de draden naast elkaar komen te liggen en niet op elkaar.

In fig. 4,11 is de cilindrische spoelkoker uitgeslagen getekend; de bovenzijde van de figuur sluit aan de onderzijde. Duidelijkheidshalve zijn slechts de eerste vijf windingen getekend. De wikkeling begint bij 1, loop door tot 1', gaat verder bij 2, loopt door tot 2', gaat dan verder bij 3 en zo vervolgens. Het resultaat is een stevige, compacte spoel, die zonder flenzen lagen hoog kan worden gewikkeld.

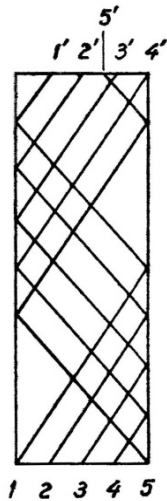


Fig. 4,11
Kruiswikkeling.

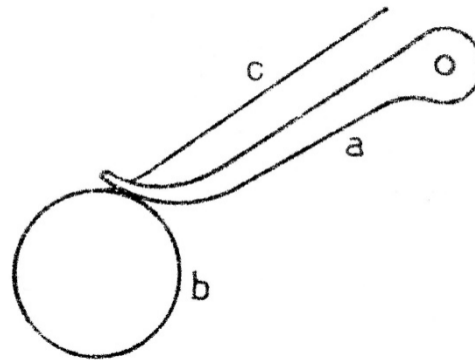


Fig. 4,12. a. Wickelvinger
b. spoelkoker, c. draad.

d. De meelopende slingerwikkeling

De meelopende slingerwikkeling heeft veel overeenkomst met de voorgaande. Aan de heen- en weergaande beweging van de wikkelvinger wordt een kleine constante snelheid in de lengterichting van de spoel toegevoegd (fig. 4,13). In de figuur sluit weer 1' aan op 2, 2' op 3 enz. Het resultaat vertoont dus ook veel overeenkomst met de bankwikkeling, doch bezit het voordeel, dat het wikkelen machinaal kan geschieden.

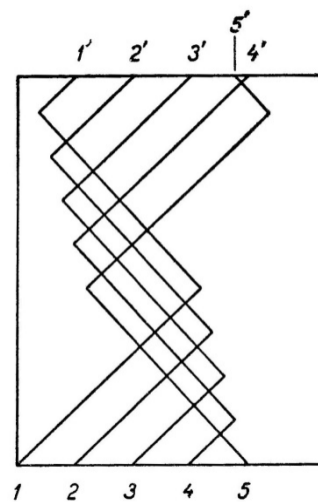


Fig. 3,13
Meelopende slingerwikkeling.



4.9. De zelfinductie

Vloeit door een spoel een elektrische stroom, dan ontstaat een magnetische flux. Het verloop van deze flux is in fig. 4,5 en 4,14 voor twee verschillende spoelvormen door stippellijnen aangegeven. Daaruit blijkt, dat niet alle windingen de gehele flux omvatten. In fig. 4,5 omvatten de

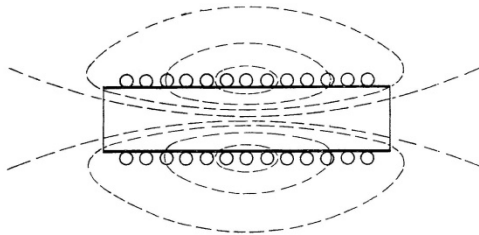


Fig. 4,14. Verloop van de magnetische flux bij een cilinderspoel.

windingen aan het eind een kleinere flux dan die in het midden. Bij een lange dunne cilinderspoel is het verschil echter klein.

We veronderstellen nu eerst dat alle windingen de gehele flux omvatten. In Th.E. 5,16 hebben we afgeleid, dat de zelfinductie in dat geval is:

$$L = \mu \frac{\pi^2 d^2 n^2}{l} 10^{-7} H.$$

Deze formule geldt vrij nauwkeurig voor een lange spoel (d.w.z. de lengte meer dan 10 maal de diameter). In andere gevallen is de zelfinductie kleiner.

Een nauwkeurige berekening, der zelfinductie van korte spoelen is niet eenvoudig. Men heeft enkele benaderingsformules opgesteld, die voor de praktijk voldoende nauwkeurige resultaten geven.

Voor een spoel met een laag is een zeer goede benaderingsformule:

$$L = \frac{A^2}{l + 0,45 D} 10^{-7} H$$

waarin A de totale lengte van de draad, l de bewikkelde lengte van de koker en D de diameter van de koker voorstellen. Bevat de spoel een paar lagen, dan moeten we onze uitkomst met het aantal lagen vermenigvuldigen.

Bij een groot aantal lagen is onze formule echter weer te onnauwkeurig en kan men de zelfinductie beter berekenen uit:

$$L = D \cdot n^2 \cdot L_0 \cdot 10^{-7} H$$

Waarbij D de buitendiameter van de spoel in m is, n het aantal windingen voorstelt en L_0 uit de grafiek volgens fig. 4,15 afgelezen moet worden.

In deze figuur is op de horizontale as de verhouding tussen de bewikkelde lengte b en de buitendiameter D van de spoel uitgezet; op de verticale as is de waarde van de factor L_0 aangegeven.

De verschillende lijnen geven het verband tussen beide genoemde grootheden bij verschillende waarden van t/D, waarin t de wikkelhoogte en D de buitendiameter van de spoel voorstelt.

De wikkelhoogte wordt, zoals duidelijk zal zijn, bepaald door het aantal lagen waarin de spoel is gewikkeld. Bij al deze formules is verondersteld, dat de stroom gelijkmatig over het oppervlak van de spoelkoker is verdeeld. De isolatie van de draad en de eventuele spatiëring van de windingen geven een ongelijkmatige verdeling van de stroom. Hierdoor wordt de zelfinductie een weinig groter, doch bij de gebruikelijke wikkelwijzen in ongunstige gevallen slechts enkele procenten.

Het huid-effect heet ook enige invloed op de zelfinductie; deze wordt er door verkleind. In de meeste gevallen kan men dat echter wel verwaarlozen.

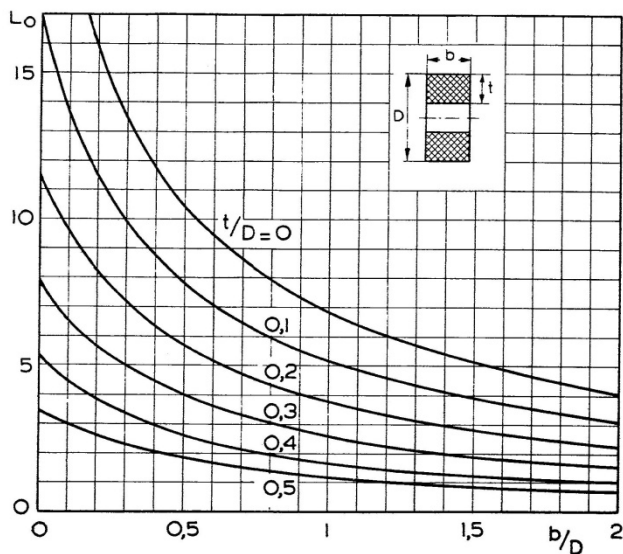


Fig. 4,15. Krommen ter bepaling van L_0 .

op glas of porselein ingebrande wikkeling gebruikt.

4.10. Spoelen met ferromagnetische kern

Brengt men ijzer in het magnetisch veld van een spoel, dan neemt de zelfinductie toe. Voor het verkrijgen van een bepaalde zelfinductie zijn dus bij gebruik van ijzer minder windingen nodig. De weerstand van de spoel wordt kleiner en ook de eigencapaciteit, dus tevens nemen de diëlectrische verliezen af. Hier staat tegenover, dat in het ijzer verliezen optreden (hysteresis- en wervelstroomverliezen). Zorgt men, dat deze ijzerverliezen kleiner zijn dan de vermindering van de koperverliezen en diëlectrische verliezen, dan wordt door het aanbrengen van een ijzeren kern de kwaliteitsfactor Q van de spoel groter.

Daar de wervelstroomverliezen bij toenemende frequentie toenemen, moet voor spoelen voor hoge frequentie het ijzer verder worden onderverdeeld dan bij lage frequenties nodig is. men maakt dan gebruik van poederijzerkernen. Hiervoor neemt men langs chemische weg verkregen ijzerpoeder met een korrel diameter van 0,01 tot 0,001 mm. Deze korrels worden samen met een bindmiddel, meestal plastic, in de gewenste vorm geperst of gespoten. Deze poederijzerkernen bezitten een permeabiliteit, die veel kleiner is dan die van massief ijzer, daar het materiaal slechts gedeeltelijk uit ijzer bestaat. Door zo weinig mogelijk bindmiddel te gebruiken en het mengsel onder hoge druk te persen kan een relatieve permeabiliteit van ongeveer 75 worden bereikt. In vele gevallen is deze permeabiliteit echter niet groter van 10 a 20.

Door Philips is een ander materiaal voor dit doel ontwikkeld, ferroxcube genaamd. Het bestaat uit ijzerverbindingen, zg. ferrieten, die ferromagnetisch zijn, doch voor de elektrische stroom als isolatoren moeten worden beschouwd. Het is dus niet nodig, het materiaal in kleine deeltjes te verdelen om de wervelstroomverliezen klein te houden. Mede daardoor kan de relatieve permeabiliteit 500 tot 1000 bedragen. Het materiaal wordt gebakken en kan dus een keramisch product worden genoemd.

Te maken opgaven MO No. 79 t/m 82.
Oplossingen inleveren.

Door de temperatuursvariaties veranderen de afmetingen van de spoel, waardoor ook de zelfinductie verandert. De zelfinductie van een spoel verandert nagenoeg evenredig met de verandering van de draadlengte. Indien de spoel zich bij verwarming vrij kan uitzetten, verandert de zelfinductie dus als de lineaire uitzetting van koper en neemt 0,0017% per °C toe. Men kan deze verandering der zelfinductie kleiner houden door de spoel te wikkelen op een koper met een kleine uitzettingscoëfficiënt en de wikkeling zo stevig aan de koper te bevestigen, dat de wikkeling niet kan bewegen ten opzichte van de koper. Met het oog hierop wordt, bij spoelen met kleine zelfinductie, wel eens een



HILVERSUM

Door de grote permeabiliteit kan voor het verkrijgen van een bepaalde zelfinductie worden volstaan met een klein aantal windingen, zodat dus de koperweerstand en de diëlectrische verliezen gering zijn. Wegens de grote soortelijke weerstand van het materiaal van de kern zijn de verliezen in de kern zeer gering. Daarom kan van een spoel met een ferroxcubekern de kwaliteitsfactor Q ook bij hoge frequenties groot zijn (bv. meer dan 100).

De gewoonlijk gebruikte vorm dezer spoelen is aangegeven in fig.4,16.

Een ferroxcubekern bevindt zich in het hart van de spoel. Deze kern en de spoelkoker zijn van een schroefdraad voorzien, zodat de kern meer of minder ver naar binnen kan worden gedraaid. Op deze wijze kan de zelfinductie nauwkeurig worden ingesteld.

Noemt men de relatieve permeabiliteit van het kernmateriaal μ_r , dan wordt de zelfinductie van een spoel μ_r maal zo groot, indien men een gesloten ijzer circuit aanbrengt, zodat de gehele magnetische flux door het ijzer verloopt, zoals bij spoelen voor lage frequenties gebruikelijk is. Brengt men in een dergelijk ijzercircuit een luchtspleet aan, loodrecht op de richting van de magnetische flux of laat men een groot deel van het ijzercircuit weg, zoals in fig. 4,16, dan wordt de zelfinductie kleiner dan met gesloten kern.

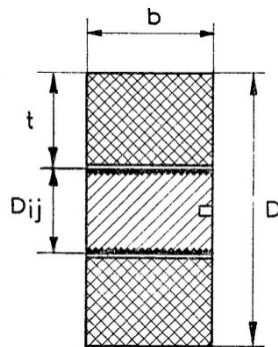


Fig. 4,16. Spoel met ijzern kern voor hoge frequenties.

Bij spoelen van kleine afmetingen zonder ijzern kern, voorzien van afscherm bus, zoals in ontvangers worden gebruikt, maakt men de busdiameter ongeveer ter hoogte van de spoel kleiner door er een ril in aan te brengen (fig. 4,17). Door de ril wordt de zelfinductie een weinig kleiner, afhankelijk van de diepte en de plaats van de ril. Bij de fabricage moet men gewoonlijk een groot aantal spoelen

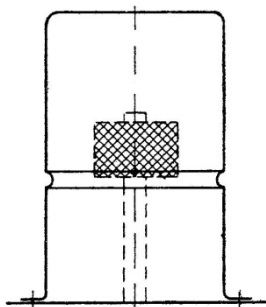


Fig. 4,17. Afscherm bus met ril.

De eigencapaciteit van de spoel wordt door het aanbrengen van een ferromagnetische kern verhoogd. De diëlectrische verliezen van ferroxcube en andere kernmaterialen zijn vrij groot (d.w.z. $\tan \delta$ is groot), zodat de verliezen van een spoel met ferroxcubekern bij hoge frequenties voor een deel diëlectrische verliezen zijn.

4,11 Het instellen der zelfinductie

In vele gevallen is het nodig, de zelfinductie van een spoel nauwkeurig op een bepaalde waarde in te stellen. Het juiste aantal windingen kan bij de fabricage wel worden aangehouden, doch door de onvermijdelijke afwijkingen in de afmetingen van de koker en de draad ontstaan afwijkingen in de zelfinductie. Deze afwijkingen moeten worden gecorrigeerd. Afhankelijk van de constructie van de spoel zijn hiervoor verschillende methoden in gebruik. Vervaardigen met gelijke zelfinducties. Heeft men nu een voldoende aantal bussen, voorzien van rillen op verschillende plaatsen, dan kan men iedere spoel de daarbij passende bus geven.

Indien de spoel een kern van ferro-magnetische materiaal bezit, stelt men de zelfinductie in door deze kern meer of minder ver in de spoel te draaien. Daartoe bezit de bus een kleine ronde opening, tegenover de zaagsnede in de kern. Voor een nauwkeurige instelling is het raadzaam geen ijzeren schroevendraaier te gebruiken, doch een van niet-magnetisch, niet-geleidend materiaal.

Bij grote spoelen, zoals in zenders worden gebruikt en die bestaan uit dik blank koperdraad of holle koperen buis, kan de zelfinductie worden ingesteld met aan een draaibare arm A bevestigd glijcontact G (fig. 4,18). De aansluitingen van de spoel zijn bij het uiteinde P en de as Q.

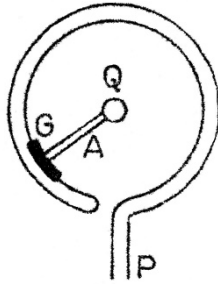


Fig. 4,18. Spoel met glijcontact.

In de figuur is een spoel van slechts een winding getekend. Het aantal windingen kan natuurlijk groter zijn.

Een andere, bij zenders toegepaste methode, maakt gebruik van een variometer. Dit is een samenstel van twee in serie geschakelde spoelen, waarvan de een binnen de ander kan draaien. Is de onderlinge stand der spoelen zo, dat de stromen in beide in dezelfde richting vloeien, dan is de zelfinductie maximaal. Wordt de ene spoel ten opzichte van de andere gedraaid, dan neemt de zelfinductie af, tot deze na een draaiing over 180° minimaal is geworden.

4.12. Spoelen en transformatoren voor lage frequenties

Spoelen en transformatoren voor lage frequenties bezitten vrijwel steeds een gesloten ijzerkern. Aan het al of niet aanwezig zijn van een gesloten ijzerkern herkennen we terstond of de spoel of transformator voor hoge of voor lage frequenties is bestemd. Daar de reactantie van de spoel ωL is, moet, om een grote reactantie te verkrijgen, bij lage frequenties (d.w.z. ω klein) de zelfinductie L groot zijn. Deze grote zelfinductie kan praktisch alleen worden verkregen door een ijzerkern aan te brengen.

In de radiotechniek worden spoelen gebruikt in het afvlakfilter van het voedingsapparaat voor zenders en ontvangers. Het doel van deze filters is, de wisselstroomcomponent van de geleverde stroom en spanning klein te houden; vandaar de naam smoorspoelen. De frequentie van deze wisselstroomcomponent is 50 Hz (bij enkelfasige gelijkrichting) of 100 Hz (bij dubbelfasige gelijkrichting). Bij zesfasige gelijkrichting, zoals bij zenders soms wordt toegepast, is de frequentie 300 Hz (mits het zesfasensysteem symmetrisch is, d.w.z. dat alle fasen een even grote spanning leveren). Een dergelijke smoorspoel behoeft dus slechts voor een frequentie een grote impedantie te geven.

In enkele gevallen worden spoelen gebruikt in laagfrequentversterkers, nl. als impedantie in de anodeketen van een versterkerbuis. Een dergelijke spoel moet een grote impedantie bezitten in het gehele frequentiegebied, dat moet worden versterkt. In een versterker, die gebruikt wordt bij het weergeven van spraak of muziek, dus ook in een omroepontvanger, behoort, de impedantie groot te zijn in het gehele gebied van ongeveer 50 Hz tot ongeveer 10000 of 15000 Hz.

Bij vele andere gebieden van de elektronica en de telecommunicatie worden spoelen met gesloten ijzerkern gebruikt, bv. in de filters bij de draaggolftelefonie. Deze spoelen bespreken we nu nog niet; deze komen bij de betreffende onderwerpen ter sprake.

Te maken opgaven MO No. 83 t/m 86.
Oplossingen inleveren.



Transformatoren voor lage frequenties bezitten eveneens een gesloten ijzerkern, om dezelfde reden als voor spoelen aangegeven. We gebruiken transformatoren in het voedingsgedeelte van zenders en ontvangers, voedingstransformatoren genoemd; tussen de eindbuis van een ontvanger en de luidspreker of een ander weergeefapparaat, luidsprekertransformator of uitgangstransformator genoemd; tussen twee delen van een schakeling, die wel magnetisch met elkaar gekoppeld moeten zijn, zodat een spanning of stroom in het ene deel een spanning of stroom in het andere deel tot gevolg moet hebben, maar waarbij de beide gedeelten overigens elektrisch van elkaar gescheiden zijn; deze transformatoren worden scheidingstransformatoren genoemd. Transformatoren, die dienst moeten doen voor het hele hoorbare frequentiegebied, bv. van 50 tot 10000 of 15000 Hz vatten we samen onder de naam audiotransformatoren. De transformatoren, die in de sterkstroomtechniek worden gebruikt, laten we hier buiten beschouwing.

4.13. Voedingstransformatoren

Een transformator voor lage frequenties bestaat in principe uit een ijzeren kern, waaromheen twee wikkelingen zijn aangebracht, nl. de primaire wikkeling, die op het net wordt aangesloten, en de secundaire wikkeling, die de gewenste spanning (dus ook de gewenste stroom en het gewenste vermogen) levert en waaraan de belastingsimpedantie wordt aangesloten.

Een voedingstransformator voor een ontvanger bezit gewoonlijk vier afzonderlijke wikkelingen. De primaire wikkeling wordt op het net aangesloten. De secundaire wikkeling levert een wisselspanning, die na gelijkrichting de gelijkspanning levert voor de voeding van de anode- en schermroosterketens der buizen. Deze gelijkspanning is gewoonlijk 200 tot 250 V. Gewoonlijk wordt tweefasige gelijkrichting toegepast. Dan wordt de secundaire wikkeling van een middenaftakking voorzien. De gloeidraden der buizen moeten worden verhit met behulp van een spanning van 6,3 V voor de meeste moderne buizen (vroeger gewoonlijk 4 V). Daartoe is de derde of tertiaire wikkeling op de transformator aangebracht, die deze spanning levert. De gloeidraad van de gelijkrichtbuis moet elektrisch gescheiden zijn van de gloeidraden der overige buizen, daar er een hoge gelijkspanning tussen optreedt. Ook al zou de vereiste gloeispanning van de gelijkrichtbuis eenzelfde zijn als die van de andere buizen, dan zou de gloeidraad van de gelijkrichtbuis niet aan dezelfde transformatorwikkeling kunnen worden aangesloten. Daarom is op de voedingstransformator een vierde of quartaire wikkeling aangebracht, waaraan de gloeidraad van de gelijkrichtbuis wordt aangesloten. Bij de voeding van zenders worden, althans voor de voeding van de grote eindbuizen, afzonderlijke transformatoren gebruikt, ieder met een secundaire wikkeling, inplaats van een transformator met drie secundaire wikkelingen.

In verschillende plaatsen is de netspanning verschillend; in de meeste plaatsen is deze spanning 220 V, doch er zijn plaatsen, waar de netspanning lager is. Om de transformator en dus ook de ontvanger, overal te kunnen gebruiken, wordt de primaire wikkeling voorzien van een aantal aftakkingen; voor verschillende spanningen wordt het net aan verschillende aftakkingen aangesloten, zodat de aan de secundaire, tertiaire en quartaire wikkeling optredende spanningen in alle gevallen ongeveer gelijk zijn. Dit omschakelen geschiedt met de aan de achterzijde van de meeste omroepontvangers bereikbare spanningscarrousel. Deze bestaat uit twee schijven van isolatiemateriaal, de ene voorzien van contactbussen, de andere van in de bussen passende pennen (fig. 4,19).

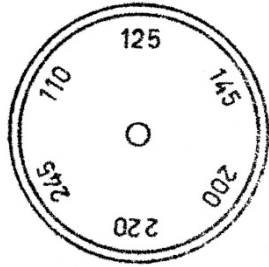


Fig. 4,19. Spanningscarousel.

Om de ontvanger voor de juiste spanning in te stellen wordt de zichtbare schijf naar voren getrokken, gedraaid tot de juiste spanning boven staat en vervolgens weer ingedrukt. Bij het eerst in gebruik nemen van een ontvanger is het noodzakelijk, eerst te controleren of de carousel in de juiste stand staat. Staat deze voor een te hoge spanning ingesteld, dan worden de secundaire spanningen te laag en levert het apparaat niet de gewenste prestaties.

Is de carousel voor een te lage netspanning ingesteld, dus is de netspanning hoger dan de carousel aangeeft, dan worden de secundaire spanningen te hoog en bestaat de kans dat van alle buizen de gloeidraden doorbranden.

De wikkelingen moeten zodanig op de kern worden aangebracht, dat geen onderlinge sluiting of sluiting met de kern kan optreden. Aan de isolatie moet dus grote zorg worden besteed. Bij massafabricage van transformatoren voor omroepontvangers is het van belang, kern en spoelen zo te construeren, dat de spoel op eenvoudige wijze op de kern kan worden aangebracht.

4.14. Constructie van voedingstransformatoren.

Bij de constructie van voedingstransformatoren volgt men in hoofdzaak dezelfde richtlijnen als bij de transformatoren die in de sterkstroom worden gebruikt. We beperken ons voorlopig tot de voedingstransformatoren voor ontvangers.

a. De kern

De kern wordt opgebouwd uit transformatorblik. Een massieve kern zou te grote wervelstroomverliezen veroorzaken. De hysteresisverliezen zijn bij een massieve kern dezelfde als bij een gelamelleerde (d.i. uit blikken opgebouwde) kern. Al deze ijzerverliezen zijn afhankelijk van de optredende magnetische inductie B . Hoe groter de doorsnede van de kern is, des te kleiner kan B zijn en naarmate het aantal windingen groter gekozen wordt, kan eveneens de inductie kleiner uitvallen. Met een groot aantal windingen bereiken we in de 1^o plaats dat de nullaststroom, welke de transformator opneemt klein wordt. Laten we de secundaire klemmen open, dan vloeit er primair een nullaststroom $I_0 = U/\omega L_1$. Naarmate L_1 groot is, wordt I_0 dus kleiner. Om L_1 groot te maken is een groot aantal windingen nodig. Verder is voor het bereiken van een bepaalde geïnduceerde spanning bij een groot aantal windingen, een kleinere B nodig dan indien het aantal windingen klein is.

Om te voorkomen, dat, voor het verkrijgen van een bepaalde spanning de inductie zo groot moet worden dat er verzadiging optreedt, moet een voldoende groot aantal windingen worden gekozen.

Te maken opgaven MO No. 87 t/m 90.
Oplossingen inleveren.



Indien de transformator wordt belast, d.w.z. indien aan de secundaire klemmen een impedantie wordt aangesloten, vloeit er een stroom door de secundaire wikkeling en wordt bij een goed geconstrueerde transformator de primaire stroom veel groter dan de nullaststroom I_0 .

De stromen die door de wikkelingen vloeien, ontwikkelen in deze windingen warmte. Om deze warmte-ontwikkeling, die men de koperverliezen van de transformator noemt, klein te houden moet de weerstand der wikkelingen klein zijn, dus de draad dik. Bij dikkere draad wordt de transformator echter groter en duurder. De ijzer- en koperverliezen verwarmen de transformator. De warmte wordt door het oppervlak van de transformator uitgestraald.

Er stelt zich een evenwichtstoestand in, waarbij per seconde evenveel warmte door het oppervlak van de transformator wordt uitgestraald als er ten gevolge van de ijzer- en koperverliezen wordt ontwikkeld. Behalve van de grootte van het oppervlak van de transformator hangt de afgegeven hoeveelheid warmte nog af van de plaats van de transformator in het apparaat, d.w.z. of de afkoelende lucht er al of niet gemakkelijk omheen kan stromen.

Bij een gegeven transformator hangen de ijzerverliezen bij benadering af van de spanning en de koperverliezen van de stroom, de verwarming hangt dus af van het geleverde vermogen. Het vermogen dat een transformator kan leveren, wordt dus bepaald door de toelaatbare temperatuur en de mate, waarin de ontwikkelde warmte kan worden afgevoerd.

Voor de kern neemt men gegloeid dynamoblik of blik van siliciumijzer (2 tot 4% silicium). Hierbij is de hysteresislus smal, dus zijn de hysteresisverliezen klein (de hysteresisverliezen zijn evenredig met het oppervlak van de hysteresislus). De dikte der plaatjes neemt men 0,35 tot 0,5 mm. Hoe dunner de plaatjes, des te kleiner zijn de wervelstroomverliezen. De isolatie tussen de plaatjes kan op twee manieren worden verkregen: 1^e door gegloeid blik te gebruiken; gegloeid blik bezit aan de oppervlakte een oxidehuidje, dat als isolatie dienst doet; 2^e door gebruik te maken van blik, dat aan een zijde met dun papier is beplakt. Daar gegloeid blik kleinere hysteresisverliezen geeft dan ongegloeid blik, wordt tegenwoordig hoofdzakelijk gegloeid dynamoblik als kernmateriaal gebruikt.

De wikkeling wordt op een spoelkoker van isolatiemateriaal, gewoonlijk perskarton aangebracht. Daarna worden de blikken er in gestoken. De vorm der blikken is zo, dat dit insteken gemakkelijk kan geschieden.

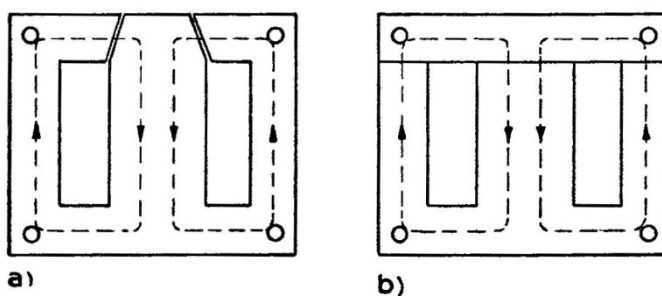


Fig. 4,20. a: mantelblik b: E- en I- blik.

In fig. 4,20 zijn de beide gebruikelijke vormen aangegeven.

Bij mantelblik (fig. 4,20 a) bestaat ieder blik uit een stuk, met twee sneden er in. Bij het inbrengen wordt het blik uitgebogen en het middenbeen door de spoelkoker gestoken. Daarna wordt het blik weer rechtgebogen. Wanneer men echter gegloeid blik ombuigt, verliest het gedeeltelijk zijn gunstige eigenschappen; de hysteresisverliezen nemen door dit buigen weer toe. Daaruit volgt, dat men

mantelblik niet uit gegloeid blik vervaardigd en tevens, dat mantelblik met papier beplakt moet zijn ter onderlinge isolatie, daar het oxidehuidje hier ontbreekt.

Bij het gebruik van het zg. E- en I-blik (fig. 4,20 b) worden de E-blikken om en om in de spoelkoker geschoven, waarna de I-blikken er tussen geschoven worden, zoals fig. 4,21 aangeeft. Het insteken der blikken gaat hierbij gemakkelijker dan bij mantelblik, terwijl bovendien de blikken niet behoeven te worden gebogen. Er kan dus gegloeid blik worden gebruikt, dat niet met papier behoeft te worden beplakt, daar het oxidehuidje de isolatie geeft.

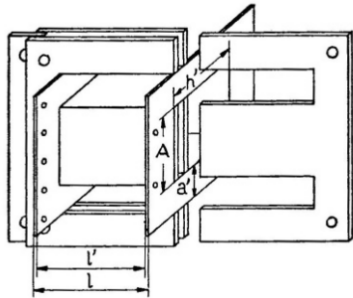


Fig. 4,21. Spoelkoker met enkele ingestoken blikken

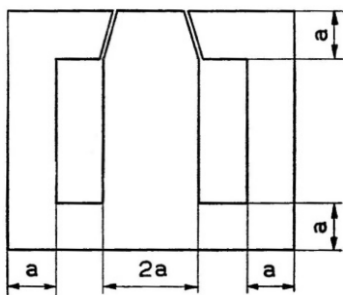


Fig. 4,22. Afmetingen van mantelblik.

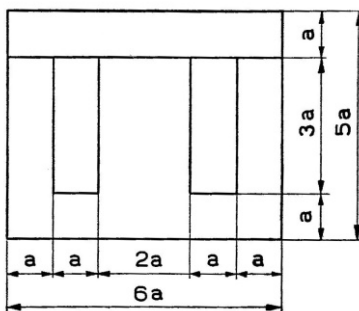


Fig. 4,23. Afmetingen van E- en I-blik.

De blikken worden uit een plaat gestampt. Bij mantelblik wordt de plaat tevoren met dun papier beplakt; bij E- en I-blik worden de blikjes na het stampen gegloeid.

Bij het mantelblik (fig. 4,22) wordt het middenbeen tweemaal zo breed gemaakt als de zijbenen en de boven- en onderkant. De doorsnede van de weg van de magnetische flux is voor beide helften van het magnetisch circuit dezelfde, zodat de magnetische inductie vrijwel constant is. De lengte der benen kan onafhankelijk hiervan worden gekozen. Bij het stampen gaat het voor de beide raamopeningen uitgestampte materiaal verloren.

Bij het E- en I-blik kunnen de afmetingen zo worden gekozen, dat bij het stampen geen materiaal verloren gaat (fig.4,23). Bij twee e-blikken worden twee I-blikken van de juiste afmetingen verkregen (fig. 4,24).

Bij beide vormen van het blik vindt de magnetische flux geen geheel gesloten ijzeren weg (zie fig. 4,20, waar de magnetische flux door stippellijnen is aangeduid); bij het mantelblik is er één onderbreking, bij E- en I-blik zijn er twee onderbrekingen. Daardoor wordt de magnetische weerstand groter en eveneens de magnetiseringstroom (de nullaststroom).

De twee delen, die bij het mantelblik bij elkaar komen, zijn steeds bij elkaar passend en zullen elkaar beter raken dan bij E- en I-blik. Door bij E- en I-blik de blikken om-en-om in te vlechten (het eerste E-blik van links in de spoelkoker steken, het tweede van rechts enz.) en na het tussenbrengen der I-blikken het geheel stevig aan te kloppen en samen te persen kan de invloed de onderbrekingen, de zg. stootvoegen, worden verminderd. Op deze wijze kan worden bereikt dat de invloed van de onderbrekingen niet groter is dan een luchtspleet van 0,1 mm.

R.T.

Materialen en onderdelen. Les 22

Nadruk verboden 43



HILVERSUM



Het wikkelen in lagen

Onder het wikkelen in lagen verstaan we de wikkelmethode, waarbij tussen twee opvolgende lagen een isolatie wordt aangebracht. Voor deze isolatie neemt men transformatorpapier, oliepapier of perskarton. De windingen, waartussen een grote spanning optreedt, zijn dan door isolatiemateriaal gescheiden, zodat het bezwaar, dat wild wikkelen oplevert, is ondervangen.

Hoe dikker de draad, des te dikker neemt men de isolerende laag, om voor de volgende laag een voldoende glad ondervlak te verkrijgen. Gewoonlijk neemt men:

Bij een draaddiameter van 0,1 mm	1 laag transformatorpapier	10 μ dik
“ “ “ 0,1 tot 0,35 mm	1 “ “	30 μ “
“ “ “ 0,35 tot 1 mm	1 laag perskarton	0,1 mm dik
“ “ “ 1 tot 2 mm	1 “ “	0,2 mm “

Als de spanning tussen de uiterste windingen van twee opvolgende lagen meer dan 100 V bedraagt, neemt men bij transformatorpapier twee lagen. Bij het wikkelen in lagen kan zowel een spoelkoker met als zonder flenzen worden gebruikt. De lengte van de spoelkoker wordt niet geheel bewikkeld; aan beide zijden wordt 4 mm vrijgelaten. De reden hiervan is de volgende:

Wanneer de gehele lengte van de koker zou worden bewikkeld, komen de buitenste windingen van iedere laag op de rand van het isolatiemateriaal te liggen, daar de strook isolatiemateriaal niet breder mag zijn dan de lengte van de koker. Hierdoor is de kans groot, dat gedurende, of na het wikkelen een draad van zijn zijde glijdt en in contact komt met de draad van een daaronder gelegen laag. Ook kan, bij een spoelkoker zonder flenzen, een afglijdende draad worden beschadigd en sluiting met de kern het gevolg zijn. Begint en eindigt men de laag ongeveer 4 mm van de kant van de isolatie, dan treedt afglijden niet meer op. In fig. 4,26 is deze wijze van wikkelen op een koker zonder flenzen aangegeven.

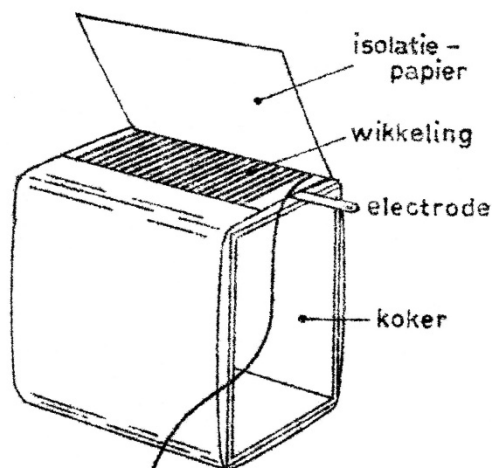


Fig. 4,26. Voorbeeld van het wikkelen in lagen.

zijn. Een oppervlakkige beschouwing zou doen veronderstellen, dat f_k bij wikkelen in lagen veel kleiner is dan bij wild wikkelen. Immers, de gehele breedte van de spoelkoker wordt niet benut, daar aan iedere kant 4 mm onbenut blijft, terwijl tussen de verschillende lagen isolatiemateriaal wordt aangebracht. Toch behoeft f_k bij wikkelen in lagen niet veel kleiner te zijn dan bij wild wikkelen.

Bij wild wikkelen komen de windingen praktisch nooit zo regelmatig te liggen als we zouden wensen.

Men moet steeds de minimum toelaatbare dikte van de isolatie gebruiken, daar anders de kopervulfactor onnodig wordt verkleind en het moeilijk wordt, de benodigde koperhoeveelheid in de raamopening onder te brengen.

Tussen de verschillende windingen (primaire, secundaire, tertiaire en quataire) wordt een scheidingsisoliatielaag aangebracht van twee lagen perskarton van 0,1 mm dik. Om het geheel wordt een laag plakband gelegd.

Bij het ontwerpen van een transformator is de kopervulfactor f_k een belangrijk getal. Hieronder verstaan we de som van de geleidende doorsnede van alle windingen gedeeld door de raamopening, die door koper wordt gevuld. Hoe groter f_k is, des te kleiner en dus ook goedkoper, kan de transformator

In de eerste paar lagen liggen de windingen wel goed op hun plaats, maar wanneer er eenmaal een kleine onregelmatigheid optreedt, doordat bv. een winding afglijdt of een andere kruist, is de regelmaat verdwenen. Deze onregelmatigheid wordt niet gecorrigeerd, daar de wikkelmachine blijft doordraaien. De onregelmatigheid wordt erger naarmate meer windingen worden aangebracht. Deze onregelmatigheden zijn geen regel, maar komen voor en worden in de hand gewerkt door de vierkante vorm van de spoelkoker, zodat de draad enigszins schoksgewijs wordt gewikkeld. De kopervulfactor f_k kan hierdoor vrij veel uiteenlopen; deze ligt tussen 0,15 en 0,4.

Bij het wikkelen in lagen wordt de draad bij iedere laag wel nauw aansluitend gewikkeld. Wordt de draad bij het wikkelen zo strak mogelijk gehouden, dan wordt f_k zo groot mogelijk. Bij kleine spoelkokers neemt de isolatie een groter deel van de wikkelruimte in dan bij grote spoelkokers. Praktisch bereikt men bij $a = 10$ mm (fig. 4,23) $f_k = 0,2$ en bij $a = 20$ mm: $f_k = 0,3$.

Aan welke spoelkokers, met of zonder flenzen, moet men nu de voorkeur geven? Voor een koker met flenzen is de kopervulfactor iets ongunstiger dan voor een koker zonder flenzen, tengevolge van de materiaaldikte der flenzen. Met het oog op de isolatie van de windingen ten opzichte van de kern is de koker met flenzen beter. Het aanbrengen van de verbindingen met de wikkelingen is bij kokers met flenzen iets eenvoudiger, omdat men in de flenzen contactogen kan aanbrengen. Een koker zonder flenzen is goedkoper dan een koker met flenzen.

Er bestaan dus geen uitgesproken voordelen van de ene vorm ten opzichte van de andere. Bij het ontwerp van een transformator voor een bepaald doel zullen de kleine voor- en nadelen dan ook tegen elkaar moeten worden afgewogen.

d. De volgorde der wikkelingen

De volgorde van de verschillende wikkelingen van een voedingstransformator voor een radio-ontvanger is niet willekeurig. Men begint gewoonlijk met de tertiaire wikkeling (d.i. die voor voeding van de gloeidraad van de gelijkrichtbuis) op de spoelkoker te leggen. Daarna volgt, gescheiden door een dubbele laag perskarton van 0,1 mm dikte, de dubbele secundaire wikkeling met middenaftakking (voor de anodespanning der buizen). In het midden van deze secundaire wikkeling wordt de temperatuurzekering aangebracht. Deze bevat een smeltpatroon, bestaande uit een soldeer met een laag smeltpunt (ca. 90 °C). Bij kortsluiting van de secundaire wikkeling of bij te grote stroom, stijgt de temperatuur van de transformator en smelt de patroon door voor de transformator is beschadigd. Daardoor wordt de keten verbroken.

Na de secundaire wikkeling volgt, weer gescheiden door een laag isolatiemateriaal, de quartaire wikkeling (voor de voeding van de gloeidraden der buizen) en tenslotte de primaire wikkeling (die op het net wordt aangesloten), met eventueel de nodige aftakkingen voor verschillende netspanningen.

Het voornaamste punt in deze volgorde der wikkelingen is de plaats van de quartaire wikkeling. Deze bevindt zich tussen de primaire en de secundaire wikkeling en doet dienst als afscherming tussen het net en de secundaire wikkeling. Wanneer men een zijde van de quartaire wikkeling aardt, zoals meestal in een ontvanger geschiedt, heeft men een geaard scherm tussen het net enerzijds en de secundaire en tertiaire wikkeling anderzijds. Daardoor wordt de invloed van storingen, die over het net de ontvanger zouden kunnen bereiken, sterk verminderd. Bij de bespreking van deze storingen komen we hierop terug.

Te maken opgaven MO no. 99 t/m 103.
Oplossingen inleveren.