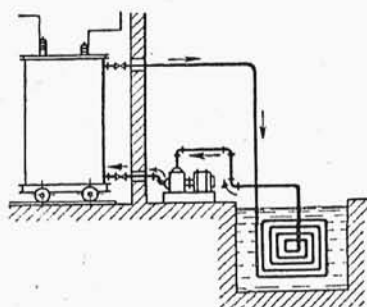


Rys. 233.



Rys. 234.

Obliczenia chłodzenia wodnego nie podajemy, wykraczałoby to bowiem poza ramy, zakreślone dla niniejszej książki, której głównym zadaniem jest zapoznanie czytelnika z transformatorem takiej mocy przy której jeszcze wystarczy chłodzenie naturalne. Tych, których ta sprawa interesuje — kierujemy do książki prof. Vidmara „Transformatory”.

4. Konserwator.

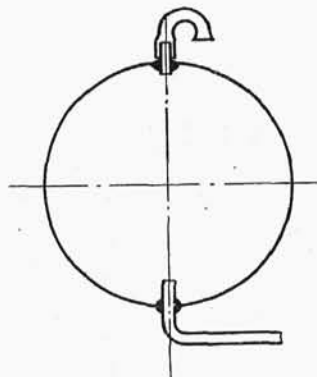
Często pudło transformatora bywa zaopatrywane w dodatkowy zbiornik — t. zw. konserwator, umieszczony ponad pudłem i z nim połączony (rys. 235). Przez stosowanie konserwatora: 1) zapewniamy sobie zawsze całkowite wypełnienie pudła olejem; 2) nie dopuszczamy by wilgotne powietrze stykało się bezpośrednio z gorącym olejem w samym pudle. Powietrze styka się z olejem tylko w konserwatorze na nieznacznej powierzchni, olej w dodatku jest zimniejszy niż w pudle, co razem wpływa na wydatne zmniejszenie zawilgocenia oleju w pudle. Część wilgoci, wchłanianej przez olej konserwatora, jak również rozmaite zanieczyszczenia, osiadają na dnie konserwatora,

stamtąd za pomocą specjalnego kurka spustowego mogą być usunięte. Z tego wynika, że kurek ten należy dać w najniższym miejscu konserwatora, a rurkę, łączącą konserwator z pudłem, wyprowadzić nieco ponad dno konserwatora, jak to widzimy na rys. 235. Konserwator winien posiadać swobodną komunikację z otaczającym powietrzem — by umożliwić transformatorowi „oddychanie” gdyż przy podnoszącej się temperaturze olej rozszerza się i usuwa część powietrza z konserwatora.

Konserwatory są wykonywane, jako walce spawane z blachy o grubości około 1 mm. By wyznaczyć przybliżoną objętość konserwatora (Vidmar) wyjdziemy z założenia, że różnica między najwyższą temperaturą oleju w lecie a najniższą w zimie może osiągnąć około 80°C .

Spółczynnik rozszerzalności cieplnej oleju wynosi około 0,0007, co przy 80°C da nam zmianę objętości oleju o $0,0007 \times 80 = 0,056$ czyli o 5,6%. Biorąc pod uwagę, że i przy najniższej temperaturze trochę oleju powinno pozostać w konserwatorze, oraz, że możliwa jest w pewnych wypadkach jeszcze większa różnica temperatur, niż przyjęliśmy (80°C) — np. przy zwarcu, oszacujemy objętość konserwatora na około 10% objętości oleju zawartego w pudle. Konserwator daje pośrednio jeszcze tę korzyść, że na rurze, łączącej go z pudłem można umieścić urządzenie ochronne np. Buchholz'a.

Przy stosowaniu konserwatora należy zwracać szczególnie baczną uwagę, na uszczelnienie między pokrywą i pudłem, przepustów i t. p. Konserwator bywa zwykle zaopatrzony we wskaźnik poziomu oleju.



Rys. 235.

5. Przeciążanie transformatorów.

Każdy transformator można przeciążyć, czyli uzyskać moc większą niż nominalna (ciągła). Chodzi tylko o to, jak długo takie przeciążenie może trwać, bez szkody dla izolacji uzwojeń.

Rachunek (Vidmar) nie może dać zupełnie dokładnej odpowiedzi na to pytanie, wchodzi tu bowiem w grę pewne czynniki, nie dające się ująć liczbowo, jednakże już wyniki przybliżone pozwalają na wyciągnięcie ciekawych wniosków.

a) *Transformator suchy.* Nagrzewanie się uzwojeń transformatora odbywa się, jak wiemy, w ten sposób, że część ciepła, wydzielonego w pewnym czasie, pozostaje w uzwojeniach i idzie na podnie-

sienie ich temperatury, druga część jest odprowadzana nazewnątrz. Im temperatura uzwojeń jest wyższa, tem część pierwsza staje się mniejsza, a druga większa. W chwili ustalenia się temperatury całe ciepło, wywiązujące się w uzwojeniach jest przekazywane do otoczenia. Normalnem obciążeniem (ciągłem) transformatora będzie takie, przy którym temperatura ustalona jeszcze nie przekroczy granic dozwolonych.

Cewka w swej masie nie jest jednolita — składa się z miedzi i izolacji. Pojemność cieplna izolacji (bawełna, papier, substancja nasycająca) jest większa od pojemności cieplnej miedzi około sześciu razy. Ciężary właściwe materiałów natomiast są w przybliżeniu w stosunku odwrotnym. Ostatecznie można uważać, że pod względem gromadzenia ciepła cewki będą się zachowywały, jak jednolite bryły z miedzi — ciężar tej miedzi oznaczmy przez G'_m , ciężar zaś rzeczywisty miedzi uzwojeń przez G_m ; ($G'_m > G_m$).

Matematyczne ujęcie tego cośmy powiedzieli o grzaniu uzwojeń — w odniesieniu do obciążenia normalnego — daje równanie:

$$\Delta P_m d\tau = G'_m c_m d(\Delta t) - \Delta P_m \frac{\Delta t}{\Delta t_0} d\tau,$$

ΔP_m — straty mocy w miedzi przy nominalnem obciążeniu,

c_m — pojemność cieplna miedzi,

Δt_0 — ustalony przyrost temperatury przy obciążeniu nominalnem (równy dopuszczalnemu).

Δt — przyrost temperatury w dowolnej rozpatrywanej chwili przy obciążeniu nominalnem.

Wyrażenie $\Delta P_m d\tau$ oznacza energję elektryczną straconą w uzwojeniach w ciągu dowolnego nieskończonego małego czasu $d\tau$ sek.

$G'_m c_m d(\Delta t)$ — jest to część ciepła, które pozostaje w miedzi.

$\Delta P_m \frac{\Delta t}{\Delta t_0} d\tau$ — jest to część ciepła, oddawanego nazewnątrz.

Rozwiązanie naszego równania różniczkowego będzie miało postać:

$$\Delta t = \Delta t_0 \left[1 - \varepsilon^{-\frac{\Delta P_m}{G'_m c_m \Delta t_0} \tau} \right] \quad \dots (11)$$

gdzie ε — podstawa logarytmów naturalnych.

Gdybyśmy uzwojenie transformatora odizolowali idealnie pod względem cieplnym od otoczenia — całe ciepło szłoby na podnoszenie jego temperatury. W ciągu każdej sekundy temperatura podniosłaby się o

$$\frac{\Delta P_m}{G'_m c_m} \text{ } ^\circ\text{C.}$$

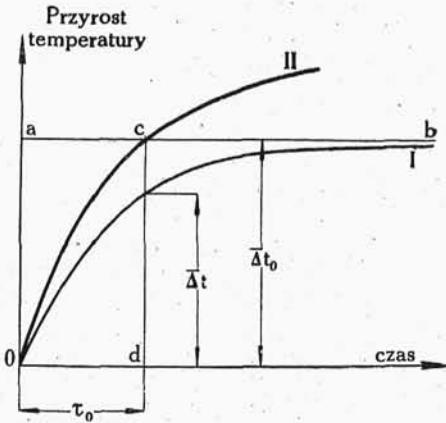
Dopuszczalny przyrost temperatury Δt_0 byłby osiągnięty w ciągu

$$\Theta = \frac{\Delta t_0 G'_m c_m}{\Delta P_m} \text{ sek.}$$

Wielkość Θ nosi nazwę *stałej czasu*.

Równanie (11) przybiera postać:

$$\Delta t = \Delta t_0 \left[1 - e^{-\frac{\tau}{\Theta}} \right] \quad \dots (12)$$



Rys. 236.

Krzywa I (rys. 236) przedstawia nam wykreślenie tej zależności. Po przekształceniu równania (12) otrzymamy:

$$\frac{\tau}{\Theta} = \ln \frac{\Delta t_0}{\Delta t_0 - \Delta t} \quad \dots (13)$$

Krzywa II daje nam obraz grzania się transformatora przeciążonego. Punkt *c* przecięcia się tej krzywej z prostą *ab* określa nam dopuszczalny czas przeciążenia [$Od = \tau_0$]. Przyjmujemy, że przyrosty temperatur, osiągnięte przez uzwo-

jenie w tym samym czasie są proporcjonalne do kwadratu obciążenia, czyli:

$$\frac{\Delta t_0}{\Delta t} = \left(\frac{P_{mx}}{P_n} \right)^2 = k^2 \quad \dots (14)$$

k — jest stopniem przeciążalności — jest to stosunek mocy P_{mx} przy przeciążeniu do mocy nominalnej P_n . Stosunek $\frac{\Delta t_0}{\Delta t}$ wyznaczamy z równania (13), przyjmując określony czas przeciążenia $\tau = \tau_0$, a stąd, na podstawie zależności (14), przeciążalność *k*.

Uprzednio należy jeszcze obliczyć stałą czasu uzwojeń:

$$\Theta = \frac{c_m \Delta t_0 G'_m}{\Delta P_m}$$

$$c_m \simeq 390 \frac{\text{W. sek}}{^\circ\text{C kg}}; \quad \Delta t_0 = 60^\circ\text{C}; \quad \Delta P_m \simeq 2,7 j^2 G_m; \quad j \simeq 1,8 \text{ A/mm}^2$$

$$\Theta = 2800 \frac{G'_m}{G_m}$$

Stosunek $\frac{G'_m}{G_m}$ jest zależny od ilości izolacji, której uzwojenie transformatora posiada naogół dużo. Orientacyjnie przyjmiemy $\frac{G'_m}{G_m} \simeq 1,75$.

Wtedy $\Theta \simeq 5000$ sek.

Przykład. Jakie przeciążenie wytrzyma transformator suchy w ciągu 4 godz.?

$$\tau = \tau_0 = 4 \text{ godz.} = 14400 \text{ sek.} \quad \Theta = 5000 \text{ sek.}$$

$$\frac{14400}{5000} = \ln \frac{1}{1 - \frac{\Delta t}{\Delta t_0}}; \quad \text{skąd } \frac{\Delta t_0}{\Delta t} = 1,055$$

$k = \sqrt{\frac{\Delta t_0}{\Delta t}} = \sqrt{1,055} = 1,025$ — czyli dopuszczalne przeciążenie wynosi tylko 2,5%

b. Transformator olejowy. W transformatorze olejowym mamy podwójne przekazywanie ciepła: od uzwojeń i żelaza do oleju i od oleju do powietrza. Jeżeli chodzi o uzwojenia, to stała czasu uzwojeń jest przy transformatorach olejowych jakieś 10 razy mniejsza niż przy transformatorach suchych (przyczyny: większa gęstość prądu — $j \simeq 3 \text{ A/mm}^2$, nieduża różnica temperatur między uzwojeniem a olejem, mniejsza wartość stosunku $\frac{G'_m}{G_m}$ — ze względu na mniejszą przy transformatorze olejowym ilość izolacji) i uzwojenie w transformatorze olejowym w kilka, lub kilkanaście minut już osiąga ostateczną temperaturę w stosunku do oleju. Olej natomiast zagrzewa się znacznie wolniej.

Rozpatrzmy teraz grzanie się oleju.

$$\text{Stała czasu oleju: } \Theta_{ol} = \frac{c_{ol} \Delta t_{ol} \cdot G_{ol}}{\Delta P}$$

gdzie

c_{ol} — pojemność cieplna oleju; $c_{ol} \simeq 1800 \frac{\text{W. sek}}{^\circ\text{C kg.}}$

Δt_{ol} — ustalona różnica temperatur między olejem a powietrzem.

$\Delta t_{ol} \simeq 40^\circ \text{C}$,

G_{ol} — ciężar oleju w kg.

ΔP — straty mocy w transformatorze (w miedzi i żelazie).

Podstawiając, otrzymamy:

$$\Theta_{ol} = 72000 \frac{G_{ol}}{\Delta P} \quad \dots (15)$$

Równanie (13) oczywiście i tutaj ma zastosowanie.

Przekształcimy je, biorąc pod uwagę zależność (14):

$$\Theta_{ol} = \frac{\tau}{\ln \frac{1}{1 - \frac{1}{k^2}}}$$

Ustalając czas przeciążenia $\tau = \tau_0$, mamy zależność $\Theta_{ol} = f(k)$.

Jeżeli np. przyjmiemy $\tau = 4$ godz. = 14400 sek., wtedy zależność $\Theta_{ol} = f(k)$ przedstawi się krzywą na rys. 237. Jak widzimy, krzywa ta na pewnym odcinku, który nas właśnie interesuje, jest b. zbliżona do prostej. Przybliżone równanie tej prostej w układzie współrzędnych, jak na rys. 237, będzie miało postać:

$$\Theta_{ol} = 40000(k - 0,9) \dots (16)$$

Według tego wzoru można praktycznie obliczać stałą czasu dla oleju przy założonym czasie przeciążenia $\tau_0 = 4$ godz.

W wypadku ogólnym (h — godzin) równanie (16) przybierze postać:

$$\Theta_{ol} = h(k - 0,9) 10^4 \text{ sek.} \dots (17)$$

Przyrównywując prawe strony równań (17) i (15), wyrażających tę samą stałą czasu, otrzymamy:

$$h(k - 0,9) 10^4 = 72000 \frac{G_{ol}}{\Delta P}$$

stąd

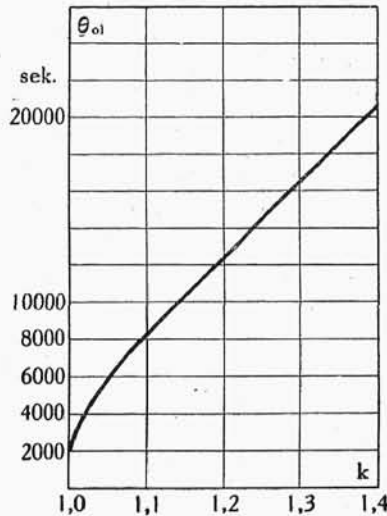
$$k = \frac{7,2}{h} \frac{G_{ol}}{\Delta P} + 0,9.$$

Równanie to wskazuje, że im więcej transformator posiada oleju, tem przeciążalność jego wypadnie większa.

Pewną nieścisłością naszego rachunku jest łączne traktowanie strat w żelazie, które są stałe, ze stratami w miedzi.

Przykład. Jakie przeciążenie wytrzyma transformator olejowy 100kVA. w ciągu 4 godz.? $\Delta P_z = 600$ W. $\Delta P_m = 2,1\% = 2100$ W. $G_{ol} = 300$ kg.

$$k = \frac{7,2}{4} \cdot \frac{300}{600 + 2100} + 0,9 = 1,1$$



Rys. 237.

Widzimy, że nasz transformator olejowy można w ciągu 4 godz. przeciążyć o 10% — znacznie więcej niż transformator suchy.

Z tego można wyciągnąć wniosek, że dla celów oświetleniowych, gdzie z przeciążeniami, niekiedy nawet długotrwałymi, spotykamy się często, nadaje się właściwie tylko transformator olejowy.

Wyjątek do pewnego stopnia stanowi transformator Pichlera (IX — 2 — c), posiadający lepsze warunki chłodzenia niż zwyczajny transformator suchy.

Przeprowadzony rachunek pozwala jedynie na zorientowanie się w istocie zjawiska. Stopień przeciążalności transformatora zależy od wielu czynników: od tego w jakim stanie jest transformator na początku okresu przeciążenia (czy jest „zimny”, czy w biegu jałowym, czy obciążony — i do jakiej wysokości), od temperatury otoczenia, od budowy i t. p.

Inż. W. Kopczyński w broszurze „Transformatory” podaje orientacyjną tabelę dopuszczalnych przeciążeń dla transformatorów o chłodzeniu olejowym naturalnem średniej mocy. Ścisłe określenie stopnia przeciążalności jest możliwe tylko na drodze doświadczalnej.

TABELA XVII

Przeciążenie w % mocy nominalnej	Jeżeli zaczynamy obciążać zimny transformator		Jeżeli transformator był ob- ciążony na moc nom.	
Temper. otocz.	40°C	30°C	35°C	30°C
10%	3,5 godz.	stale	3,5 godz.	stale
20%	2,0 "	4 godz.	1,0 "	1,5 godz.
30%	1,5 "	2 "	30 min.	36 min.
50%	36 min.	1 "	10 "	15 "
100%	7 "	12 min.	1 "	2 "