

CONSTRUCTIE, KOELING EN BEVEILIGING VAN TRANSFORMATOREN

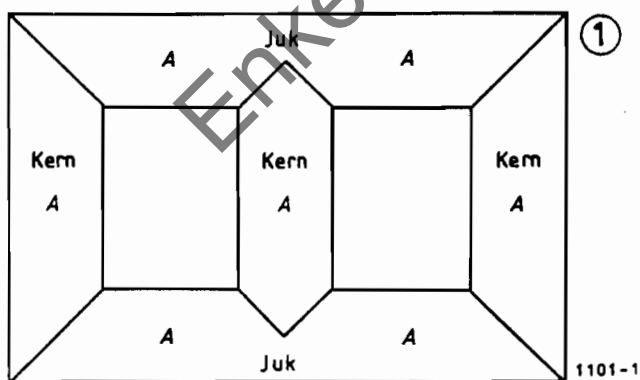
11.1. CONSTRUCTIE VAN DE FERROMAGNETISCHE KRINGEN

Een transformator is in feite samengesteld uit drie hoofddelen, met name de *ferromagnetische kring*, de *wikkelingen* en het *koelsysteem*.

De ferromagnetische kring is opgebouwd uit pakketten van siliciumhoudend plaatstaal. De platen zijn aan beide zijden geïsoleerd met vernis of met een oxydelaagje. Het Si-gehalte varieert van 3 tot 5 % en de magnetische eigenschappen van het staal worden erdoor verbeterd, terwijl de resistiviteit ervan toeneemt.

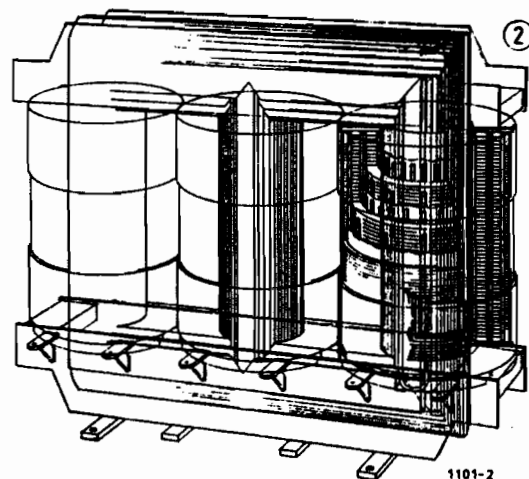
Het *koudgewalst transformatorblik*, met een dikte van 0,3 tot 0,5 mm, vertoont slechts weinig hysteresis- en foucaultverliezen en heeft een ongeveer rechthoekige hysteresislus.

In de moderne elektrotechniek gebruikt men praktisch uitsluitend silicium-stalen platen met gerichte of georiënteerde kristallen. Hierbij moet ervoor worden gezorgd dat de magnetische krachtlijnen in de walsrichting van de platen verlopen, omdat de magnetische eigenschappen in deze richting het meest gunstig zijn. Daarom is het noodzakelijk de ferromagnetische kring op een speciale wijze samen te stellen (zie afb.11.01).



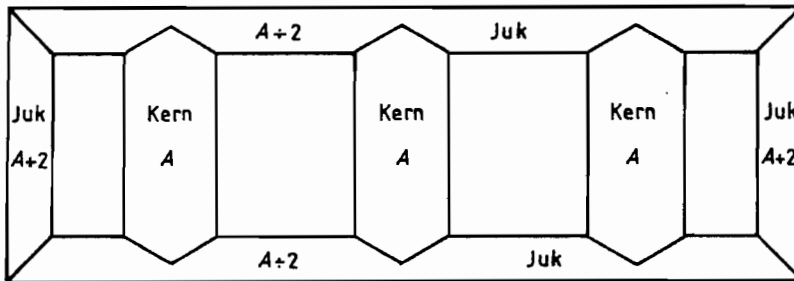
Afb. 11.01.

Magnetische kring voor
driefasen kerntransfor-
mator (ASEA).



Deze platen bevatten gewoonlijk 3 tot 3,50 % Si en de ijzerverliezen ervan zijn zeer gering (bv. slechts 0,60 W/kg bij 1,50 Wb/m² en bij 50 Hz).

Wat de vorm van de ferromagnetische kring betreft kunnen, zowel de eenfase als de driefasen transformatoren worden uitgevoerd volgens het *kerntype* (zie afb.11.01) en volgens het *manteltype* (zie afb.11.02).

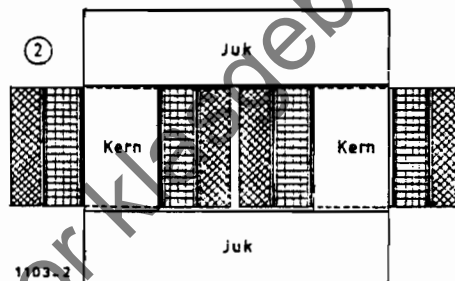
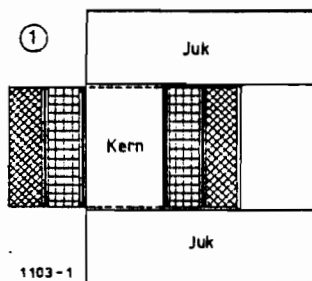


Afb.11.02.

Ferromagnetische kring volgens het manteltype, voor driefasen transfo.

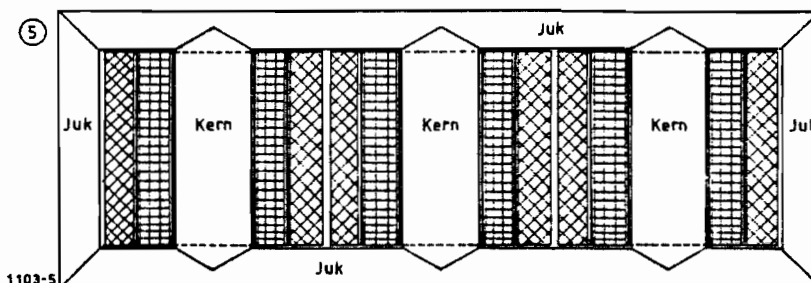
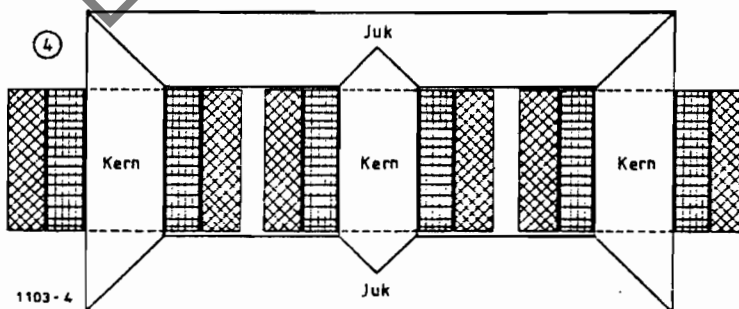
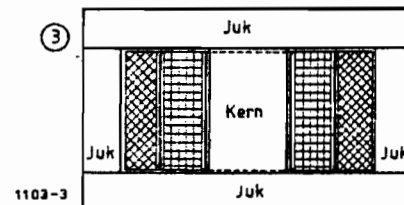
De kernen zijn die delen van de ferromagnetische kring waarrond de wikkelingen zijn aangebracht. Deze kernen staan magnetisch met elkaar in verbinding via de *sluitstukken* of *jukken*.

In afb.11.03 zijn een aantal eenfase en driefasen transformatoren voorgesteld. We zien er eenfase kerntransformatoren, eenfase manteltransformatoren, driefasen kerntransformatoren en driefasen manteltransformatoren.



Afb.11.03.

Eenfase en driefasen kern- en manteltransformatoren.



De constructie volgens het kerntype, zoals voorgesteld in afb.11.03-1, is eenvoudig en minder duur, maar de lekfluxen erin zijn groot en het rendement van de trafo relatief klein. Alleen voor heel kleine transformatoren wordt deze constructiewijze nog wel gebruikt. De constructie volgens afb.11.03-2 is heel wat beter, maar ook merkkelijk duurder. De primaire en secundaire wikkelingen zijn hierbij in twee gelijke delen verdeeld. Deze twee delen zijn aangebracht rond de twee kernen en daarna in serie geschakeld. Maar meestal zijn de eenfase transformatoren geconstrueerd volgens het manteltype, zoals voorgesteld in afb.11.03-3. De dwarsdoorsnede van de kern is hierbij gelijk aan de totale dwarsdoorsnede van de twee zijdelingse jukken, d.w.z. dat de dwarssectie van één zijdelings juk 50 % is van de dwarssectie van de kern. De flux verdeelt zich immers in twee gelijke delen over de twee jukken.

In afb.11.03-4 zien we de voorstelling van een *driefasen kerntransformator*, ook wel *driefasen driebeugige transformator* genoemd. De drie kernen hebben hier natuurlijk dezelfde doorsnede.

Moderne driefasen transformatoren van groot vermogen worden echter geconstrueerd volgens het manteltype, d.w.z. volgens het *vijsbenig type* (zie afb.11.03-5). Er zijn drie kernen en twee zijdelingse jukken te zien. De doorsnede van de zijdelingse jukken is ook hier slechts 50 % van de doorsnede van de kernen.

In afb.11.04 is de ferromagnetische kring van een driefasen vijsbenige of manteltransformator voorgesteld. We zien hier duidelijk het verschil in doorsnede van kern en juk.

Afb.11.04.

Ferromagnetische kring
van een driefasen
vijsbenige mantel-
transformator (ASEA).



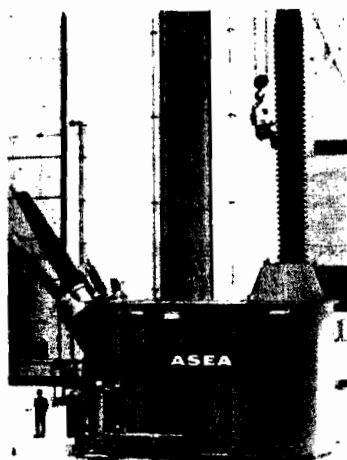
In de moderne elektro-energietechniek worden driefasen transformatoren van zeer groot vermogen wel uitgevoerd als drie eenfase transformatoren en er wordt dan een vierde eenheid in reserve gehouden. Dikwijls worden hiervoor eenfase autotransformatoren of eenfase spaartransformatoren gebruikt (zie hoofdstuk 13).

Er werden aldus reeds transformatoren geconstrueerd van 1000 MVA, met een spanningsverhouding van 1500 kV/700 kV, voor een totaal driefasen vermogen van 3000 MVA (zie afb.11.05).

In transformatoren van klein vermogen worden de kernen met vierkante of rechthoekige dwarsdoorsnede uitgevoerd.

Maar voor transformatoren van groot en zeer groot vermogen heeft de sectie de vorm van een trappenveelhoek (afb.11.06).

In verband met een betere koeling wordt de kern in pakketten verdeeld met ertussen kanalen voor de koelvloeistof. Deze wijze van constructie wordt toegepast als de diameter van de kern meer dan 35 cm is (afb.11.07).

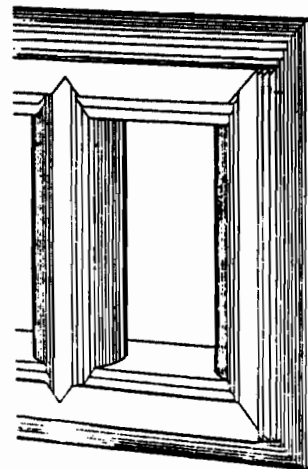


Afb.11.05.

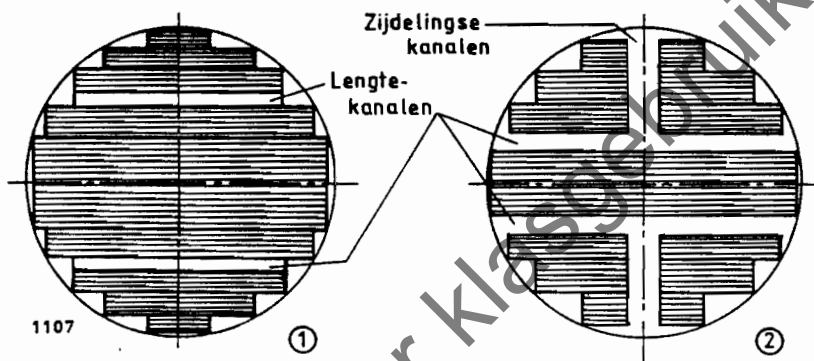
Eenfase autotransfo van
1000 MVA, voor 1500 kV/
700 kV (ASEA).

Afb.11.06.

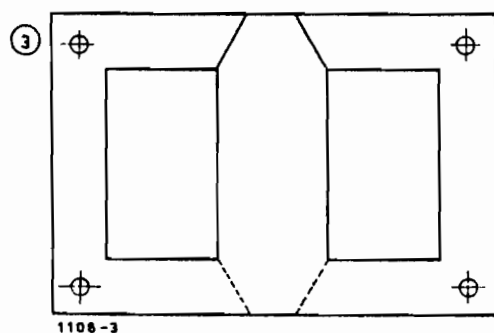
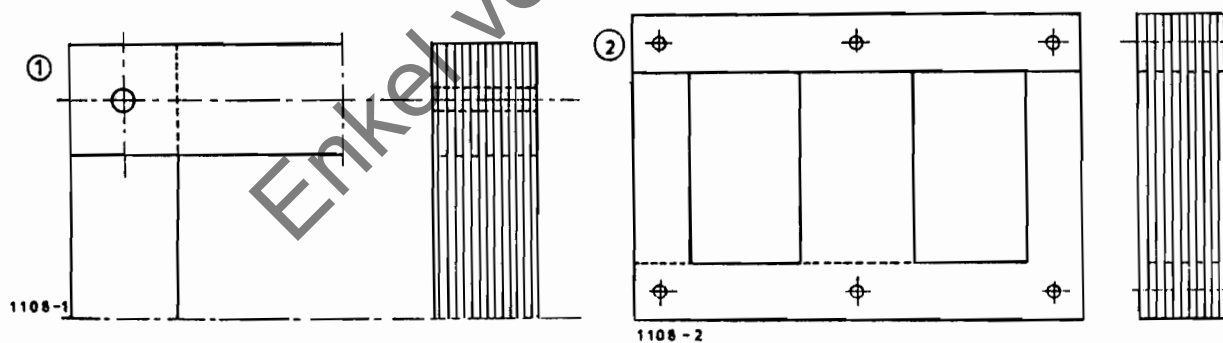
Kernen van een driefasen
transformator, uitgevoerd
als trappenveelhoek (ASEA).



1105



Afb.11.07. Transformator-kernen met kanalen voor de koelvloeistof.



1108-3

Afb.11.08.

Diverse vormen van transformator-
blik voor de samenstelling van de
ferromagnetische kring van trans-
formatoren van klein vermogen.

De gehele ferromagnetische kring wordt samengesteld met overlappende voegen (zie afb.11.08).

In moderne constructies worden ook wel *gewikkelde ferromagnetische kringen* toegepast. Men gebruikt hiervoor *koudgewalste en geïsoleerde stalen banden* van Si-houdend transformatorblik met *gerichte kristallen*. In afb.11.09 zijn een aantal ferromagnetische kringen voorgesteld welke zijn samengesteld uit twee U-vormige delen van staal met gerichte kristallen, terwijl we hier tevens een eenfase experimenteertransformator zien die opgebouwd is met soortgelijke ferromagnetische kring.

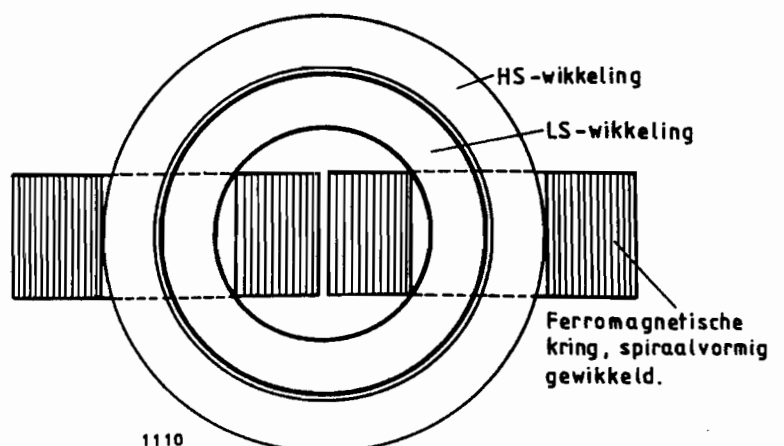


Afb.11.09. Ferromagnetische kringen in twee U-vormige delen van staal met gerichte kristallen (ISOLECTRA) en eenfase experimenteertransformator met een soortgelijke ferromagnetische kring (TECHNOWA).

Met *gewikkelde kernen* worden momenteel reeds eenfase transformatoren gebouwd voor vermogens van 500 kVA en zelfs hoger. Meestal worden *concentrische cilindervormige* wikkelingen toegepast (afb.11.10).

Afb.11.10.

Ferromagnetische kringen, samengesteld uit *spiraalvormig gewikkelde siliciumhoudende staalband* met *georiënteerde kristallen*.



11.2. CONSTRUCTIE VAN DE WIKKELINGEN

Bij de constructie van transformatoren maakt men een onderscheid tussen *concentrische* of *cilindrische* wikkelingen en *schijfwikkelingen* of *laagwikkelingen*. Voorbeelden ervan zijn voorgesteld in afb.11.03.

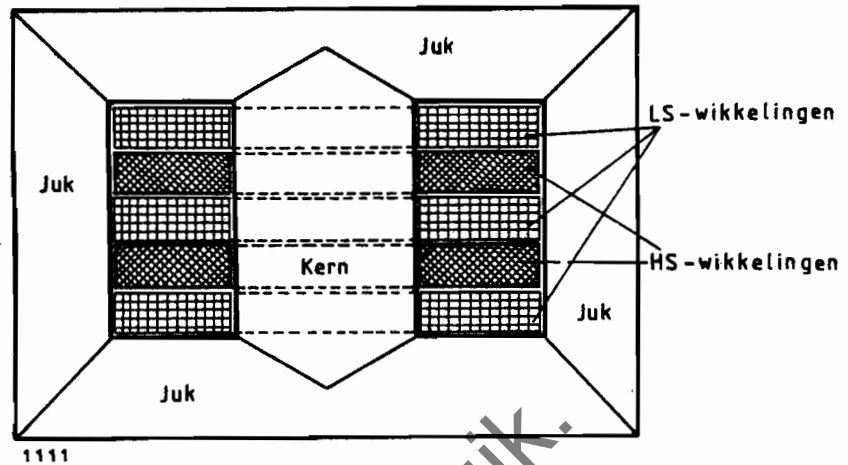
De LS-wikkeling bevindt zich gewoonlijk direct rond de kern en hier-over-heen

is de HS-wikkeling aangebracht.

Ook kunnen, bij *schijfwikkelingen*, afwisselend LS- en HS-wikkelerelementen boven elkaar rond de kern worden aangebracht (zie afb.11.11).

Afb.11.11.

Eenfasemanteltransfo,
met afwisselend LS- en
HS-schijfwikkelingen
boven elkaar rond de
kern.



Als de doorsnede van de wikkeldraad niet groter is dan 10 mm^2 , wordt de cilinderwikkeling in meerdere concentrische lagen met ronde draad gewikkeld. Voor grotere secties maakt men gebruik van wikkeldraad met rechthoekige doorsnede.

In transformatoren van groot vermogen, die grote stromen moeten leveren, worden meerdere geleiders parallel geschakeld (bv. 6 tot 20) en schroefvormig gewikkeld. Om te zorgen voor een gelijkmatige verdeling van de stroomsterkten in de diverse parallelle takken past men een *transpositie* toe van de verschillende geleiders. Op deze wijze bevindt eenzelfde schroefvormige winding zich afwisselend op verschillende diameters, zodat de lengte van alle geleiders van de parallelle takken gelijk zijn.

In verband met een goede koeling worden windingen van transformatoren van groot vermogen niet vast tegen elkaar gelegd. Er worden tussenruimten open gelaten om een goede oliecirculatie te bevorderen.

In afb.11.12 zien we duidelijk de HS-wikkeling van een driefasen transformator van het kerntype voor een vermogen van 5 MVA.

Het is duidelijk dat hoge eisen worden gesteld aan de isolatie van de windingen en wikkelingen, onderling en t.o.v. de metalen delen van de transfo. Vooral voor de transformatoren met spanningen van 220 kV, 380 kV, 500 kV, 700 kV en 1500 kV.

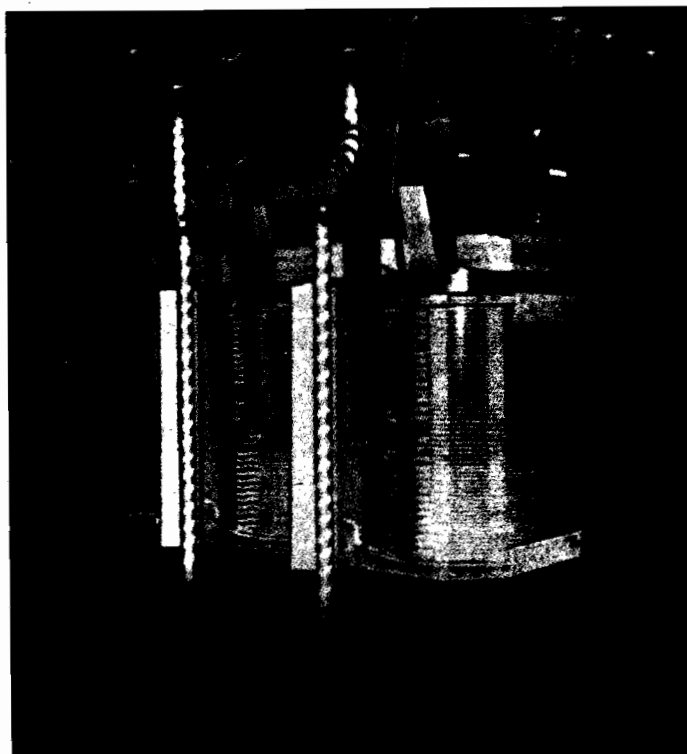
Moderne *nettransformatoren* worden veelal uitgevoerd met *compacte wikkelingsblokken* met *gietharsisolatie*. Iedere wikkelingsblok bevat een HS- en een LS-wikkeling. Dit type transfo wordt gebouwd voor spanningen van 3 tot 24 kV primair en 380 V secundair en voor vermogens tot 2500 kVA.

De *energietransformator met gietharsisolatie* biedt vele voordelen :

- ongevoeligheid voor vocht ;
- weinig brandgevaar (giethars is *zelfdovend* en er wordt, voor transformatoren van groot vermogen, het *niet brandbare ASKAREL* als koelvloeistof gebruikt i.p.v. brandbare olie) ;
- kleine afmetingen ;

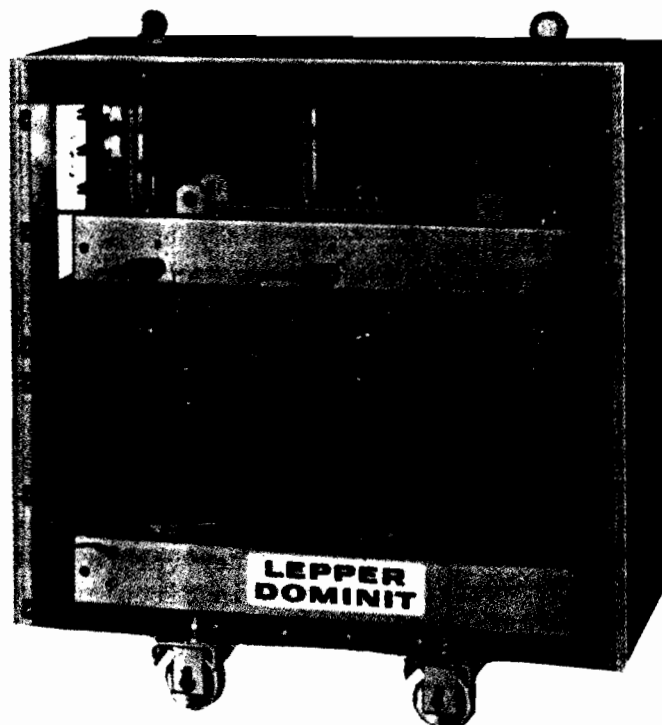
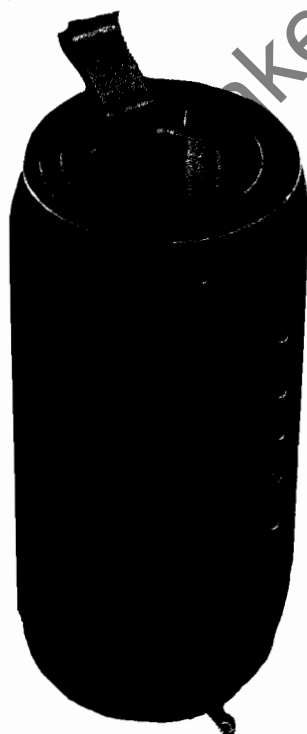
Afb.11.12.

Driefasen kerntransfo van 5000 kVA of 5 MVA, waarin duidelijk zichtbaar de HS-wikkelingen (MERLIN-GERIN).



- weinig onderhoud ;
- eenvoudige opstelling en aansluiting ;
- laag lawaainiveau ;
- hoge kortsluitvastheid ;
- beperkte vermogenverliezen bij nullast ;

In afb.11.13 zien we een wikkelingsblok met gietharsisolatie en de praktische uitvoering van een driefasen nettransformator van het kerntype met gietharsisolatie.



Afb.11.13. Wikkelingsblok en nettransformator met gietharsisolatie (DOMINIT).

11.3. KOELING VAN TRANSFORMATOREN

In transformatoren wordt *warmte* ontwikkeld door *joule-effect*, door *hysteresisverliezen* en door *foucaultstromen*.

Tengevolge hiervan *stijgt de temperatuur* van de transfo geleidelijk tot een *bepaalde evenwichtswaarde* die wordt bereikt op het ogenblik dat de *ontwikkelde hoeveelheid warmte* gelijk is aan de *afgevoerde hoeveelheid warmte* in hetzelfde tijdsinterval.

Deze *bedrijfstemperatuur* mag niet hoger zijn dan een *bepaalde maximale waarde* (bv. 95°C).

Naarmate de *toelaatbare bedrijfstemperatuur* hoger wordt gekozen zal de *levensduur* van de transformator kleiner worden, dit tengevolge van een *vluigere veroudering* van de *isolatiematerialen*, d.w.z. een *vluigere vermindering* van de isolerende eigenschappen.

Maar een hogere toegelaten bedrijfstemperatuur is wel *gunstig* wat betreft *afmetingen*, *gewicht* en *kostprijs* van de transformator.

De *warmte-ontwikkeling* door *hysteresis* en *foucaultstromen* in de *ferromagnetische kring* van een transfo is *functie van de spanning* (en van de *frequentie*).

De *warmte-ontwikkeling* door *joule-effect* in de *wikkelingen* is *functie van de stromen*.

De *hoeveelheid warmte* die wordt ontwikkeld in een transformator is evenredig met het *gewicht* (dat *natuurlijk functie* is van het *schijnbaar vermogen* in VA, kVA of MVA) en dus met het *volume*, als we ervan uitgaan dat de *magnetische inductie* in de *ferromagnetische kring* en de *stroombichtheid* in de *wikkelingen* constant zijn.

Indien nu de *lineaire afmetingen* van een transformator met een factor " x " toenemen, *stijgt het volume* met een factor " x^3 " en het *afkoelingsoppervlak* slechts met een factor " x^2 ". Dit betekent dat het *afkoelingsoppervlak* voor eenzelfde *hoeveelheid af te voeren warmte* in realiteit kleiner is geworden.

Daarom moeten *maatregelen* worden getroffen om de *koeling* van transformatoren van zeer groot vermogen te *intensiveren* en aan te *passen aan de graad van belasting*.

Transformatoren kunnen worden gekoeld volgens *verschillende methoden* of volgens een *combinatie van verschillende methoden*.

Hierna volgt een vrij uitvoerige bespreking van deze methoden.

11.3.1. LUCHTKOELING

Koeling van transformatoren door de *vrije omringende lucht* kan slechts geschieden voor transformatoren van zeer klein vermogen, bv. voor *beltransformatoren*, *voedingstransformatoren* voor elektronische apparatuur, *veiligheidstransformatoren*, *lastransformatoren* enz.

Voor transformatoren van groter vermogen kan *gedwongen luchtkoeling* worden toegepast, waarbij de *lucht in circulatie* wordt gehouden door middel van *ventilatoren*. Deze manier van *luchtkoeling* is toepasselijk voor transformatoren tot bv. 10 kVA.

11.3.2. VLOEISTOFKOELING

Meestal wordt transformatorolie als koelvloeistof gebruikt. Bij de oliekoeling is de ferromagnetische kring met de wikkelingen in een tank (of bak) geplaatst, welke geheel gevuld is met zeer zuivere minerale olie (d.w. z. transformatorolie met grote diëlektrische constante).

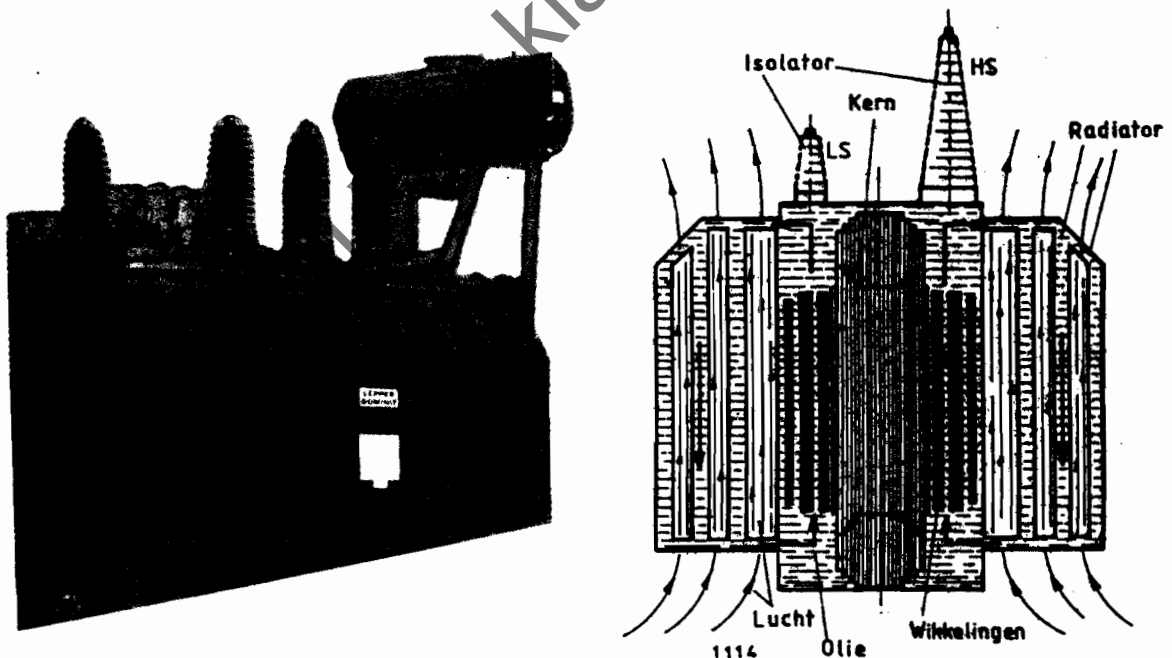
De olie fungeert tegelijkertijd als isolatie- en als koelmiddel.

De in de transformator ontwikkelde warmte-energie wordt door de olie opgenomen en daarna afgestaan aan een uitwendig koelmiddel of koelmedium, bv. lucht of water.

Er zijn vier voorname manieren waarop de afkoeling van de transformatorolie kan gebeuren :

- met natuurlijke luchtkoeling en natuurlijke oliecirculatie doorheen de radiatoren ;
- met gedwongen luchtkoeling en natuurlijke oliecirculatie doorheen de radiatoren ;
- met gedwongen luchtkoeling en gedwongen oliecirculatie doorheen lucht-koelers ;
- met waterkoeling en gedwongen oliecirculatie doorheen waterkoelers.

In volgende afbeeldingen zijn de diverse manieren van koeling duidelijk voorgesteld.



Afb.11.14. Transfo met natuurlijke luchtkoeling en natuurlijke oliecirculatie doorheen de radiatoren (LEPPER-DOMINIT-ASEA).

In het eerste geval (afb.11.14) brengt de olie de ontwikkelde warmte over naar de wand van de transformatorbak, die gekoeld wordt door natuurlijke circulatie van de omringende lucht. Voor transformatoren met een nominaal schijnbaar vermogen tot 20 kVA volstaat een transformatorbak uit effen staalplaat. Maar meestal is de transformatortank uitgevoerd met wanden

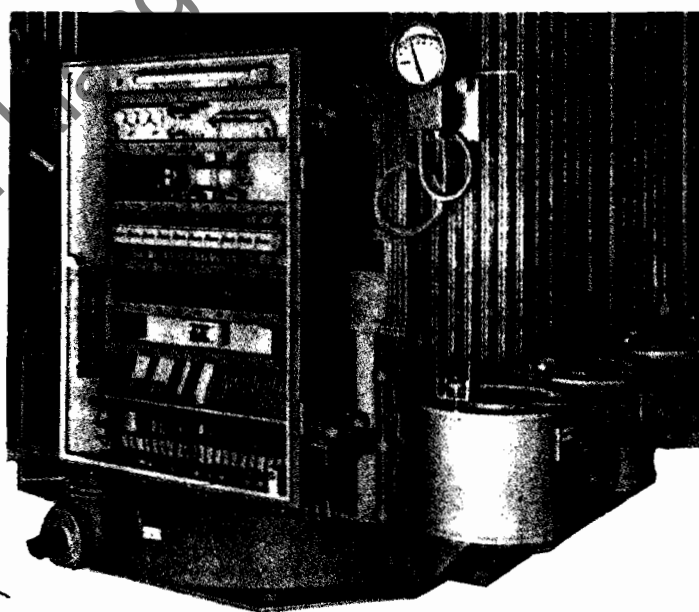
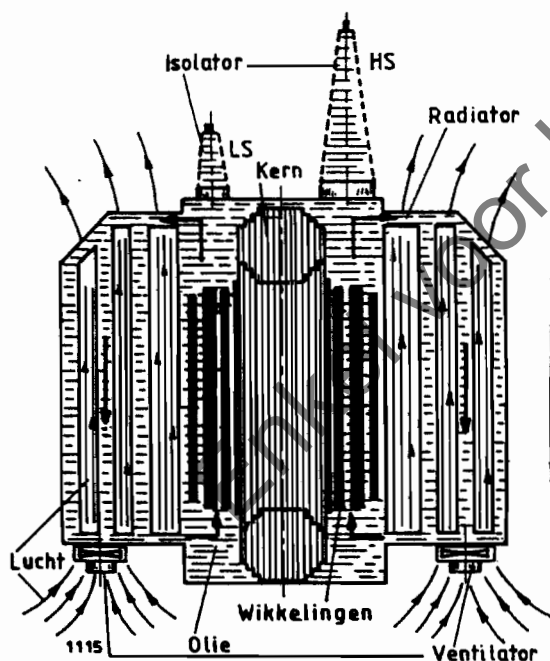
die voorzien zijn van een groot aantal *koelribben*. Hierdoor ontstaat een groter afkoelingsoppervlak of aanrakingsoppervlak met de buitenlucht. Aldus geschiedt de afkoeling beter en sneller. Op deze wijze kunnen transformatoren tot een nominaal vermogen van 2,5 MVA worden geconstrueerd. Voor grotere vermogens, nl. tot ongeveer 40 MVA, is het noodzakelijk zijkoelers te voorzien aan de wanden van de tank. Deze koelers kunnen zijn samengesteld uit een groot aantal afzonderlijke buizen of uit *buisharpen* of uit *aanschroefbare radiatoren*.

Buisharpen zijn opgebouwd uit een reeks buizen die aan de boven- en aan de onder-uiteinden uitmonden in verzamelbuizen welke aan de zijwanden van de transformertank zijn gelast. Dit systeem wordt toegepast voor vermogens tot 10 MVA.

De verzamelbuizen van de koelradiatoren zijn via flenzen en bouten verbonden met de zijwanden van de transformertank.

Op deze wijze zijn er minder problemen bij het transport van de transformator, omdat de radiatoren kunnen worden afgenomen. Bovendien kan, bij een eventueel defect aan een radiator deze eenvoudig worden vervangen.

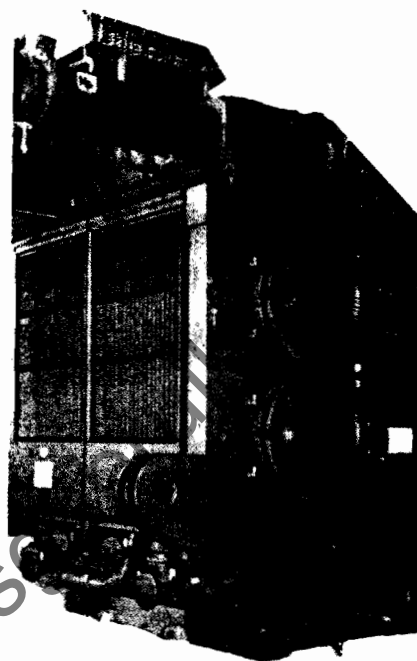
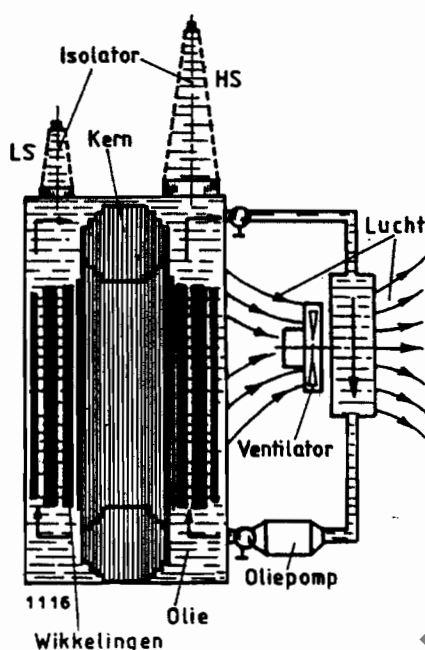
Indien het vermogen van de transformator groter is dan 40 MVA volstaat natuurlijke luchtkoeling van de olie niet meer. Men moet overgaan tot *gedwongen luchtcirculatie*, waarbij ventilatoren de omringende lucht langs de koelelementen van de buisharpen of radiatoren blazen (zie afb.11.15).



Afb.11.15. Transformator met gedwongen luchtkoeling en natuurlijke oliedruk doorheen de radiatoren (LEPPER-DOMINIT-ASEA).

Dank zij de vereiste kleinere afmetingen van het afkoelingsoppervlak wordt deze koelingsmethode reeds toegepast voor vermogens vanaf 20 MVA. Zonder gedwongen luchtcirculatie kunnen deze transformatoren worden belast tot 50 of 70 % van het nominaal vermogen. Het aantal ventilatoren dat wordt ingeschakeld hangt af van de belastingsgraad. De inschakeling van de ventilatoren geschiedt automatisch in functie van de temperatuur van de olie, via een schakeling met contactoren en contactthermometers. Dit is dan een temperatuur-afhankelijke inschakeling. Maar ook bestaat de stroom-afhankelijke inschakeling, waarbij stroomtransformatoren worden toegepast.

Voor transformatoren met een nominaal schijnbaar vermogen tot 300 MVA is de natuurlijke circulatie van de olie niet meer voldoende om de ontwikkelde warmte-energie af te voeren vanuit de kern van de transformator. Daarom wordt gebruik gemaakt van oliepompen die de olie, via een lucht-oliekoeler, doen circuleren in de koelkring (zie afb.11.16).



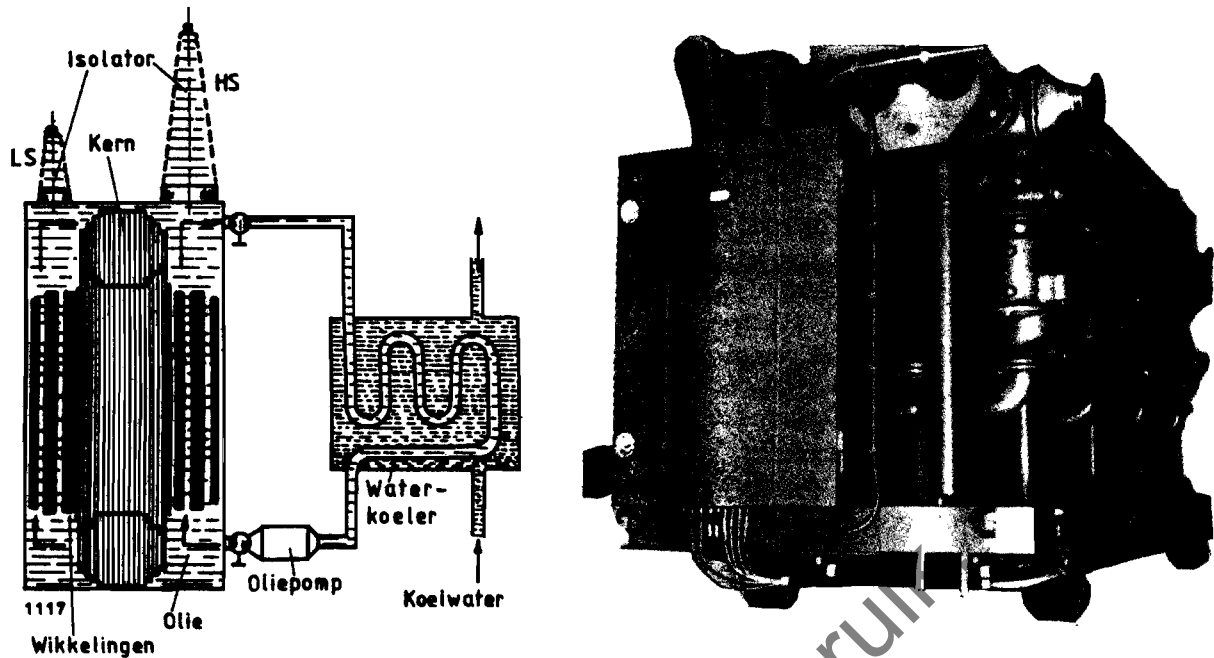
Afb.11.16. Transfo met gedwongen luchtkoeling en gedwongen olie-circulatie doorheen luchtkoelers (LEPPER-DOMINIT-ASEA).

De olie wordt in de lucht-oliekoeler afgekoeld door een gedwongen luchtcirculatie met ventilatoren. De lucht-oliekoelers zijn samengesteld uit een reeks buizen met koelribben. De olie stroomt naar beneden in de buizen en ventilatoren blazen gefilterde koellucht omheen de buizen. Deze lucht-oliekoelers kunnen aan de transformator vast zijn ofwel afzonderlijk worden opgesteld.

Voor transformatoren van zeer groot vermogen (bv. boven de 300 MVA) wordt de transformatorolie met water gekoeld i.p.v. met lucht (zie afb.11.17). Een oliepomp doet de olie circuleren, via een olie-waterkoeler, in de koelkring. De olie-waterkoeler staat afzonderlijk van de transformator opgesteld. Hij is samengesteld uit slangvormige buizen, geplaatst in een tank. De olie stroomt doorheen de buizen en het stromend water in de tank omspoelt deze buizen en koelt aldus de olie.

De druk van het water wordt steeds kleiner gekozen dan de druk van de olie. Op deze wijze kan nooit koelwater in de oliekring terecht komen bij een eventueel defect van een buis.

Deze koelmethode wordt toegepast voor transformatoren van het allergrootste vermogen (bv. 1000 MVA). Maar ook voor transformatoren van veel kleinere vermogens biedt dit koelsysteem vele voordelen, nl. de geweldige reductie van de afmetingen. Zelfs voor vermogens vanaf 2 MVA wordt tegenwoordig waterkoeling van de olie toegepast.



Afb.11.17. Transfo met waterkoeling en gedwongen oliecirculatie doorheen waterkoelers (LEPPER-DOMINIT-ASEA).

OPMERKINGEN

☆ STIKSTOFVULLING

Teneinde oxydatie van de olie aan de lucht te voorkomen wordt tegenwoordig dikwijls stikstof (N_2) aangebracht in de transformatortank boven de olie. Uitzetting van de olie en het stikstofgas, door temperatuurverhoging bij belasting van de transfo, is mogelijk gemaakt door aanbrengen van platte lederen zakken die vrij kunnen uitzetten onder de invloed van de druk van het stikstofgas.

Ook zijn er hermetisch gesloten transformatoren, waarbij de stikstof zich bevindt in een stalen reservoir dat deel uitmaakt van de tank van de transfo.

☆☆ ASKAREL-KOELMEDIUM

In vele gevallen wordt de transformatorolie vervangen door het onbrandbare "askarel", d.w.z. een product dat hoofdzakelijk bestaat uit gechloteerde benzeen (C_6H_6) en difenyl ($C_{12}H_{10}$). Vooral vindt askarel toepassing in distributietransformatoren voor plaatsing in appartementsgebouwen, kantoorgebouwen, ziekenhuizen, rusthuizen, laboratoria enz.

☆☆☆ GIETHARSTRANSFORMATOREN

Distributietransformatoren of nettransformatoren tot vermogens van 1600 kVA (of 1,6 MVA) worden tegenwoordig geconstrueerd met wikkingsblokken (LS- en HS-wikkeling in één blok) in gietharsisolatie. De temperatuur van deze transformatoren mag stijgen tot $155\text{ }^{\circ}\text{C}$ (soms zelfs tot $185\text{ }^{\circ}\text{C}$). Gewoonlijk wordt hierbij dan ook eenvoudig natuurlijke of gedwongen luchtkoeling toegepast.

11.4. BEVEILIGING VAN TRANSFORMATOREN

11.4.1. OLIECONSERVATOR

Bij belasting van de transformator stijgt de temperatuur, zodat het volume van de isolatie-olie toeneemt. Als de belasting daalt, verkleint het volume van de isolatie-olie.

Teneinde oxydatie van de olie aan de lucht te voorkomen is het noodzakelijk dat de transformator-tank geheel tot tegen het deksel met olie is gevuld. Om nu de volume-variaties, bij veranderlijke belastingsgraden, mogelijk te maken, heeft men een afzonderlijk uitzetvat of conservator voor de olie voorzien.

Het is een cilindervormig vat dat boven de transformator is geplaatst en, via een buisleiding, verbonden is met de bovenzijde van de transformator-tank.

De conservator (=bewaarder) is voorzien van een *peilglas* en van een *adem-dop*, met *luchtdroger*, waardoor slechts *droge lucht* in contact kan komen met de olie. De druk in de trafo-tank is dus gelijk aan de atmosferische druk van één bar.

Dank zij de *relatief kleine afmetingen* van de olieconservator is het *contactoppervlak* van de lucht met de olie in de conservator slechts klein, terwijl bovendien de temperatuur van de olie in dit expansievat lager is dan in de transformator. Aldus zal de oxydatie van de olie werkelijk slechts zeer gering zijn. Vandaar de benaming *olie-conservator* of *olie-bewaarder*.

11.4.2. BUCHHOLZ-RELAIS

Het *Buchholz-relais*, ook *gas-relais* genoemd, wordt vooral gebruikt voor de beveiliging van vloeistofgekoelde transformatoren en zelfinductiespoelen.

Dit relais wordt aangebracht in de *verbindingsleiding tussen olieconservator en transformator-tank*. Het spreekt aan en geeft een *alarmsignaal* bij *gasontwikkelingen* veroorzaakt door energie-zwakke deelontladingen, kruipstromen, kortsluitstromen, aardsluitstromen, wervelstromen, joule-effect door hogere overgangsweerstanden enz. waardoor vloeibare en vaste isoleerstoffen langzaam ontbinden.

Bij lichtboog-ontladingen van hogere energie worden *plotseling* grotere hoeveelheden gas ontwikkeld en het Buchholz-relais *schakelt de transformator af*.

In afb. 11.18 is een eenvoudige voorstelling getekend van een twee-vlotter-Buchholz-relais.

De werking ervan is als volgt.

Bij storingsvrij bedrijf van de transformator is de kamer van het Buchholz-relais geheel gevuld met olie. Beide vlotters worden door de opwaatse stuwkracht van de vloeistof in de bovenste positie gehouden.

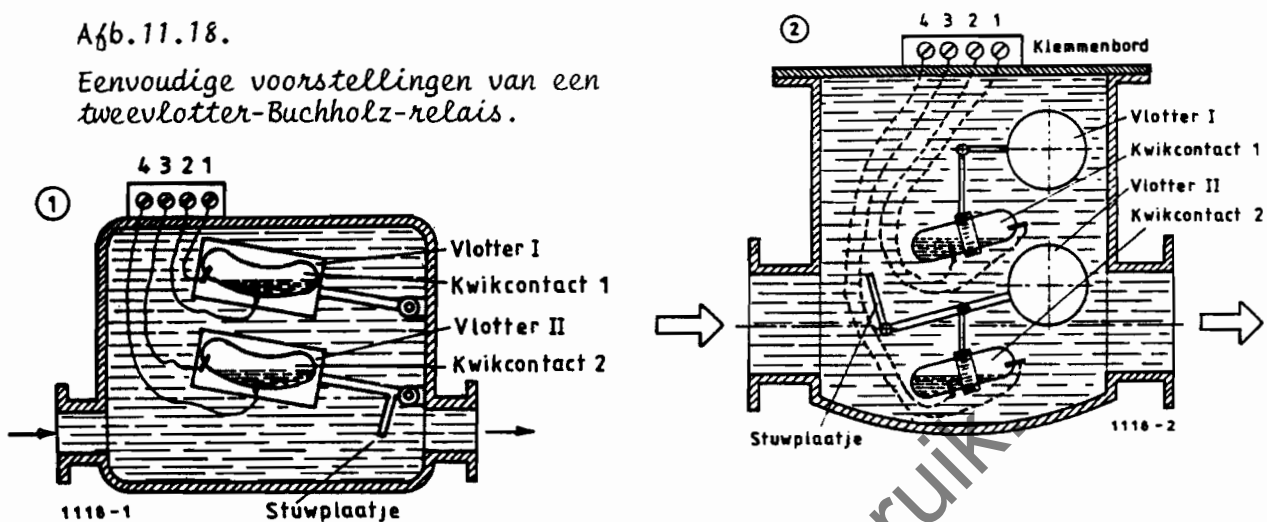
Als er een fout in de transfo optreedt, met gasontwikkeling tot gevolg, zal het gas in de richting van de olieconservator opborrelen doorheen de *verbindingsleiding* waarin het Buchholz-relais is aangebracht. Het gas verzamelt zich in het bovenste gedeelte van de kamer van het Buchholz-relais. De bovenste vlotter daalt en het *kwikcontact* hiervan stelt een *alarmsignaal* in werking.

Als het oliepeil verder daalt (bv. ook bij verlies van olie) daalt ook de

onderste vlotter en het kwikcontact ervan wordt, via een permanente magneet die aan de vlotter is bevestigd, gesloten. Dit contact zorgt ervoor dat de transformator wordt afgeschakeld.

Afb.11.18.

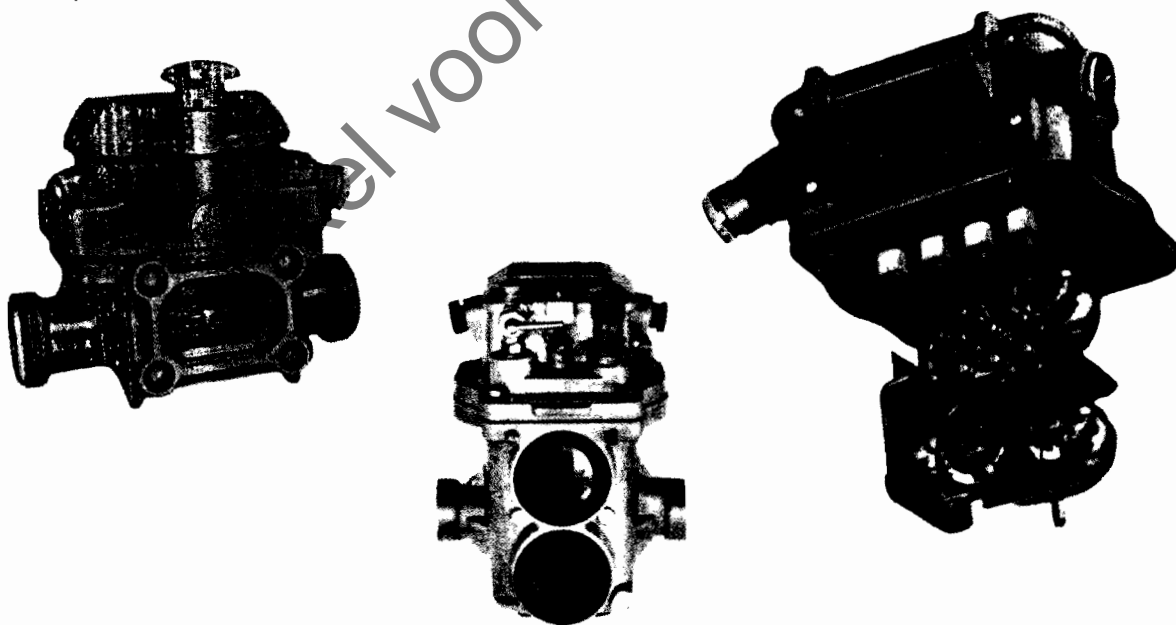
Eenvoudige voorstellingen van een tweevlotter-Buchholz-relais.



Plotselinge overvloedige gasontwikkeling veroorzaakt een sterke stroming of drukgolf in de olie, die direct inwerkt op een stuwplaatje en aldus zeer snel de afschakeling van de transformator veroorzaakt.

Zodra de stroming ophoudt keert het stuwplaatje in de originele stand terug en het Buchholz-relais is weer bedrijfs gereed.

In afb.11.19 zijn enkele praktische uitvoeringen van Buchholz-relais voorgesteld.

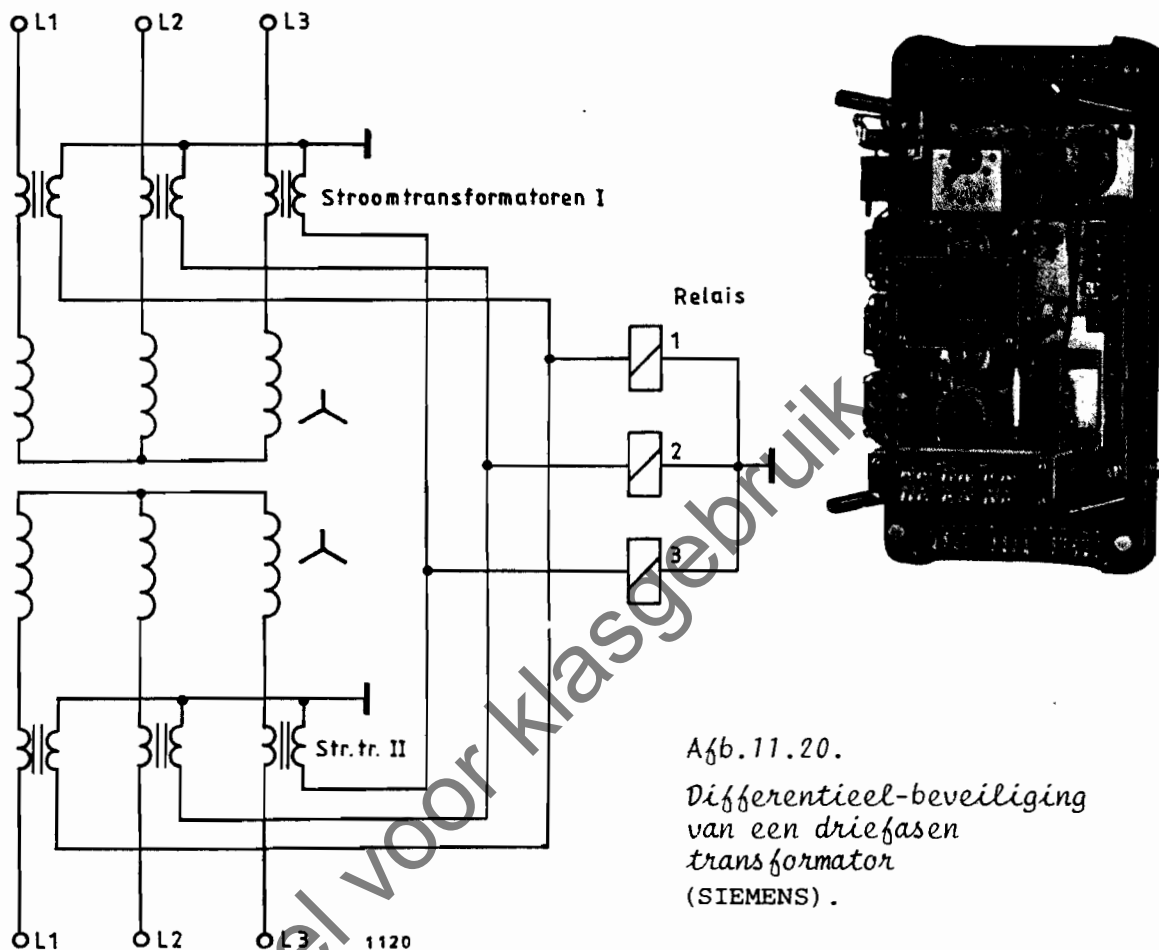


Afb.11.19. Praktische uitvoeringen van Buchholz-relais
(LEPPER-DOMINIT - TRAFU UNION - ASEA - AEG-TELEFUNKEN).

11.4.3. DIFFERENTIEEL BEVEILIGING

De differentieel beveiliging heeft tot doel transformatoren van groot vermogen te beveiligen tegen aardsluitingen en kortsluitingen.

In normale omstandigheden zullen in de secundaire wikkelingen van de stroomtransformatoren I en II (zie afb.11.20) gelijke spanningen worden geïnduceerd, die praktisch twee aan twee in tegenfase zijn.



Afb.11.20.

Differentieel-beveiliging
van een driefasen
transformator
(SIEMENS).

De spanningen over de spoelen van relais 1, 2 en 3 zijn dan ook nul. Indien een fout optreedt zal de verhouding van de stromen van de transformator zijn gewijzigd. De secundaire spanningen van de stroomtrafo's zijn dan niet meer gelijk en één of meer van de relais zullen functioneren en de transfo van het net afschakelen.

11.4.4. CONTACTTHERMOMETER

Beveiliging tegen te hoge temperaturen in het inwendige van een transformator kan worden verkregen door middel van contactthermometers met afstandssignalering.

Het temperatuurgevoelige element (bv. weerstandselement) kan op diverse plaatsen in de transformator worden aangebracht. Ook kunnen meerdere elementen worden opgesteld om de temperatuur in verscheidene punten van de koelkring te kunnen bepalen.

Als de temperatuur stijgt boven een maximaal toelaatbare waarde zal een alarmsignaal in werking worden gesteld.

In afb.11.21 zien we een contactthermometer voorgesteld.

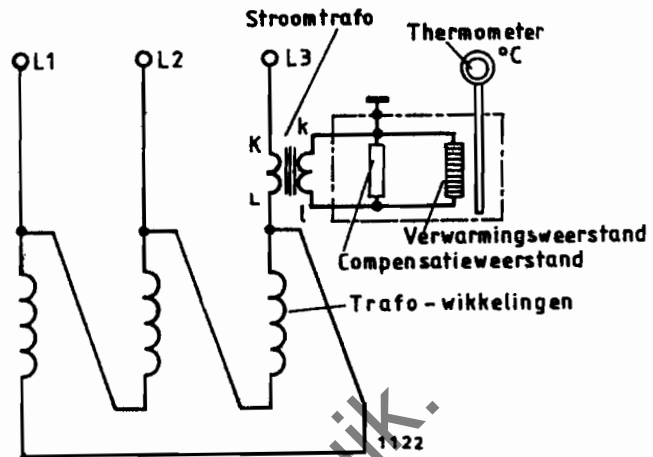
Dikwijls gebruikt men, in combinatie met contactthermometers, zgn. temperatuurnabootsers. Hierbij wordt een weerstandselementje verhit door

een stroom die evenredig is met de afgeleverde stroom van de transformator, via een stroomtransformator (zie afb.11.22).



Afb.11.21.

Contactthermometer (TRAFO-UNION).



Afb.11.22.

Temperatuurnabootser (AEG-TELEFUNKEN).

Het weerstandselementje is in de transformator-tank geplaatst en zo berekend dat de temperatuur ervan steeds ongeveer gelijk is aan de hoogste temperatuur in de transformator.

11.5. HERHALINGSVRAGEN

1. Uit welke drie hoofddelen is een vermogen- of energietransformator opgebouwd? Vermeld de functie van deze hoofddelen.
2. Hoe is de ferromagnetische kring van een transformator samengesteld?
3. Welke functie heeft het silicium in transformatorblik?
4. Welke verschil bestaat er tussen het kerntype en het manteltype van ferromagnetische kringen?
5. Waarop moet worden gelet bij het samenstellen van de ferromagnetische kring van een transformator als hiervoor koudgewalste staalplaat met georiënteerde kristallen wordt aangewend?
6. Welke twee soorten wikkelingen kunnen worden toegepast in transformatoren?
7. Welke voordelen bieden de compacte wikkelingsblokken met gietharsisolatie?
8. Volgens welke methoden kunnen transformatoren worden gekoeld? Leg de diverse methoden uit op beknopte wijze.
9. Hoe kan de transformatorolie worden gekoeld? Bespreek de vier manieren waarop dit kan gebeuren.
10. Welke voordelen biedt een vulling van stikstof boven de olie in een transformator?
11. Welk koelmedium kan men aanwenden i.p.v. olie in distributietransformatoren? Vermeld de voordelen hiervan.
12. Welke functie heeft de olieconservator? Verklaar uw antwoord.
13. Hoe is een Buchholz-relais samengesteld? Welke functie heeft het? Verklaar de werking ervan.
14. Teken het schema van een differentieelbeveiliging voor een driefasen transformator. Verklaar de werking ervan.
15. Wat is een contactthermometer? Waartoe wordt deze aangewend?