

więcej niż ~ 1300 W. Jeżeli powierzchnia chłodząca okaże się za mała, należy albo obniżyć straty przez przyjęcie mniejszej gęstości prądu, albo powiększyć powierzchnię przez zastosowanie kanałów między poszczególnymi zwojami, względnie grupami zwojów. Uzwojenie dolnego napięcia na rys. 258 posiada właśnie jeden taki kanał. Przy obliczaniu powierzchni chłodzącej kanały te należy uwzględniać jednostronnie (patrz X—5-b).

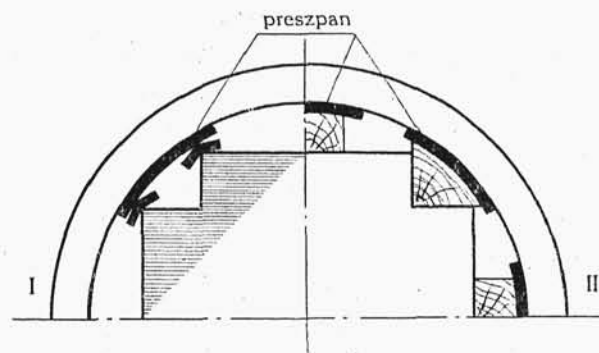
3. Osadzenie uzwojeń na słupie.

a) *Przy uzwojeniu cylindrycznem* uzwojenia niskiego i wysokiego napięcia umieszcza się na słupie współśrodkowo; wewnętrzną warstwę stanowi cewka niskiego napięcia — jako dająca się łatwiej odizolować od żelaza słupa, nazewnątrz zaś mamy uzwojenie wysokiego napięcia podzielone na cewki, według zasad poprzednio omówionych.

Osadzenie uzwojeń na słupie schematycznie jest przedstawione na rys. 203.

Ponieważ między uzwojeniami mogą wystąpić znaczne siły (przy ewentualnem zwarciu), osadzenie to winno być pewne i mocne.

Na rys. 199 widzimy dwa sposoby umieszczenia na słupie

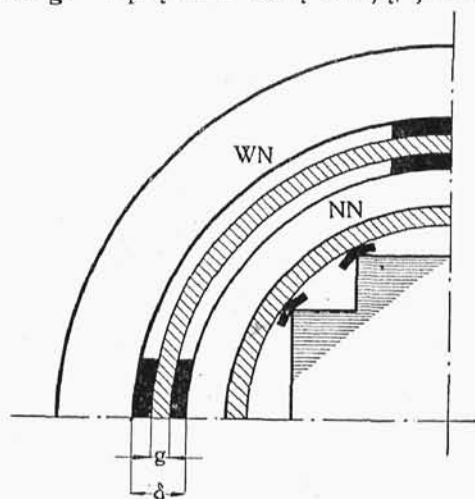


Rys. 199.

uzwojenia niskiego napięcia. Z lewej strony (I) mamy konstrukcję lżejszą, z prawej (II) — solidniejszą z klinami drewnianymi na całą wysokość słupa. W ostatnim wypadku, jak widać z rysunku, nie możemy ściągać słupów zapomocą bandaży ze szpagatu (jak na rys. 147).

W obu wypadkach można wykonać cewkę niskiego napięcia bez nawijania jej na tuleję izolacyjną. Gdy mamy cewkę ni-

skiego napięcia z taką tuleją, jak na rys. 169, można ją osadzić na



Rys. 200.

równomiernie po obwodzie (rys. 200). Minimalną, ze względu na wy-

TABELA XIV

Napięcie kV.	Szczelina δ mm.	Grubość ścianki g mm.
6	6	2,5
10	8	3
15	11	4
20	13	5

O ile z mocowanie słupa jest uskutecznione za pomocą sznura, zabezpieczenie to jest zbędne. By zachować na całym obwodzie stałą odległość między uzwojeniami niskiego i wysokiego napięcia (stałą szczelinę δ)—używa się tulei izolacyjnych (z papieru bakelizowanego) oraz klinów preszpanowych, rozmieszczonych

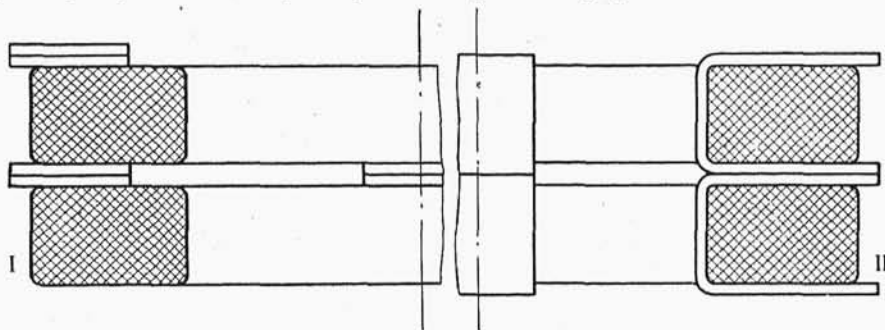
trzymalność elektryczną, szerokość szczeliny δ oraz grubość ścianki g dla transf. olejowych podaje tabela XIV (w/g Richtera).

Dla napięć ponad 20 kV, szczelinę δ można obliczać ze wzoru:

$$\delta = (0,6 \div 0,7) \cdot \text{kV mm} \quad \dots (6)$$

Podkreślić należy, że tabela i wzór dają minimalną wartość szczeliny, którą można

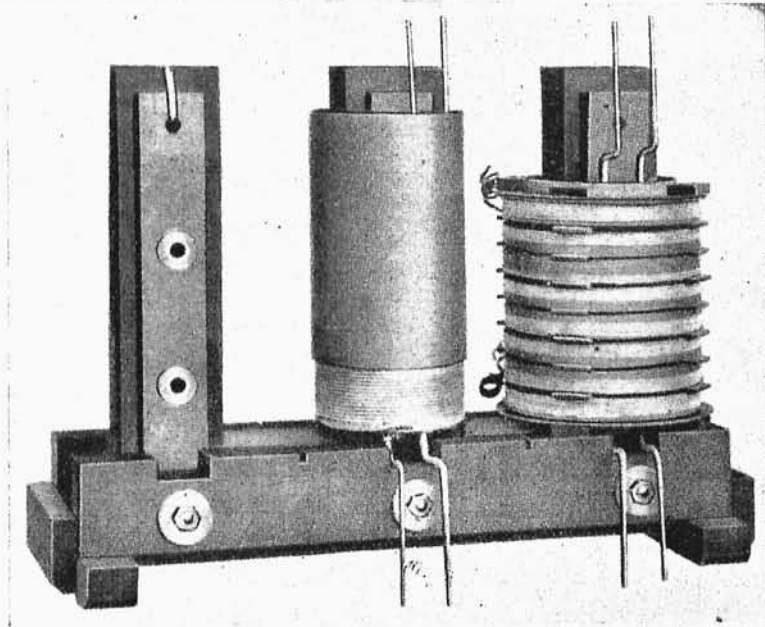
powiększyć, chcąc np. uzyskać większe napięcie zwarcia.



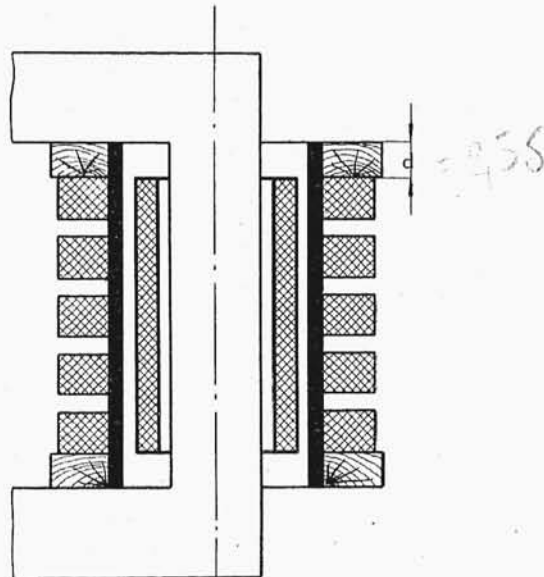
Rys. 201.

Miedzy poszczególnymi cewkami wysokiego napięcia, ze względu na izolację oraz lepsze chłodzenie, daje się zazwyczaj szczeliny.

Szerokość szczelin międzycewkowych w transformatorach olejowych mniejszej i średniej mocy wynosi przeciętnie $3 \div 6$ mm.



Transformator 30 kVA 10000/400 V. λ/λ B. B. C.
Rys. 202.



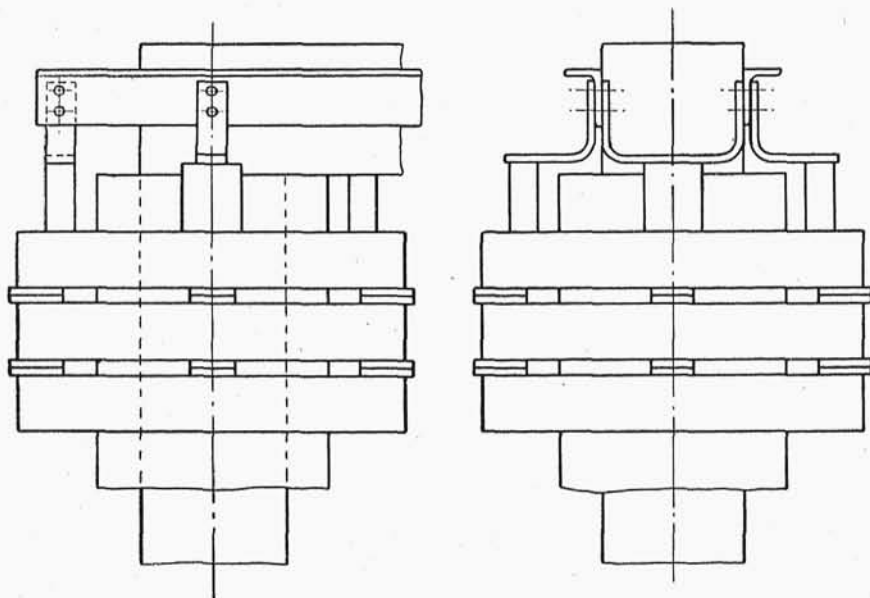
Rys. 203.

Szczelinę taką można uzyskać za pomocą przekładek preszpanowanych lub z papieru bakelizowanego, jak to widzimy na rys. 201 I i II.

Rys. 202 przedstawia montaż uzwojeń transformatora. Na słupie środkowym jest osadzone uzwojenie niskiego napięcia i częściowo wsunięta tuleja izolacyjna. Na słupie prawym są osadzone oba uzwojenia.

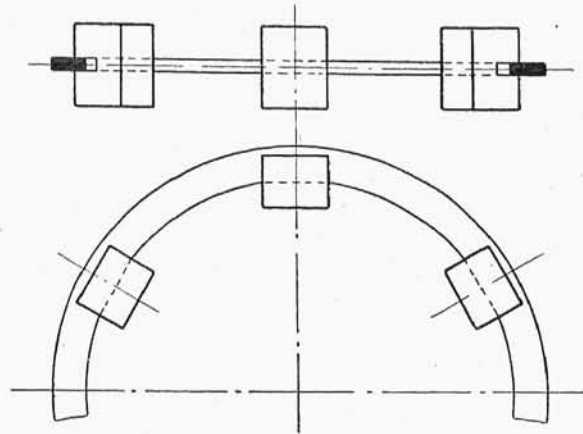
Uzwojenie wys. napięcia należy również unieruchomić w kierunku poosiowym. Cewki skrajne powinny otrzymać mocne oparcie. Najprostszym rozwiązaniem będzie zastosowanie na obu końcach pierścieni izolacyjnych z papieru bakelizowanego lub drzewa, jak na rys. 203, aczkolwiek, jeżeli chodzi o drzewo, wielu konstruktorów woli go unikać.

Odległość d uzwojenia od jarzma jest tem większa, im jest wyższe napięcie. Odległość ta według Richtera może być obliczona, jako $2,5d$; wiele firm jednakże bierze tę odległość większą. Pierścień izolacyjny, jak na rys. 203 ma tę wadę, że utrudnia cyrkulację oleju przy chłodzeniu olejowym, lub powietrza przy transformatorach suchych (należy pamiętać jednak, że uzwojenia cylindryczne są typowe dla chłodzenia olejowego). Wadę tę usuwa konstrukcja, jak na rys. 204, gdzie dystans między uzwojeniem



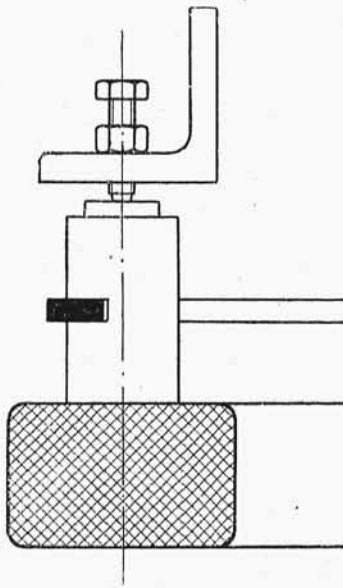
Rys. 204.

a jarzmem jest utrzymany, za pomocą kilku klocków z papieru bakelizowanego, umieszczonych równomiernie na obwodzie cewki. By luźne klocki związać w jedną całość, możemy je osadzić na krążku również z papieru bakelizowanego, jak to wskazuje rys. 205.

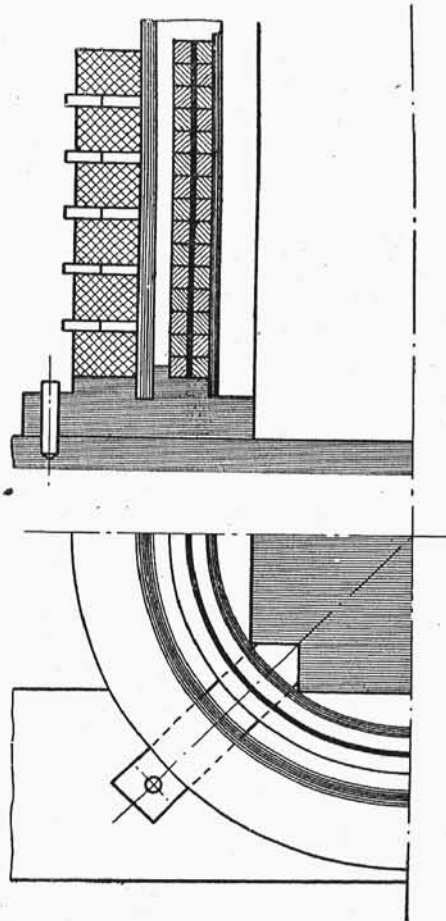


Rys. 205.

Na rys. 206 widzimy inną odmianę tego samego rozwiązania, gdzie za pomocą śrub możemy regulować nacisk na cewki.



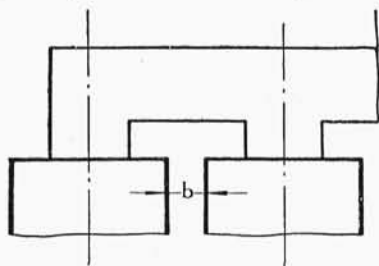
Rys. 206.



Rys. 207.

Na rys. 207 mamy specjalną konstrukcję, przy której oba uzwojenia wysokiego i niskiego napięcia spoczywają u dołu i u góry na 4 specjalnie ukształtowanych klinach z dobrze wysuszonego i wygotowanego w oleju drzewa, lub z papieru bakelizowanego.

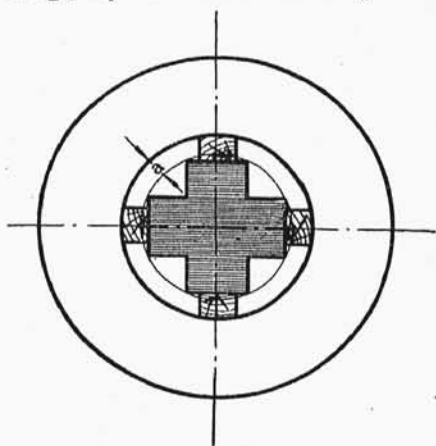
Ta konstrukcja dobrze się nadaje przy ściąganiu jarzm za pomocą belek drewnianych.



Rys. 208.

Między dwoma uzwojonemi słupami winna być utrzymana, ze względu na wytrzymałość elektryczną, pewna minimalna odległość b (rys. 208). Tę odległość możemy obliczyć przy transformatorach olejowych według wzoru, który podaje Richter: $b \geq 2,5 \delta$, przyczem uzwojenia słupów są od siebie oddzielone tylko warstwą oleju. Często, by tę odległość zmniejszyć, między słupami daje się płytę z papieru bakelizowanego — jak na rys. 187 i 213a. W transformatorach olejowych minimalną ze względów elektrycznych odległość uzw. wysokiego napięcia od ścianki pudła określa również ten sam wzór, jednakże często ta odległość bywa przekraczana — by umożliwić olejowi swobodniejszą cyrkulację.

b) *Uzwojenie krążkowe.* Przy napięciach nieznacznych krążki mogą być osadzone na słup — bez tulei izolacyjnej. Wymagany odstęp między słupem a uzwojeniem utrzymują podłużne kliny drewniane, jak to wskazuje rysunek 209.



Rys. 209.

Według Vidmara odległość a wewnętrznej bocznej powierzchni cewki od żelaza słupa (ze względu na chłodzenie) przy chłodzeniu powietrznym winna wynosić około 15 mm., przy olejowym — około 6 mm.

Przy napięciach wyższych należy dać na słup tuleję izolacyjną, a na nią dopiero nasuwać naprzemian cewki niskiego i wysokiego napięcia.

Szczelina między dwiema sąsiednimi cewkami wysokiego i niskiego napięcia według Vidmara przy chłodzeniu powietrznym ma wynosić $15 \div 20$ mm., przy olejowym $6 \div 8$ mm. (te wskazania odnoszą się do transformatorów o mocy ponad 30 kVA).

W cewkach wysokiego napięcia przy transformatorach suchych przy napięciach ponad 5000 V, wszystkie wolne przestrzenie między przewodami są wypełnione specjalną masą izolacyjną (compound).

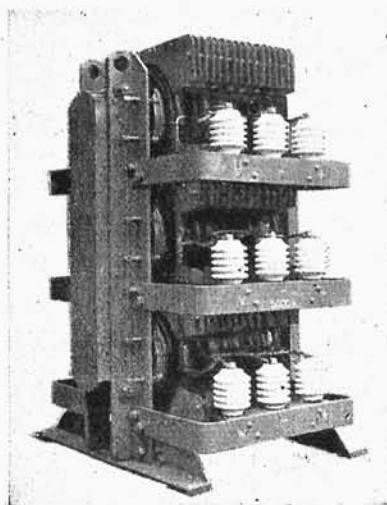
4. Zestawienie.

Gdy właściwy transformator jest już gotów, należy go zaopatrzyć w odpowiednią konstrukcję wsporczą (ramę). Na rys. 210 widzimy przykład takiej ramy przy transformatorze chłodzonym powietrzem.

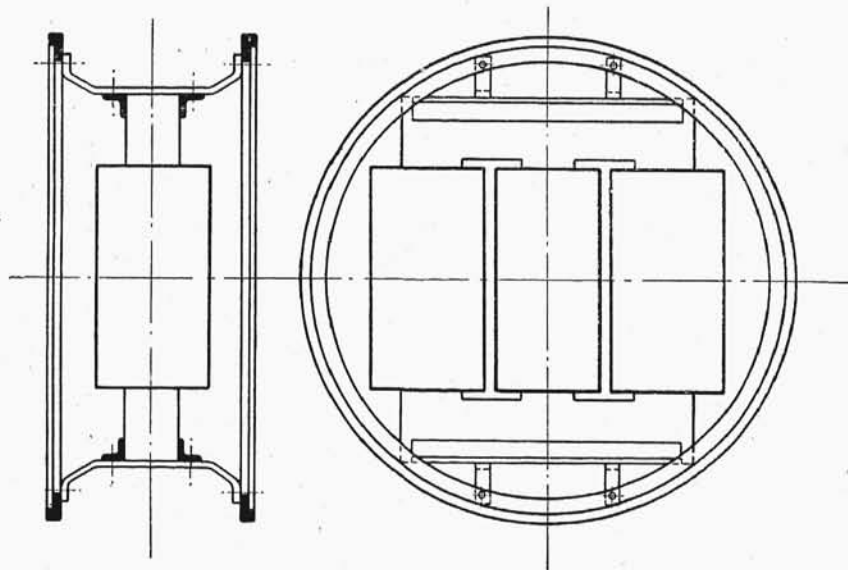
Na rys. 211 jest przedstawiony transformator również suchy, posiadający stalowe obwódce, umożliwiające przetaczanie z miejsca na miejsce. Transformator taki dobrze się nada do celów laboratoryjnych.

Przy transformatorze olejowym sprawa umocowania przedstawia się nieco zawiężej, gdyż dochodzi tutaj do samego transformatora jeszcze pudło z olejem.

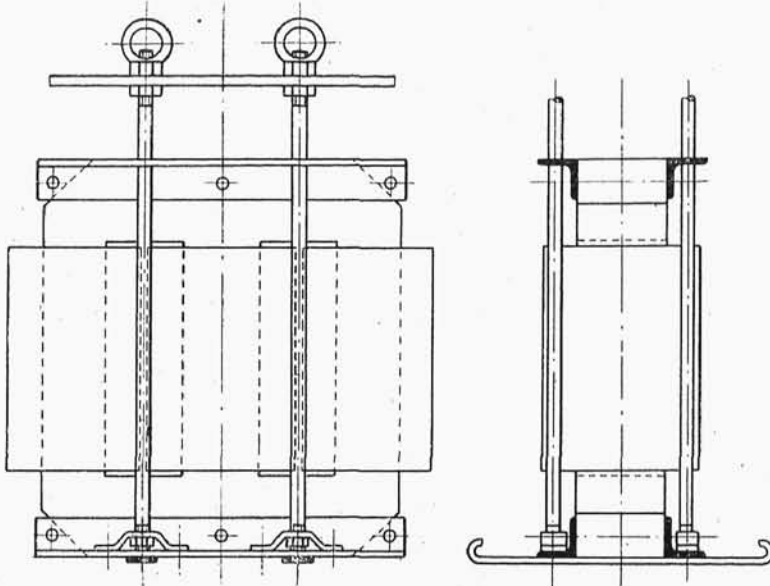
Transformator bywa zazwyczaj przymocowywany do pokrywy pud-



Transf. 50 kVA 5000/400 V 人/人
„Elektrobudowa”
Rys. 210.

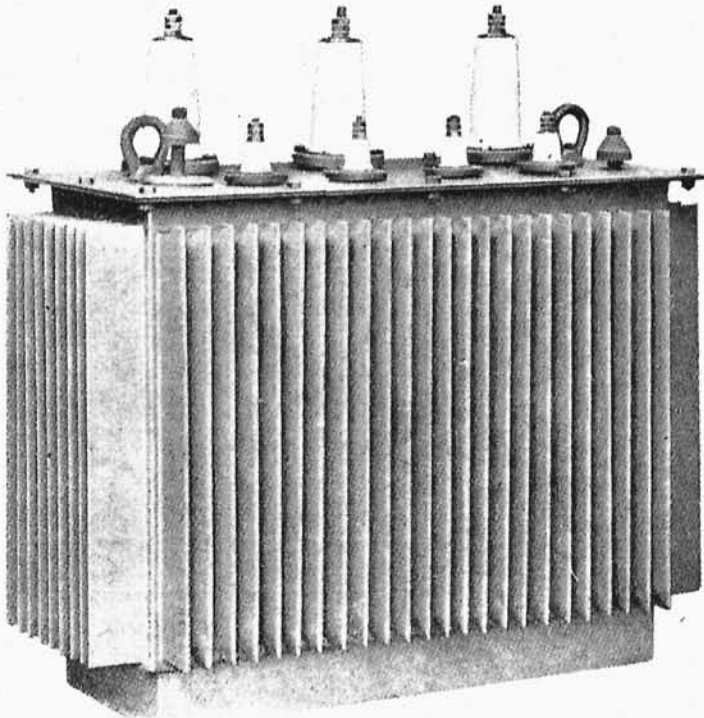


Rys. 211.



Rys. 212.

ła, należy przytem baczyć na to, by spoczywał na dnie pudła (a nie wisiął tylko na pokrywie). Na rys. 212 widzimy transformator przy-

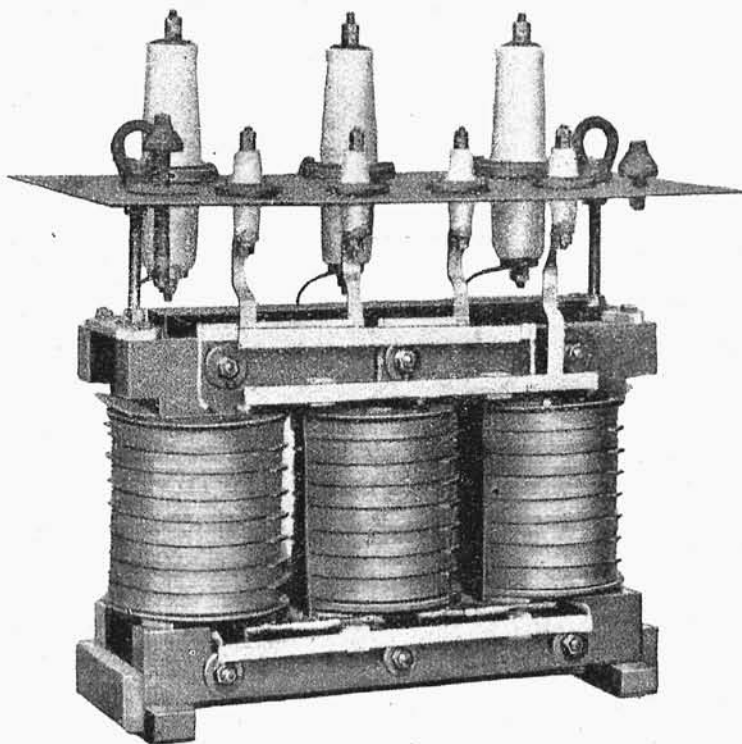


Transformator 30 kVA 10000/40 V Y/Y BBC

Rys. 213.

mocowany do pokrywy czterema śrubami (po 2 z każdej strony). Przy transformatorach mniejszych mocy, można się ograniczyć do 2 śrub (rys. 213).

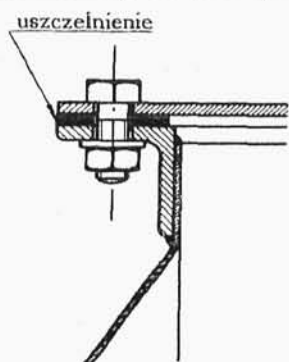
Ponieważ, między uzwojeniem transformatora a ściankami pudła winna być zachowana określona odległość, transformator u dołu otrzymuje specjalne prowadnice, uniemożliwiające poruszanie się transformatora po dnie pudła. Prowadnice takie widzimy na rys. 212. Dosty często prowadnice te bywają wykonywane jako belki drewniane (rys. 213a).



Rys. 213a.

Końcówki uzwojeń są wyprowadzone nazewnątrz przez izolatory przepustowe, umieszczone na pokrywie — w ten sposób pokrywa z właściwym transformatorem tworzy jedną sztywną całość. By transformator mógł być wyjmowany z pudła, pokrywa winna być zaopatrzona w uszy do podnoszenia, jak na rys. 212 i 213. Pudło z pokrywą jest połączone za pomocą szeregu śrub. Połączenie to, zwłaszcza przy transf. posiadających konserwator (patrz IX-4), winno być dobrze uszczelnione (rys. 214). Do uszczelnienia bywa używany klin-geryt, korek, ołów (lepiej kabelek miedziany jednożyłowy oboł-wiony).

Gdybyśmy chcieli podnieść transformator wraz z olejem za pomocą uszu, jak na rys. 212 i 213, wtedy cały zbiornik z olejem byłby zawieszony na pokrywie — powstałyby naprężenia w samej pokrywie, w połączeniach pokrywy z pudłem oraz w połączeniach ścian bocznych z dnem pudła.



Rys. 214.

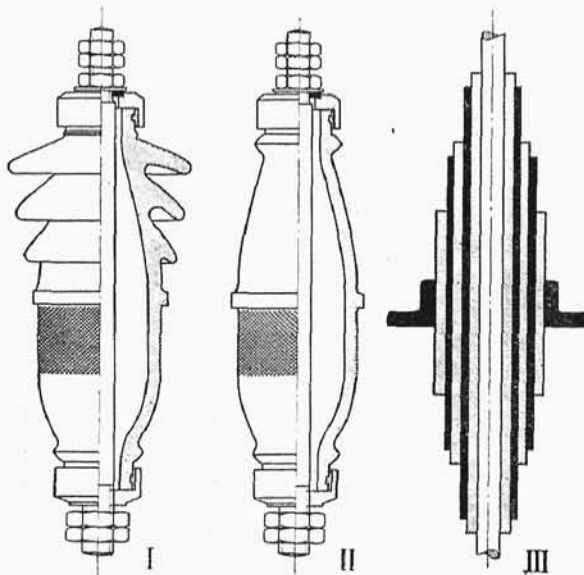
Przy transformatorach niedużych często się z tem godzą — przy większych natomiast (niektóre fabryki i przy mniejszych) są stosowane specjalne bolce do dźwigania pudła z olejem.

Na rys. 222 mamy przykład takiego wykonania.

Pudło z transformatorem spoczywa na wózku (W), do bocznych ścianek którego są przypojone odcinki kątownika (cztery, po 2 z każdej strony). Bolce (B) jednym końcem u dołu są przymocowane do kątowników, końce górne wystają nad pokrywą i są zakończone uszami do podnoszenia całego transformatora.

5. Izolatory przepustowe.

Przy napięciach niższych i średnich przeprowadzenie prądu przez pokrywę pudła transformatora nie nasuwa specjalnych trudności. Służą do tego celu zwykle porcelanowe izolatory przepustowe (rys. 215^{I-II}).



Rys. 215.

Część izolatora zanurzona w oleju jest zwykle krótsza od wystającej ponad pokrywą — z powodu większej wytrzymałości oleju. Przy transformatorach przeznaczonych do pracy na otwartem powietrzu, część zewnętrzna izolatora otrzymuje kłose (rys. 215^I), utrudniające przeskoky iskrowe oraz wyładowania powierzchniowe.

W najniekorzystniejszych warunkach

pracy znajduje się środkowa część izolatora, gdzie dielektryk między przewodem, przechodzącym przez izolator, a pokrywą pudła, w której izolator jest osadzony (względnie kołnierzem izolatora), jest naprężany na przebicie. W tej części środkowej niebezpieczne naprężenia powstają wewnątrz izolatora, przy samej powierzchni przewodu oraz w warstwie powietrza, które może przypadkowo zostać między zewnętrzną powierzchnią izolatora i metalowym kołnierzem, za pomocą którego izolator jest przymocowany do pokrywy. W tym drugim wypadku ścisłe spojenie izolatora z kołnierzem oraz nadanie temu ostatniemu odpowiednich kształtów, może usunąć niebezpieczeństwo wyładowań. Jeśli chodzi o naprężenia przy samej powierzchni przewodów — to przy mniejszych napięciach, wielkość ich nie jest niebezpieczna, przy napięciach zaś wysokich naprężenia te mogą przekroczyć granicę dozwoloną dla powietrza (o ile jest stosowany izolator jak na rys. 215^{I i II}). Przeciwdziałać temu można przez wypełnienie wnętrza izolatora olejem, lub jakąś masą izolacyjną, posiadającą większą wytrzymałość, niż powietrze. Stała dielektryczna oleju, względnie masy izolacyjnej jest również większa od stałej dielektrycznej powietrza, co znowuż daje równomierniejsze wykorzystanie całego układu izolacyjnego.

W ostatnich czasach coraz częściej można się spotkać z izolatorem t. zw. kondensatorowym, zasadę budowy którego przedstawia rys. 215^{III}. Izolator jest zbudowany z szeregu warstw izolacyjnych współśrodkowych, przekładanych metalowymi okładzinami. W ten sposób otrzymujemy jakgdyby kilka kondensatorów, połączonych ze sobą w szereg. Jako materiał izolacyjny często jest używany papier bakelizowany. Izolatory kondensatorowe są budowane również i z porcelany.

Zawdzięczając przekładkom metalowym mamy równomierniejszy rozkład napięcia, zarówno w kierunku prostym do uwarstwienia, jak i na powierzchni izolatora. Dielektryk jest naprężany równomierniej.

6. Olej transformatorowy.

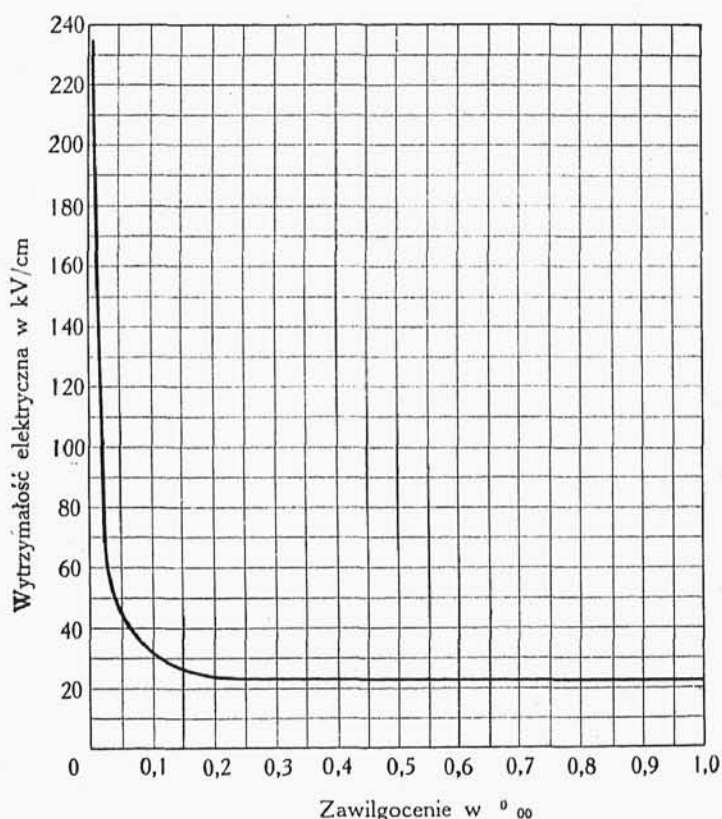
Olej odgrywa w pracy transformatora b. ważną rolę — służąc jednocześnie jako środek chłodzący i izolujący.

Jest to produkt destylacji ropy naftowej. W stanie czystym powinien być zupełnie klarowny i jednorodny. Ciężar właściwy 0,85 — 0,92. Lepkość przy 20° C nie wyższa od 8° Englera. Od niej w dużym stopniu zależy skuteczność chłodzenia transformatora. Ze wzrostem temperatury lepkość maleje, co sprzyja lepszemu chłodzeniu. Punkt zapłonu — nie niższy od 145° C; punkt zapalności jest o jakie 30° C wyższy od punktu zapłonu. Punkt zastygania w dużym

stopniu zależy od zawartości w oleju parafiny, którą przez odpowiednie oczyszczanie (rafinowanie) oleju można usunąć i obniżyć w ten sposób punkt zastygania. Wymagania co do punktu zastygania oleju są rozmaite. Według przepisów niemieckich punkt zastygania oleju dla transformatorów, mających pracować w pomieszczeniach zamkniętych, wynosi -15°C , dla transformatorów napowietrznych -40°C .

Odpowiednie przepisy na badanie oleju określają minimalną wytrzymałość elektryczną, dopuszczalną liczbę kwasową oleju, liczbę zesmałania, zawartość popiołu i t. d., jak również sposoby ich wyznaczania.

Wytrzymałość elektryczna oleju zupełnie odwodnionego i oczyszczonego przekracza 200 kV/cm , jednakże praktycznie, nawet przy świeżym oleju, należy się liczyć z pewnymi zanieczyszczeniami, a przede wszystkim zawilgoceniem, gdyż olej przy wyższych temperaturach intensywnie chłonie wilgoć z powietrza. Już b. słaba zawartość wody w oleju obniża znacznie jego wytrzymałość elektryczną, co widzimy z krzywej na rys. 216 (według A. Rotha).



Rys. 216.

Według Richtera nie jest wskazanem by przy pracy transformatora, wytrzymałość elektryczna oleju spadła poniżej 80 kV/cm.*). Gdy to nastąpi, należy olej odwodnić i oczyścić. Uskutecznia się to najczęściej za pomocą filtrowania, odwirowywania lub wygotowywania; wygotowywanie tylko wtedy przechodzi bez szkody dla oleju, o ile jest wykonane przy obniżonem ciśnieniu, a przez to i przy obniżonej temperaturze.

Olej przy pracy transformatora posiada dosyć wysoką temperaturę (do 95° C.) i styka się naogół na mniejszej lub większej powierzchni z powietrzem, skutkiem czego zachodzą pewne reakcje chemiczne: związki nienasycone ulegają stopniowemu utlenianiu i polimeryzacji. Powstają w ten sposób ciała stałe, które osiadają na uzwojeniach, ściankach pudła i t. p. i pogarszają warunki chłodzenia. Powstawanie osadu jest znakiem, że olej trzeba wymienić.

Na zakończenie nadmienimy, że w miarę ubywania oleju w transformatorze, należy go dopełnić, ale zawsze tym gatunkiem, który był poprzednio użyty. Mieszanie różnych gatunków obniża właściwości oleju.

*) Co do tej liczby poglądy nie są uzgodnione—patrz Brenda, E. T. Z. 1934; Rietz, E. T. Z. 1932; Rebhan, E. T. Z. 1933.