

Rysujemy rzut pudła z góry (rys. 255). Obliczamy długość obwiedni — 274 cm.

Wysokość falowanej części pudła:

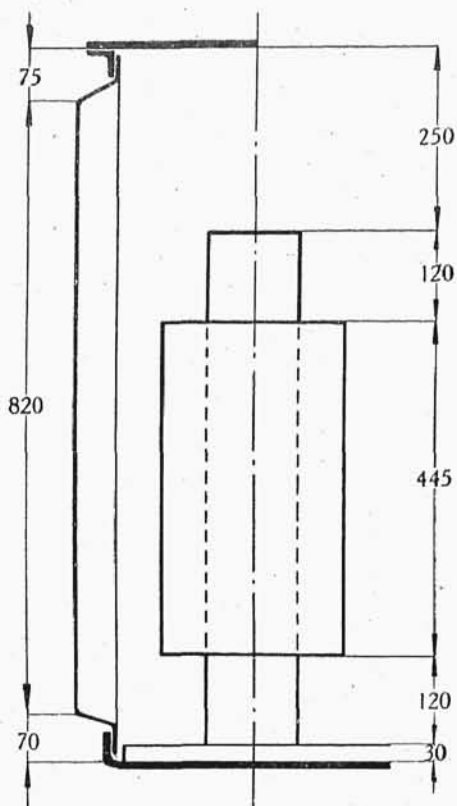
$$H_p = \frac{22400}{274} \approx 82 \text{ cm.}$$

Wysokość całkowita z rys. 256:

$$\begin{aligned} H'_p &= \\ &= 30 + 2 \times 120 + 445 + 250 = \\ &= 96,5 \text{ cm.} \end{aligned}$$

Grubość ścianki pudła:

$$\begin{aligned} g &= \frac{H'_p{}^3 \cdot 10^{-4}}{23 h \left(1 + \frac{h}{3b}\right)} = \\ &= \frac{96,5^3 \cdot 10^{-4}}{23 \cdot 5,2 \left(1 + \frac{5,2}{3 \times 2}\right)} \approx \\ &\approx 0,35 \text{ mm.} \end{aligned}$$



Rys. 256.

Podnosimy do 1 mm.

Dno jest wykonane z blachy o grubości 5 mm, pokrywa — 7 mm.

5. Transformatory wykonane.

Podamy jeszcze ciekawsze dane co do budowy kilku transformatorów.

a) *Transformator trójfazowy — chłodzenie olejowe naturalne.*

3500 kVA 46/6,07 kV. Δ/Δ $f = 50 \sim / \text{sek}$

Obwód magnetyczny.

$D = 45 \text{ cm.}$ $L_s = 100 \text{ cm.}$ Odstęp między osiami słupów — 77 cm;
 $L_j = 190 \text{ cm.}$ $S_s = S_j = 1140 \text{ cm}^2;$ $B_s = B_j = 12250 \text{ G.}$ Blacha o grubości 0,5 mm i stratności 1,3 W/kg.

Ciężar słupów 2600 kg.

Straty w żelazie słupów 6000 W

" jarzm 3300 "

" " " jarzm 7700 "

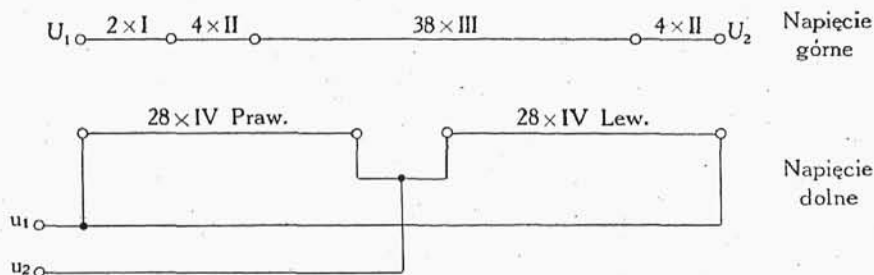
Razem 5900 kg.

Razem 13700 W

Obwód elektryczny.

$w_1 = 858$; $w_2 = 196$. Napięcie na 1 zw. — 31V.

Schemat rozmieszczenia uzwojenia na jednym słupie.



Rys. 257.

Napięcie górne.

- I. Cewki wstępne po 12 zwojów (12 warstw jednozwojnych)
Przekrój $2 \times 7/4,4 \times 9,4$ mm. 2 sztuki
- II. Cewki wstępne po 14 zwojów (14 warstw jednozwojnych)
Przekrój $2 \times 7/3,8 \times 8,8$ mm. 8 sztuk
- III. Cewki bieżące po 19 zwojów (19 warstw jednozwojnych)
Przekrój $2 \times 7/2,8 \times 7,8$ mm. 38 sztuk

Wysokość poosiowa uzwojenia, w założeniu że szczelina między poszczególnymi cewkami wynosi 7,5 mm.

$$2 \times 9,4 + 8 \times 8,8 + 38 \times 7,8 + 47 \times 7,5 \simeq 740 \text{ mm} = 74 \text{ cm.}$$

Średnice wewnętrzna i zewnętrzna cewek napięcia górnego wynoszą odpowiednio 63,5 cm. i 74,1 cm. Średnia długość zwoju

$$l_{1sr} = \pi \frac{63,5 + 74,1}{2} = 216 \text{ cm.}$$

Gęstość prądu: $j_1 = 3,14 \text{ A/mm}^2$.

Ciężar miedzi: $G_{m1} = 695 \text{ kg}$.

Straty w miedzi: $\Delta P_{m1} = 18500 \text{ W}$.

Chłodzenie uzwojenia (patrz VIII — 2 — f).

Powierzchnia chłodzenia cewek: $A'_c = 3 \times 48 \times 2,16 \times 0,12 \simeq 37,5 \text{ m}^2$.

Na 1 m^2 przypada $\frac{18500}{37,5} \simeq 500 \text{ W/m}^2$.

Napięcie dolne.

Uzwojenie składa się, jak wskazuje schemat, z dwóch gałęzi równoległych, umieszczonych jedna nad drugą, przyczem kierunek

nawinięcia cewek, z których składają się te gałęzie, jest przeciwny. W każdej gałęzi jest 28 cewek. Izolacja zwojów wszystkich cewek — jednakowa.

IV. Cewki po 7 zwojów (7 warstw jednozwojnych)

Przekrój $3,8 \times 8/5 \times 9,2$ mm . . . 2×28 sztuk

Wysokość poosiowa uzwojenia, w założeniu, że szczelina między cewkami wynosi 4,1 mm;

$$2 \times 28 \times 9,2 + 55 \times 4,1 = 74,0 \text{ cm.}$$

Średnice wewnętrzna i zewnętrzna cewek dolnego napięcia wynoszą odpowiednio 50,0 i 57,0 cm. Średnia długość zwoju:

$$l_{2sr} = \pi \frac{50 + 57}{2} = 168 \text{ cm.}$$

Gęstość prądu: $j_2 = 3,16 \text{ A/mm}^2$.

Ciężar miedzi: $G_{m2} = 536 \text{ kg}$.

Straty w miedzi: $\Delta P_{m2} = 15000 \text{ W}$.

Chłodzenie uzwojenia.

Powierzchnia chłodzenia cewek: $A_c'' = 3 \times 56 \times 1,68 \times 0,088 \approx 25 \text{ m}^2$.

Na 1 m^2 przypada $\frac{15000}{25} = 600 \text{ W/m}^2$.

Pudło olejowe. Wymiary w świetle: 244×90 cm. Wysokość 300 cm. Powierzchnia boczna pudła jest utworzona ze 108 fał o kształcie, jak na rys. 227. Wymiary: $h = 30$ cm. $q = t = 3$ cm.

Napięcie zwarcia: $v_{z\%} = 7,4\%$.

Sprawność przy $\cos \varphi = 1$ $\eta = 98,7\%$.

" " $\cos \varphi = 0,8$ $\eta = 98,4\%$.

Transformator wyżej opisany cechuje bardzo umiarkowane wyzyskanie zarówno żelaza, jak i miedzi.

Podamy teraz przykład transformatora, w którym wyzyskanie materiału, a zwłaszcza miedzi, jest wysokie.

b) *Transformator trójfazowy — chłodzenie olejowe naturalne.* 5000 kVA. 35/3 kV. \wedge/\wedge $f = 50 \sim / \text{sek}$. (rys. 258).

Obwód magnetyczny.

Przekrój słupa jest wpisany w owal. Osie dłuższa i krótsza odpowiednio wynoszą 44 cm i 37 cm. $L_s = 110$ cm.

Odstęp między osiami słupów — 65 cm.; $L_r = 156$ cm. $S_s = 1048 \text{ cm}^2$, $S_j = 1223 \text{ cm}^2$; $B_s = 14450 \text{ G}$; $B_j = 12400 \text{ G}$.

Blacha o grubości 0,5 mm i stratności 1,3 W/kg.

Ciężar słupów 2630 kg.

Straty w żelazie słupów 8300 W.

Ciężar jarzm 2900 kg.

Straty w żelazie jarzm 6800 W.

Razem 5530 kg.

Razem 15100 W.

Obwód elektryczny.

$w_1 = 600$; $w_2 = 52$. Napięcie na 1 zwoj — 33,7 V.

Uzwojenie jednego słupa.

Napięcie górne.

I. Cewki wstępne po 10 zwojów (10 warstw jednozwojnych)

Przekrój $1,7 \times 10/3,2 \times 11,5$ mm. 4 sztuki

II. Cewki bieżące po 10 zwojów (10 warstw jednozwojnych)

Przekrój $2,2 \times 7,5/3,2 \times 8,5$ mm. 56 sztuk.

Wysokość poosiowa uzwojenia, w założeniu, że szczelina między poszczególnymi cewkami wynosi 7,5 mm:

$$11,5 \times 4 + 8,5 \times 56 + 7,5 \times 59 = 96,3 \text{ cm.}$$

Średnia długość zwoju: $l_{sr} = 195$ cm.

Gęstości prądu: cewki wstępne: $j'_1 = 4,85$ A/mm²; cewki bieżące: $j''_1 = 5,0$ A/mm².

Ciężar miedzi: $G_{m1} = 516$ kg.

Straty w miedzi: $\Delta P_{m1} = 33600$ W.

Powierzchnia chłodzenia cewek: $A'_c = 3 \times 60 \times 1,95 \times 0,08 = 28$ m².

Na 1 m² przypada $\frac{33600}{28} = 1200$ W/m².

Napięcie dolne.

Uzwojenie składa się z jednej jednowarstwowej cewki o 52 zwojach.

Cewka jest prowadzona w 4 gałęziach równoległych; zwoje poszczególnych gałęzi są położone jeden obok drugiego. By każda z gałęzi znajdowała się pod wpływem jednakowych pól rozproszenia, zastosowano przeplatanie warstw, podobnie jak na rys. 168.

Przekrój przewodu: $5 \times 11/6 \times 12$ mm.

Wysokość poosiowa uzwojenia, w założeniu, że szczelina między poszczególnymi zwojami wyniesie 6,5 mm:

$$53 \times 12 + 51 \times 6,5 = 96,6 \text{ cm.}$$

Średnia długość zwoju: $l_{2sr} = 152$ cm.

Gęstość prądu: $j_2 = 4,37$ A/mm².

Ciężar miedzi: $G_{m2} = 465$ kg.

Straty w miedzi: $\Delta P_{m2} = 24500$ W.

Powierzchnia chłodzenia cewek (VIII—2—f):

$$A''_c = 3 \times 52 \times 1,52 (8 \times 0,006 + 3 \times 0,012) \approx 20 \text{ m}^2;$$

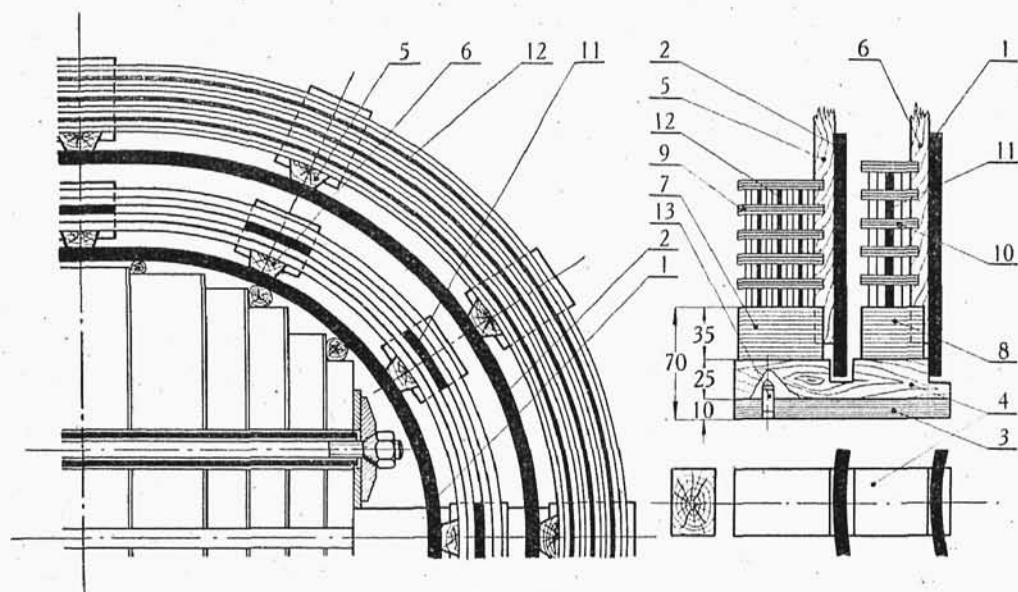
Na 1 m² przypada $\frac{24500}{20} = 1225$ W/m².

Chłodzenie. Przy tak dużych stratach odprowadzenie ciepła za pomocą ścianek falowanych pudła olejowego okazuje się niewystarczające, należy oprócz tego zastosować radiatory.

Wymiary pudła w świetle $82,0 \times 200,0$ cm. Wysokość 250,0 cm.

Powierzchnia boczna pudła jest utworzona z 80 fal o kształcie jak na rys. 227. Wymiary: $h = 30$ cm; $q = 1,5$ cm; $t = 5,5$ cm.

Pozatem pudło jest zaopatrzone w 16 radiatorów, każdy z 16 fal o wymiarach: $h = 10$ cm; $q = 1,2$ cm; $t = 3,3$ cm.



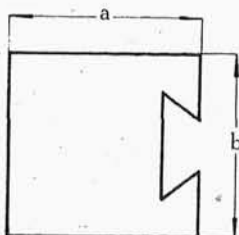
Rys. 258.

Na rys. 258 mamy przekrój poprzeczny i podłużny przez uzwojenia opisanego transformatora. Należy tu zwrócić uwagę na kanały chłodzące, umożliwiające one swobodne krążenie oleju dookoła każdej z cewek.

Opis izolacji.

1. Tuleja z papieru bakelizowanego $378/390 \times 448/460 \times 1050$ mm.
2. Tuleja z papieru bakelizowanego $495/510 \times 565/580 \times 1050$ mm.
3. Pierścień owalny z papieru bakel. $380/630 \times 450/580 \times 10$ mm.
4. Kłosek drewniany $126 \times 40 \times 25$ mm.
5. Klin drewniany $25/14 \times 13 \times 1015$ mm.
6. Klin drewniany $21/14 \times 10 \times 1015$ mm.
7. Kłosek z papieru bakelizowanego $40 \times 50 \times 35$ mm.
8. Kłosek z papieru bakelizowanego $40 \times 37 \times 35$ mm.

9. Przekładki międzycewkowe z papieru bakeliz. o kształcie:



$$a = 50 \text{ mm.} \quad b = 48 \text{ mm.}$$

10. — jak wyżej: $a = 37 \text{ mm.}$ $b = 48 \text{ mm.}$

11. Przekładka z papieru bakelizowanego $5 \times 40 \times 12 \text{ mm.}$

12. Przekładka z papieru bakelizowanego o grubości 2 mm. i szerokości 8,5 mm.

13. Kółek drewniany $\varnothing 7 \times 10 \text{ mm.}$

c) *Transformator trójfazowy chłodzony powietrzem.*

$$1 \text{ kVA} \quad 220/20 \text{ V.} \quad \Delta/\Delta \quad f = 50 \sim / \text{sek.}$$

Obwód magnetyczny.

$D = 6,8 \text{ cm.}$ $L_s = 14,2 \text{ cm.}$ Odstęp między osiami słupów 11,4 cm, $L_j = 28,6 \text{ cm,}$ $S_s = 24 \text{ cm}^2,$ $S_j = 26 \text{ cm}^2,$ $B_s = 11000 \text{ G.}$ $B_j = 10200 \text{ G,}$ Blacha o grubości 0,35 mm i stratności 1,3 W/kg.

Ciężar słupów 7,8 kg. Straty w żelazie słupów 14,2 W.

Ciężar jarzm 11,4 kg. Straty w żelazie jarzm 17,8 W.

Razem 19,2 kg. Razem 32,0 W.

Obwód elektryczny.

$w_1 = 216 \text{ zw/słup,}$ $w_2 = 20 \text{ zw/słup.}$ Napięcie na 1 zwój — 1 V.

Przy tak małej mocy można odstąpić od ogólnej zasady budowy uzwojeń transformatora suchego i dać, zamiast zwykle używanego uzwojenia krążkowego, uzwojenie cylindryczne.

Napięcie górne.

$$\varnothing \frac{1,25}{1,45} \text{ mm. Gęstość prądu: } j_1 = 2,15 \text{ A/mm}^2.$$

Uzwojenie wykonane, jako cewka trójwarstwowa po 72 zwoje w warstwie. Między warstwami przekładka z papieru o grubości 0,1 mm.

Średnica wewnętrzna cewki — 9,8 cm, zewnętrzna — 10,72 cm.

Średnia długość zwoju: $l_{sr} = 32,2$ cm.

Ciężar miedzi: $G_{m1} = 2,26$ kg.

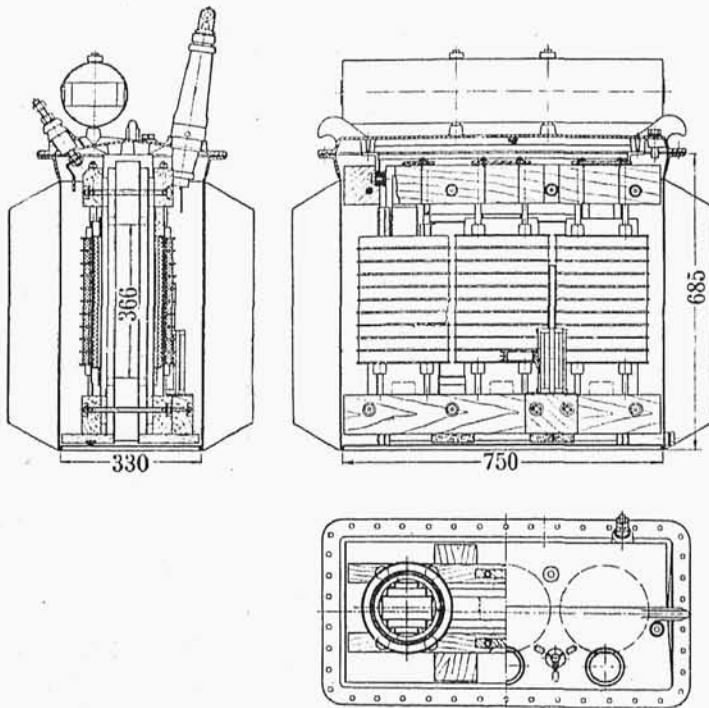
Straty w miedzi: $\Delta P_{m1} = 26,8$ W.

Napięcie dolne.

$\frac{5,3 \times 2,6}{5,7 \times 3,0}$ mm. Gęstość: $j_2 = 2,12$ A/mm².

Uzwojenie wykonane, jako cewka jednowarstwowa z 20 zwojów.

Średnica wewnętrzna cewki — 7,2 cm, zewnętrzna — 7,8 cm.



Rys. 259,

Średnia długość zwoju: $l_{sr} = 23,6$ cm.

Ciężar miedzi: $G_{m2} = 1,74$ kg.

Straty w miedzi: $\Delta P_{m2} = 20,6$ W.

d) *Transformator olejowy, chłodzenie naturalne* (rys. 259),
firmy Bergmann 50 kVA; 10000/400 V.; λ/λ ; 50 ~/sek.

Obwód magnetyczny.

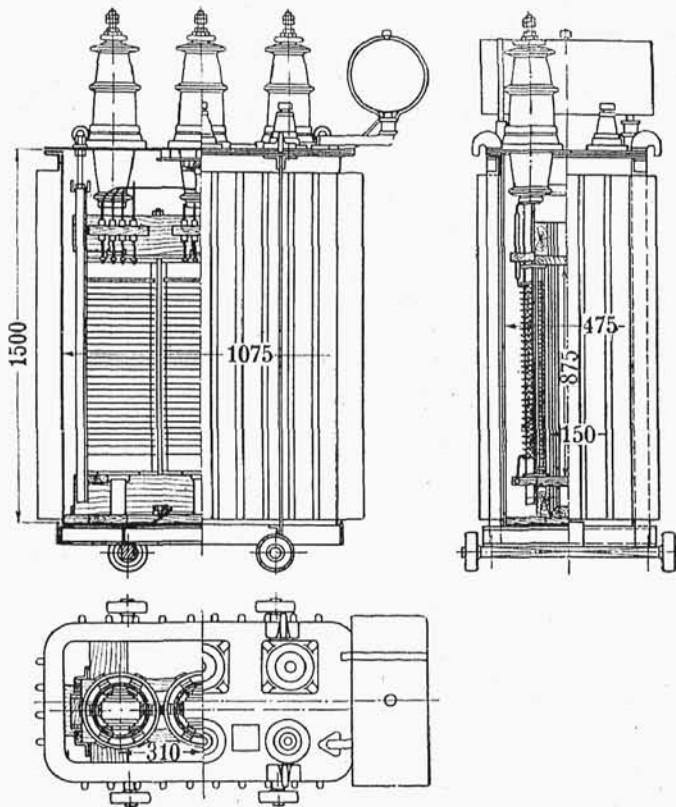
Blacha 0,35 mm o stratności 1,3 W/kg. $S_s = 97 \text{ cm}^2$; $S_j = 122 \text{ cm}^2$;
 $l_s = 36,6 \text{ cm}$. Szerokość okna — 10 cm. Ciężar żelaza: $G_z = 182 \text{ kg}$.
Straty w żelazie: $\Delta P_z = 375 \text{ w}$.

Obwód elektryczny.

$w_1 = 2165 \pm 87 \text{ zw/słup}$; regulacja napięcia w granicach $\pm 4\%$.
Zaczepy przy punkcie zerowym. $s_1 = 0,95 \text{ mm}^2$ ($\varnothing 1,1 \text{ mm}$);
 $w_2 = 2 \times 50 \text{ zw/słup}$. $s_2 = 27 \text{ mm}^2$.

Ciężar miedzi obu uzwojeń 75 kg. Straty w miedzi obu uzwojeń 1350 W. Napięcie zwarcia 3,8%.

e) *Transformator olejowy chłodzenie naturalne* (rys. 260).
firmy Maffei — Schwartzkopf. 160 kVA, 35000/5200 V. Δ / Δ 50~/sek.



Rys. 260.

Obwód magnetyczny.

Blacha 0,35 mm, o stratności 1,3 W/kg. $S_s = 160 \text{ cm}^2$;
 $S_j = 206 \text{ cm}^2$; $L_j = 87,5 \text{ cm}$. Szerokość okna — 16,0 cm. Ciężar żelaza:
 $G_z = 565 \text{ kg}$, Straty w żelazie: $\Delta P_z = 1500 \text{ W}$.

Obwód elektryczny.

$w_1 = 4094 \text{ zw/słup}$, $s_1 = 0,785 \text{ mm}^2$ ($\varnothing 1,0 \text{ mm}$.) $w_2 = 608 \text{ zw/słup}$.
 $s_2 = 2 \times 3,5 = 7,0 \text{ mm}^2$.

Ciężar miedzi obu uzwojeń — 155 kg. Straty w miedzi obu
uzwojeń — 3200 W.

Napięcie zwarcia — 4,15⁰/₀.