

ROZDZIAŁ X.

OBLICZENIE TRANSFORMATORA.

Przystępując do obliczenia transformatora, należy mieć zadane: moc pozorną, sposób chłodzenia, napięcie międzyzaciiskowe (zazwyczaj przy biegu jałowym), układ połączeń, straty w żelazie, straty w miedzi przy pełnym obciążeniu, napięcie zwarcia oraz częstotliwość.

Uzgodnienie ze sobą wszystkich wymagań częstokroć nasuwa dużo trudności i zmusza do kilkakrotnego przeliczania.

1. Obwód magnetyczny.

Obliczenie obwodu magnetycznego transformatora sprowadza się do:

- a) ustalenia kształtu i wymiarów przekroju słupa,
- b) obliczenia wysokości słupa,
- c) obliczenia przekroju i długości jarzma.

a) Będziemy przyjmowali, że przekrój słupa jest „kołowy” — gdyż z przekrojem prostokątnym spotykamy się obecnie coraz rzadziej.

W zależności od wielkości transformatora wybieramy przekrój dwu — trzy — lub więcej schodkowy, rysujemy go w dowolnej skali, opisujemy koło i wyznaczamy współczynnik $f_z = \frac{\square}{\bigcirc} k_2$ *).

Średnicę koła opisanego D można obliczyć w rozmaity sposób. W. Kehse w ETZ 1929 str. 711 proponuje dla transformatora trójfazowego przy 50 ~/sek. wzór empiryczny na obliczenie średnicy

$$\boxed{D \simeq 5 \sqrt[4]{P} \text{ cm.}} \quad \dots (1)$$

gdzie P — jest mocą pozorną transformatora trójfazowego w kVA.

*) \square oznacza pole przekroju schodkowego.

\bigcirc oznacza pole koła opisanego na przekroju schodkowym.

Mając średnicę D , możemy obliczyć przekrój czystego żelaza w słupie:

$$S_s = \frac{\pi D^2}{4} f_z^2 \quad \dots (2)$$

Richter dla obliczenia tego przekroju podaje wzór:

$$S_s = c \sqrt{\frac{P'}{f}} \text{ cm}^2. \quad \dots (3)$$

gdzie f — częstotliwość w $\sim/\text{sek.}$; P' — moc jednego słupa w VA. (to znaczy, że dla transformatora trójfazowego $P' = \frac{P}{3}$, a dla jednofazowego $P' = \frac{P}{2}$, gdzie P jest mocą pozorną transformatora trój — względnie jednofazowego).

Stała c według Richtera dla transformatorów nowoczesnych waha się w granicach:

$$4 \leq c \leq 6 \quad \dots (4)$$

Gdy mamy S_s , wyznaczmy D :

$$D = \sqrt{\frac{4 S_s}{\pi f_z^2}} \text{ cm.} \quad \dots (5)$$

W. Kehse w ETZ (patrz wyżej) podaje bardzo pożyteczną tabelę, korzystając z której, można w sposób nie mniej ścisły wyznaczyć średnicę D .

Autor podaje w tej tabeli dla transformatora trójfazowego przy $f = 50 \sim/\text{sek.}$ przeciętne napięcie przypadające na jeden zwój (e) w zależności od mocy transformatora (P) — przy normalnych konstrukcjach.

TABELA XVIII

Moc P	kVA	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
Nap. 1 zw.	V	1,25	1,6	2,0	2,5	2,8	3,0	3,3	3,6	3,8	4,0	4.1	
Moc P	kVA	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	2000	3000	4000
Nap. 1 zw.	V	6	7,3	8,7	10,0	11,0	12,0	13,0	13,5	15,0	20,0	26,0	30

Mając napięcie jednego zwoju i napięcia fazowe transformatora, możemy wyznaczyć liczbę zwojów w każdym z uzwojeń. Lepiej rozpocząć od strony niskiego napięcia (wtórnej — o ile rozpatrujemy transformator obniżający napięcie).

$$\boxed{w_2 \approx \frac{V_{2f}}{e}} \quad \dots (6)$$

Ten wynik należy zaokrąglić do liczby całkowitej (najlepiej podzielnej przez liczbę warstw, jaką przypuszczalnie będzie posiadała cewka niskiego napięcia — np. przy cewce dwuwarstwowej pożądanem jest by w_2 było parzyste).

Wyznamy teraz strumień Φ z równania $E_2 = 4,44 f w_2 \Phi 10^{-8}$. Ponieważ napięcie wtórne jest zadane przy biegu jałowym, więc $E_2 = V_{2f}$.

$$\Phi = \frac{V_{2f}}{4,44 f w_2} 10^8 \quad \dots (7)$$

Przy zygżaku (patrz II-4)

$$\boxed{w_2 = 1,15 \frac{V_{2f}}{e}} \quad \dots (8)$$

Obliczone w_2 zaokrąglamy do liczby parzystej — ze względu na dwuwarstwowe wykonanie cewki (patrz rys. 55). Strumień przy zygżaku znajdziemy ze wzoru:

$$\Phi = \frac{V_{2f} \cdot 1,15}{4,44 f w_2} 10^8.$$

Mając strumień Φ i przyjmując pewną indukcję w słupie transformatora (B_s), otrzymamy przekrój czystego żelaza słupa:

$$S_s = \frac{\Phi}{B_s};$$

skąd D według wzoru (5).

Jeżeli chodzi o B_s , to Kehse poleca brać indukcje, jak w tabeli XIX ($f = 50 \sim /sek.$; blacha z dużą zawartością krzemu; transformatory chłodzone olejem).

TABELA XIX

Moc w kVA	10	50	100	200	> 200
Indukcja w G	11900	13700	14000	14400	14500 ÷ 15000

Richter daje granice bardziej ogólne — od 10000 do 14000 G , przyczem dolna granica dotyczy transformatorów małych.

Przy częstotliwościach mniejszych można dopuszczać indukcje większe, używając przy tem blachy o mniejszej zawartości krzemu.

My przy dalszych rozważaniach będziemy stale przyjmować, że $f = 50 \sim / \text{sek}$.

b i c) Wysokość słupa i wymiary jarzma będziemy wyznaczali łącznie.

Wyjdziemy tutaj ze strat w żelazie.

Straty w żelazie słupów (patrz wzór Vidmara I-3-a):

$$\Delta P_{zs} = m \Delta p_z \left(\frac{B_s}{10000} \right)^2 L_s S_s \gamma 10^{-3} \text{ watów.}$$

Straty w żelazie obu jarzm:

$$\Delta P_{zj} = 2 \Delta p_z \left(\frac{B_j}{10000} \right)^2 L_j S_j \gamma 10^{-3} \text{ watów.}$$

We wzorach tych m oznacza liczbę słupów,

Δp_z — straty w 1 kg, żelaza przy $B = 10000 G$ i $f = 50 \sim / \text{sek}$.

B_s i B_j — indukcje w słupie i jarzmie w G .

S_s i S_j — przekroje słupa i jarzma w cm^2 .

L_s — wysokość słupa w cm .

L_j — obliczeniowa długość jarzma w cm .

γ — ciężar właściwy żelaza w kg/dcm^3 .

Łączne straty w żelazie — w słupach i jarzmach:

$$\begin{aligned} \Delta P_z &= \Delta P_{zs} + \Delta P_{zj} = \\ &= m \Delta p_z \left(\frac{B_s}{10000} \right)^2 L_s S_s \gamma 10^{-3} + 2 \Delta p_z \left(\frac{B_j}{10000} \right)^2 L_j S_j \gamma 10^{-3} = \\ &= \Delta p_z S_s \gamma 10^{-3} \left[m \left(\frac{B_s}{10000} \right)^2 L_s + 2 \left(\frac{B_j}{10000} \right)^2 L_j \frac{S_j}{S_s} \right] \dots (9) \end{aligned}$$

W jarzmie dopuszcza się zwykle indukcję (B_j) mniejszą niż w słupach (B_s) — by zmniejszyć prąd magnesujący i obniżyć straty w żelazie. Stosunek indukcji $\frac{B_s}{B_j}$, równy odwrotności stosunku przekrojów, oznaczmy przez β :

$$\frac{B_s}{B_j} = \frac{S_j}{S_s} = \beta \dots (10)$$

Spółczynnik β mieści się w granicach $\beta = 1 \div 1,4$, przyczem przy mniejszych transformatorach należy brać granicę wyższą.

Z równania (10) mamy $\frac{S_j}{S_s} = \beta$; oraz $B_j = \frac{B_s}{\beta}$. Postawiając te wartości do równania (9), otrzymamy:

$$\begin{aligned} \Delta P_z &= \Delta p_z \gamma S_s 10^{-3} \left[m \left(\frac{B_s}{10000} \right)^2 L_s + 2 \left(\frac{\frac{B_s}{\beta}}{10000} \right)^2 L_j \beta \right] = \\ &= \Delta p_z \gamma S_s 10^{-3} \left(\frac{B_s}{10000} \right)^2 \left(m L_s + 2 \frac{1}{\beta} L_j \right) \quad \dots (11) \end{aligned}$$

Wprowadzimy jeszcze nowy współczynnik: stosunek długości jarzma do wysokości słupa:

$$\boxed{\frac{L_j}{L_s} = \alpha} \quad \dots (12)$$

Ten stosunek waha się w granicach $\alpha = 1 \div 1,8$.

Z równania (12): $L_j = \alpha L_s$, podstawiając do równania (11), otrzymamy:

$$\Delta P_z = \Delta p_z \gamma S_s 10^{-3} \left(\frac{B_s}{10000} \right)^2 L_s \left(m + 2 \frac{\alpha}{\beta} \right)$$

Dotychczas nie braliśmy pod uwagę powiększenia strat w żelazie w stosunku do obliczonych — naskutek sztancowania blach oraz uszkodzenia izolacji międzyblaszanej przy zbieraniu obwodu magnetycznego. — To powiększenie można szacować na $10 \div 20\%$. Uwzględniając tę okoliczność, ostatecznie napiszemy:

$$\Delta P_z = (1,1 \div 1,2) \Delta p_z \gamma S_s 10^{-3} \left(\frac{B_s}{10000} \right)^2 L_s \left(m + 2 \frac{\alpha}{\beta} \right),$$

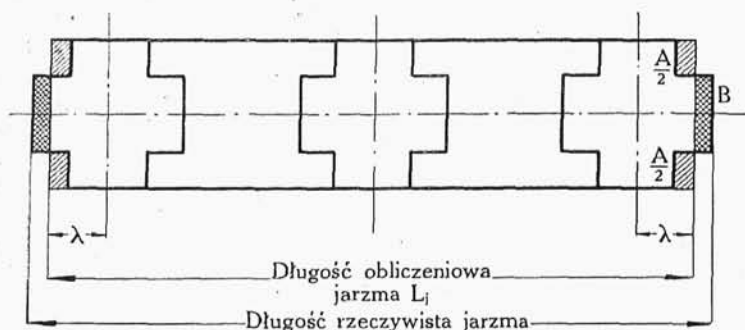
$$\text{skąd} \quad \boxed{L_s = \frac{\Delta P_z \cdot 10^3}{(1,1 \div 1,2) \Delta p_z \gamma S_s \left(\frac{B_s}{10000} \right)^2 \left(m + 2 \frac{\alpha}{\beta} \right)} \text{ cm}} \quad \dots (13)$$

Mając L_s , możemy obliczyć $L_j = \alpha L_s$. Należy pamiętać, że L_j jest obliczeniową długością jarzma — czyli taką długością, którą posiadałoby jarzmo o stałe jednakowym przekroju ($A = B$). Długość rzeczywista jarzma jest nieco większa, jak to wskazuje rysunek 238.

Długość obliczeniową możemy w każdym wypadku wyznaczyć wykreślnie.

Z zależności (10) mamy:

$$\boxed{S_j = \beta S_s}$$



Rys. 238.

Z rysunku przekroju słupa (rys. 135) bierzemy szerokość jarzma b_j , poczem obliczamy wysokość:

$$\boxed{h_j = \frac{S_j}{k_2 b_j}} \quad \dots (14)$$

gdzie k_2 uwzględnia izolację między blachami.

W ten sposób wszystkie wymiary obwodu magnetycznego są prowizorycznie ustalone.

2. Obwód elektryczny.

Musimy zaprojektować uzwojenia wysokiego i niskiego napięcia.

Przy rozmieszczeniu uzwojeń na słupie należy pamiętać o zachowaniu minimalnych, niezbędnych ze względu na wytrzymałość elektryczną, odległości (patrz VIII — 3 i 4): 1) między cewkami niskiego i wysokiego napięcia; 2) między uzwojeniem a jarzmem; 3) między uzwojeniami słupami.

Pozatem trzeba uważać, by szczeliny między poszczególnymi cewkami wysokiego napięcia były wystarczające ze względu na odprowadzenie ciepła.

Straty w miedzi uzwojeń winny być utrzymane w granicach narzuconych zgóry.

Po zaprojektowaniu i rozmieszczeniu uzwojeń, sprawdzamy napięcie zwarcia — czy się zgadza z zadaniem.

W wypadku niedopuszczalnej rozbieżności należy zmienić jedno lub kilka założeń, poczynionych przy obliczeniu obwodu magnetycznego i elektrycznego (np. współczynniki α , β , napięcie jednego zwoju, gdyż w tabeli były podane tylko wartości orientacyjne, indukcję B_s i t. p.) i rachunek przeprowadzić na nowo.

Rachunek zaczniemy od ustalenia liczby zwojów. Dokładną

liczbę zwojów strony wtórnej w_2 wyznaczyliśmy przy omawianiu obwodu magnetycznego. Obecnie szukamy przekładni fazowej:

$$\vartheta = \frac{V_{1f}}{V_{2f}}$$

(tak możemy napisać, ponieważ V_{1f} i V_{2f} są to napięcia przy biegu jałowym).

Liczba zwojów pierwotnych:

$$\boxed{w_1 = w_2 \vartheta}$$

Jeżeli strona wtórna była połączona w zygzak:

$$\boxed{w_1 = \frac{w_2}{1,15} \vartheta}$$

Po obliczeniu liczby zwojów przechodzimy do przekrojów s_1 i s_2 . W tym celu wyznaczamy prądy fazowe:

$$I_1 = \frac{P \cdot 1000}{m V_{1f}} \quad I_2 = \vartheta I_1.$$

gdzie m — liczba faz.

Przy wyznaczaniu przekrojów s_1 i s_2 wyjdziemy z założenia równych gęstości prądu w uzwojeniach strony pierwotnej i wtórnej $j_1 = j_2$.

Opieramy nasz rachunek na zadanych stratach w miedzi.

$$\Delta P_m = \Delta P_{m1} + \Delta P_{m2} \quad \dots (15)$$

gdzie ΔP_m — zadane straty w miedzi obu uzwojeń,

ΔP_{m1} straty w miedzi uzw. pierwotnego,

ΔP_{m2} straty w miedzi uzw. wtórnego.

Straty w miedzi poszczególnych uzwojeń możemy wyrazić za pomocą wzorów:

$$\Delta P_{m1} = \frac{m \rho l_{1sr} w_1 I_1^2}{s_1} = m \rho l_{1sr} (w_1 I_1) \frac{I_1}{s_1} = m \rho l_{1sr} (w_1 I_1) j_1 \quad \dots (16)$$

$$\Delta P_{m2} = \frac{m \rho l_{2sr} w_2 I_2^2}{s_2} = m \rho l_{2sr} (w_2 I_2) j_2 \quad \dots (17)$$

We wzorach tych m — liczba faz; ρ — oporność właściwa miedzi przy prądzie zmiennym, zależna jak wiemy poza temperaturą uzwojeń oraz wielkości i kształtu przekrojów; możemy z pewnem przybliżeniem przyjąć, że dla obu uzwojeń jest jednakowa. l_{1sr} i l_{2sr} —

średnie długości zwojów uzwojeń pierwotnego i wtórnego, j_1 i j_2 — gęstości prądu w uzwojeniu pierwotnym i wtórnym. W myśl założenia poprzedniego $j_1 = j_2$.

Stosunek strat:

$$\frac{\Delta P_{m1}}{\Delta P_{m2}} = \frac{m \rho l_{1sr} (w_1 I_1) j_1}{m \rho l_{2sr} (w_2 I_2) j_2} = \frac{l_{1sr}}{l_{2sr}} \frac{w_1 I_1}{w_2 I_2}$$

Przy uzwojeniach pierwotnym i wtórnym połączonych normalnie (w gwiazdę lub trójkąt) $w_1 I_1 = w_2 I_2$, wobec tego:

$$\frac{\Delta P_{m1}}{\Delta P_{m2}} = \frac{l_{1sr}}{l_{2sr}} \quad \dots (18)$$

Gdy uzwojenie wtórne jest połączone w zygzak: $w_2 I_2 = 1,15 w_1 I_1$

$$\frac{\Delta P_{m1}}{\Delta P_{m2}} = \frac{1}{1,15} \frac{l_{1sr}}{l_{2sr}} \quad \dots (19)$$

Wyznaczając z równania (18) $\Delta P_{m2} = \Delta P_{m1} \frac{l_{2sr}}{l_{1sr}}$ i podstawiając do zależności (15), otrzymamy:

$$\Delta P_m = \Delta P_{m1} + \Delta P_{m1} \frac{l_{2sr}}{l_{1sr}} = \Delta P_{m1} \left(1 + \frac{l_{2sr}}{l_{1sr}} \right) = \Delta P_{m1} \frac{l_{1sr} + l_{2sr}}{l_{1sr}} \quad \dots (20)$$

Już poprzednio mieliśmy: (16)

$$\Delta P_{m1} = \frac{m \rho l_{1sr} w_1 I_1^2}{S_1}$$

podstawiając tę wartość do równania (20):

$$\Delta P_m = \frac{m \rho w_1 I_1^2 (l_{1sr} + l_{2sr})}{S_1}$$

stąd

$$\left. \begin{aligned} S_1 &= \frac{m \rho w_1 I_1^2}{\Delta P_m} (l_{1sr} + l_{2sr}) \\ S_2 &= \frac{m \rho w_2 I_2^2}{\Delta P_m} (l_{1sr} + l_{2sr}) \end{aligned} \right\} \quad \dots (21)$$

Korzystając z równań (19), (15), (16), możemy otrzymać dla transformatora z uzwojeniem wtórnym, połączonym w zygzak:

$$\left. \begin{aligned} S_1 &= \frac{m \rho w_1 I_1^2}{\Delta P_m} (1,15 l_{2sr} + l_{1sr}) \\ S_2 &= \frac{m \rho w_2 I_2^2}{\Delta P_m} (l_{2sr} + 0,87 l_{1sr}) \end{aligned} \right\} \quad \dots (22)$$

We wzorach tych dla transformatorów mniejszych i średnich mocy możemy przyjąć $\rho = 0,00023 \Omega \text{ mm}^2/\text{cm}$ [o ile l_{1sr} i l_{2sr} są wyrażone w cm].

Pewną trudność przedstawia wyznaczenie l_{1sr} i l_{2sr} .

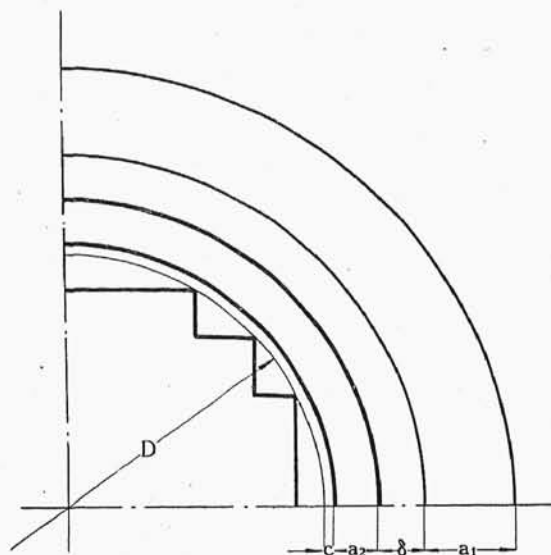
By obliczyć te średnie długości, musimy mieć, względnie oszacować długości zaznaczone na rysunku 239: D , c , a_1 , a_2 , δ .

Średnica D już jest obliczona; c — możemy przyjąć, jako $3 \div 4 \text{ mm}$. a_2 — grubość cewki niskiego napięcia. Według Korndorfera (ETZ 1930 r. str. 1674) u transformatorów, które mają $D < 200 \text{ mm}$:

$$a_2 = 8 \div 12 \text{ mm}.$$

a_1 — grubość cewki wysokiego napięcia. Według tegoż autora

$$(D < 200 \text{ mm}) \quad a_1 = 20 \div 30 \text{ mm}.$$



Rys. 239.

Szczelinę δ należy wziąć z tabeli XIV (VIII — 3 — a).

Przybliżone średnie długości zwojów:

$$\left. \begin{array}{l} \text{niskiego napięcia} \quad l_{2sr} \cong \pi (D + 2c + a_2) \\ \text{wysokiego napięcia} \quad l_{1sr} \cong \pi (D + 2c + 2a_2 + 2\delta + a_1). \end{array} \right\} \dots (23)$$

Przy uzwojeniach krążkowych średnie długości zwojów l_{1sr} i l_{2sr} są w przybliżeniu jednakowe — w każdym z uzwojeń mamy jednakowe straty.

Uwaga. Przy podanym sposobie wyznaczenia przekrojów do rachunku bezpośrednio nie wprowadziliśmy gęstości prądu (przyjmowaliśmy tylko, że są w obu uzwojeniach jednakowe).

Po znalezieniu przekrojów tę gęstość możemy sprawdzić:

$$j_1 = \frac{I_1}{S_1} \text{ i } j_2 = \frac{I_2}{S_2}$$

Według Richtera dla transformatorów mniejszych i średnich mocy (do 100 kVA) z chłodzeniem olejowym naturalnym — gęstość $j = 1,6 \div 3,0 \text{ A/mm}^2$.

Przy mocach większych według Korndorfer'a:

TABELA XX

Moc w kVA	gęst. w A/mm ² .
200	3,5
400	3,7
850	3,9
1700	4,2

Przy chłodzeniu powietrznym (transformator suchy) dopuszczalna gęstość jest mniejsza $1,2 \div 2$ A/mm².

Dalej przystępujemy do uzwojenia wysokiego napięcia. Dzielimy je na poszczególne cewki, wyodrębniamy cewki wstępne, ewentualnie służące do regulacji. Ustalamy kształt przekroju przewodu (często kołowy; przy niższych napięciach i większych mocach prostokątny), oraz rodzaj i grubość izolacji.

Obliczamy wysokość każdej z cewek (bieżącej, wstępnej regulacyjnej) i po przyjęciu szerokości szczeliny między cewkami, szukamy łącznej wysokości uzwojenia wysokiego napięcia H_w (patrz rys. 170). Dodając do tej wysokości niezbędne odległości uzwojeń wysokiego napięcia od jarzma (patrz VIII-3-a), otrzymujemy wysokość słupa $L_s = H_w + 2d$. Tę wysokość należy porównać z wysokością otrzymaną poprzednio (przy obliczeniach obwodu magnetycznego) — i wyniki uzgodnić.

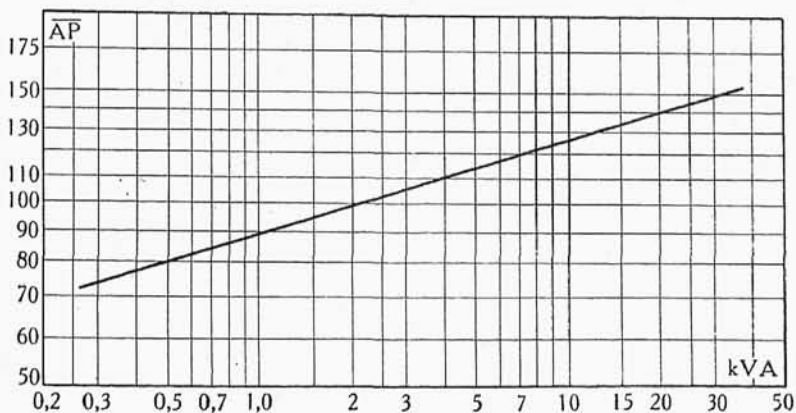
Mając H_w , możemy nadać ostateczne wymiary cewce niskiego napięcia ($H_N \simeq H_w$, patrz VIII-2-b). Zakładamy liczbę warstw w cewce, obliczamy liczbę zwojów w każdej warstwie, ustalamy kształt przekroju przewodu, obieramy rodzaj i grubość izolacji.

Po obliczeniu szerokości cewki wysokiego i niskiego napięcia i przyjęciu odległości między słupem a uzwojeniem niskiego napięcia, między uzwojeniami niskiego i wysokiego napięcia oraz między uzwojeniami sąsiednimi słupami (patrz VIII-3), możemy wyznaczyć ostateczną obliczeniową długość jarzma L_j , średnie długości zwojów l_{1sr} i l_{2sr} , ostateczne straty w żelazie i miedzi transformatora, oraz napięcie zwarcia. Przy znacznych rozbieżnościach tych ostatecznych wyników z wielkościami zadanymi — rachunek należy przeprowadzić na nowo.

Wszystko cośmy o projektowaniu powiedzieli, stanie się jasnym po przerobieniu przykładu liczbowego.

3. Przybliżone obliczenie głównych wymiarów transformatora.

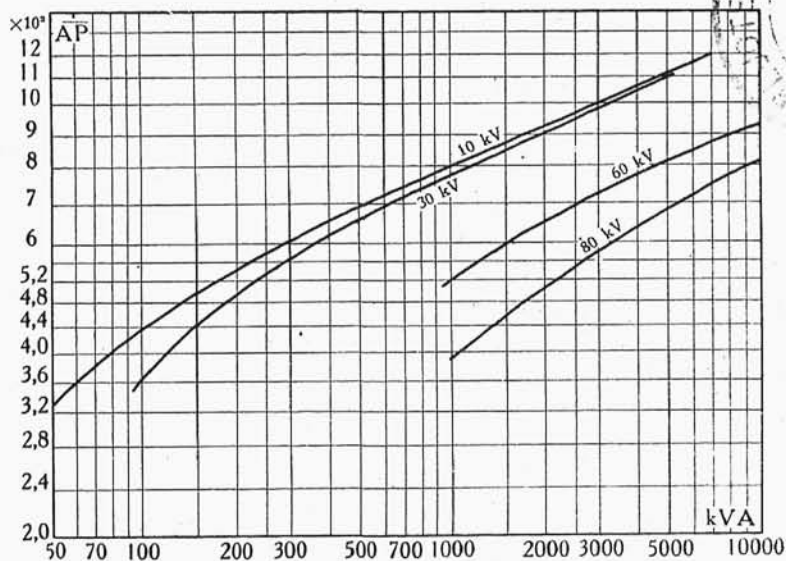
Podamy jeszcze kilka krzywych, korzystając z których można szybko wyznaczyć przybliżone wymiary transformatora.



Rys. 240.

Wykresy na rys. 240 i 241 dają nam zależność t. zw. obciążenia linowego słupa transformatora od jego mocy:

$$\overline{AP} = \frac{I_1 w_1 + I_2 w_2}{L_s}$$

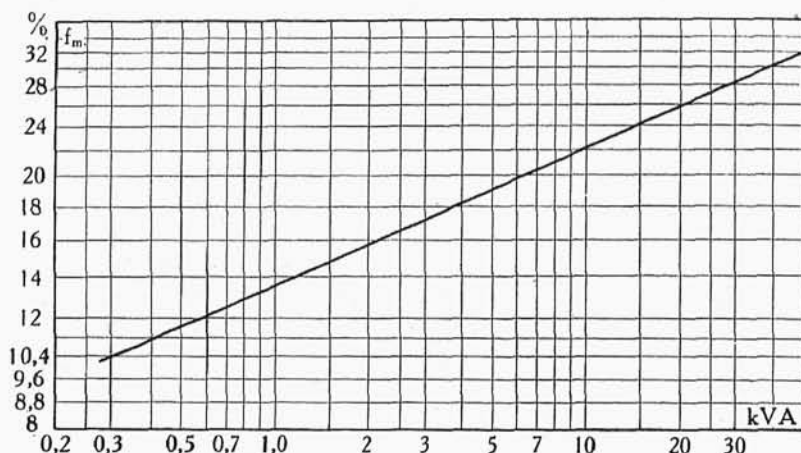


Rys. 241.

gdzie I_1 i I_2 — prądy uzwojeń pierwotnego i wtórnego; w_1 i w_2 — liczby zwojów, mieszczących się na słupie; L_s — wysokość słupa.

Rys. 240 — dla transformatorów suchych; rys. 241 — dla olejowych.

Im napięcie jest wyższe, tem obciążenie linjowe przy danej mocy wypada mniejsze. Przyczyna: wzrastająca z napięciem ilość izolacji.

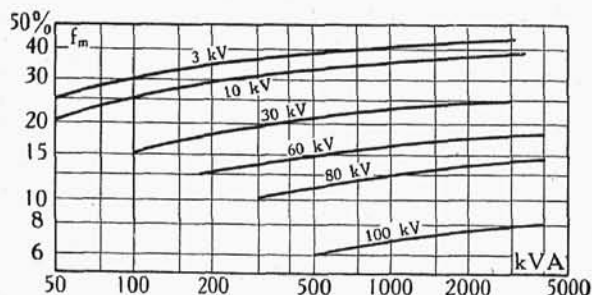


Rys. 422. 242

Wykresy na rys. 242 i 243 dają nam zależność współczynnika wypełnienia miedzią okna transformatora (f_m) — od mocy.

$$f_m = \frac{2 s_1 w_1 + 2 s_2 w_2}{L_s a} \quad \dots (25)$$

gdzie s_1 i s_2 — przekroje przewodów uzwojenia pierwotnego i wtórnego; a — szerokość okna.



Rys. 243.

Rys. 242 — dla transformatorów suchych; rys. 243 — dla olejowych.

Z tych samych względów, co poprzednio, im napięcie jest wyższe, tem współczynnik f_m mniejszy.

Przebieg rachunku jest następujący.

Z tabeli XVIII bierzemy napięcie na 1 zwój i obliczamy liczbę zwojów obu uzwojeń oraz strumień. Zakładamy indukcyjność w słupie B_s , wyznaczamy S_s i D .

Przyjmujemy następnie gęstości prądu i obliczamy przekroje s_1 i s_2 .

Dalej, z równania (24):

$$L_s = \frac{I_1 w_1 + I_2 w_2}{AP} \quad \dots (26)$$

Z równania (25):

$$a = \frac{2(w_1 s_1 + w_2 s_2)}{L_s f_m} \quad \dots (27)$$

Możemy teraz obliczyć długość jarzma L_j .

Wszystkie zasadnicze wielkości są już wyznaczone. Należy zwoje każdego z uzwojeń rozbić na poszczególne cewki, obliczyć straty mocy w żelazie i w miedzi, sprawdzić napięcie zwarcia — i w wypadku rozbieżności zmienić pewne założenia — tak by wyniki odpowiadały postawionym na początku wymaganiom.

4. Przykład liczbowy.

Zaprojektować transformator trójfazowy — chłodzenie naturalne olejowe. 75 kVA. Δ/\sim 15000/400/231 V., z regulacją napięcia w granicach $\pm 4\%$. Straty w żelazie — 540 W. Straty w miedzi $2,5\%$ = 1875 W. Napięcie zwarcia $V_{z\%} = 4,1\%$; $f = 50 \sim/\text{sek}$.

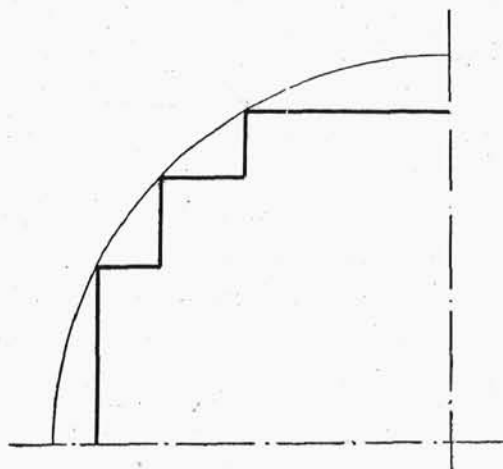
I. Obwód magnetyczny.

Blacha: $\Delta = 0,35 \text{ mm.}$,
z dużą domieszką krzemu,
 $\Delta p_z = 1,3 \text{ W/kg}$. Obieramy
kształt przekroju słupa,
jak na rys. 244.

Obliczamy stosunek
powierzchni $\frac{\square}{\bigcirc} = 0,845$ *).

Przyjmujemy $k_2 = 0,86$.
 $f_z = \frac{\square}{\bigcirc} k_2 = 0,845 \cdot 0,86 =$
 $= 0,726$ *).

Napięcie na 1 zwój



*) Patrz notkę na str. 207.

Rys. 244.