

## ROZDZIAŁ III.

### SPRAWNOŚĆ.

Sprawnością nazywamy stosunek mocy rzeczywistej oddanej przez transformator ( $P_2$ ) do mocy rzeczywistej przez niego pobranej ( $P_1$ )

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}$$

Możemy napisać:  $P_1 = P_2 + \Delta P_z + \Delta P_m$ , gdzie  $\Delta P_z$  — straty w żelazie transformatora;  $\Delta P_m$  — straty w miedzi.

$$\boxed{\eta = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P_z + \Delta P_m}} \quad \dots (1)$$

Moc strony wtórnej:  $P_2 = m V_2 I_2 \cos \varphi_2$ .

Straty w miedzi:  $\Delta P_m = m I_1^2 r_z = m I_2^2 \frac{1}{\vartheta^2} r_z \quad \left[ I_1 = I_2 \frac{1}{\vartheta} \right]$

Podstawiając, otrzymamy:

$$\eta = \frac{m V_2 I_2 \cos \varphi_2}{m V_2 I_2 \cos \varphi_2 + \Delta P_z + m I_2^2 \frac{1}{\vartheta^2} r_z} \quad \dots (2)$$

Spróbujmy wyznaczyć warunki, kiedy sprawność osiąga maksimum.

W tym celu nasze równanie różniczkujemy względem  $I_2$ .

Wprowadzimy uprzednio pewne oznaczenia:

$$m V_2 \cos \varphi_2 = a \qquad m \frac{1}{\vartheta^2} r_z = b.$$

Wielkości te nie są zależne od obciążenia ( $V_2$  — nieco się zmienia wraz z obciążeniem, lecz bardzo nieznacznie) i mogą być traktowane jako stałe.

$$\eta = \frac{a I_2}{a I_2 + \Delta P_z + b I_2^2}$$

$$\frac{d\eta}{dI_2} = \frac{a(a I_2 + \Delta P_z + b I_2^2) - a I_2(a + 2 I_2 b)}{[a I_2 + \Delta P_z + b I_2^2]^2} = 0.$$

$$a I_2 + \Delta P_z + b I_2^2 - a I_2 - 2 I_2^2 b = 0,$$

skąd

$$\boxed{\Delta P_z = I_2^2 b = I_2^2 m \frac{1}{0.2} r_z = \Delta P_m.} \quad (3)$$

Widzimy zatem, że sprawność osiąga swe maksimum, gdy straty w żelazie są równe stratom w miedzi.

Wynik ten daje nam pewne wskazania konstrukcyjne.

Jeżeli transformator ma pracować stale przy swem obciążeniu nominalnem (do takich warunków pracy zbliżamy się przy transformatorach siłowych), należy budować transformator tak, by straty w miedzi przy obciążeniu nominalnem równały się stratom w żelazie.

Transformatory, przeznaczone do zasilania instalacji oświetleniowych, w ciągu krótkiego czasu mogą nawet być przeciążone, natomiast większą część doby pozostają niedociążone. Tutaj jest wskazanem, by największa sprawność transformatora przypadała na okres najdłuższy pracy, czyli na okres niedociążenia.

W transformatorach oświetleniowych maksimum sprawności występuje zazwyczaj przy 60 do 50% obciążenia nominalnego, co przy pełnem obciążeniu (nominalnem) daje stosunek strat w miedzi do strat w żelazie

$$\frac{\Delta P_m}{\Delta P_z} = 3 \div 4.$$

*Przykład.*

Transformator o mocy 100 kVA, straty w żelazie  $\Delta P_z = 600$  W.; straty w miedzi  $\Delta P_m = 2,1\% = 2100$  W.

Obliczyć: 1) sprawność przy 100% obc. i  $\cos \varphi_2 = 1,0$

2) " " " " i  $\cos \varphi_2 = 0,5$

3) " maksymalną przy  $\cos \varphi_2 = 1,0$

4) " " "  $\cos \varphi_2 = 0,5$

$$1) \quad \eta = \frac{100 \cdot 1,0}{100 \cdot 1,0 + 0,6 + 2,1} = 0,974.$$

$$2) \quad \eta = \frac{100 \cdot 0,5}{100 \cdot 0,5 + 0,6 + 2,1} = 0,949.$$

3) Sprawność max. wystąpi przy pewnym obciążeniu  $P$ , dla którego  $\Delta P_m = \Delta P_z = 600$  W. Straty w miedzi są proporcjonalne do kwadratu prądu, czyli przy stałym napięciu — do kwadratu mocy pozornej

$$\left(\frac{P}{100}\right)^2 = \frac{600}{2100}.$$

skąd

$$P = 100 \sqrt{\frac{600}{2100}} = 53,4 \text{ kVA}.$$

$$\eta = \frac{53,4 \cdot 1,0}{53,4 \cdot 1,0 + 0,6 + 0,6} = 0,978.$$

$$4) \quad \eta = \frac{53,4 \cdot 0,5}{53,4 \cdot 0,5 + 0,6 + 0,6} = 0,958.$$

Porównywując wyniki rozwiązań punktów (1) i (3) oraz (2) i (4), widzimy, że, istotnie, sprawności w wypadku  $\Delta P_z = \Delta P_m$  są wyższe niż przy 100% obciążenia.

Sprawność transformatorów jest naogół wysoka.

Podamy tutaj dla przykładu tabelę sprawności transformatorów przy  $\cos \varphi_2 = 1$ , zaczerpniętą z katalogu jednej z firm krajowych.

TABELA III.

1	Moc w kVA.	50	75	100	200	400	640	1000	1600
2	Sprawność w %	3000 V 96,54	96,80	97,08	97,63	97,91	98,12	98,33	98,48
3		30000 V 96,01	96,47	96,71	97,32	97,74	98,0	98,22	98,38

Porównywując ze sobą wiersze 2 i 3 widzimy, że sprawność przy tej samej mocy ze wzrostem napięcia maleje. Tłumaczy się to tem, że przy wyższym napięciu uzwojenie wymaga więcej izolacji, a przez to zajmuje więcej miejsca: słup, by na nim zmieściło się uzwojenie, należy dać wyższy; odstęp między słupami nieco większy — dłuższe jarzmo. W rezultacie mamy większe straty w żelazie (np. dla transform. o mocy 100 kVA przy 3000 V, straty w żelazie wynoszą 600 W, zaś przy 30000 V — 850 W).

Przy wyższym napięciu również będą nieco większe straty w miedzi — ze względu na większą średnią długość zwoju wyższego napięcia.

Niekiedy (przy transformatorach o zmiennym obciążeniu np. przy transformatorach oświetleniowych) jest używane *pojęcie rocznej, względnie dziennej sprawności*. Jest to stosunek energii użytecznej, oddanej przez stronę wtórną w ciągu roku (względnie doby), do energii, doprowadzonej do transf. w tym samym czasie (równej energii użytecznej plus straty energii w miedzi uzwojeń i żelazie).

Sprawność roczna wyrazi się wzorem:

$$\eta_r = \frac{\sum_{1}^n t_n P_{2n}}{\sum_{1}^n t_n P_{2n} + \sum_{1}^n t_n \Delta P_{mn} + 365 \cdot 24 \cdot \Delta P_z} \quad (4)$$

W tym wzorze  $n$  oznacza liczbę okresów czasu w ciągu roku, podczas których transformator po stronie wtórnej oddaje moc  $P_{21}, P_{22}, P_{23} \dots P_{2n}$ .

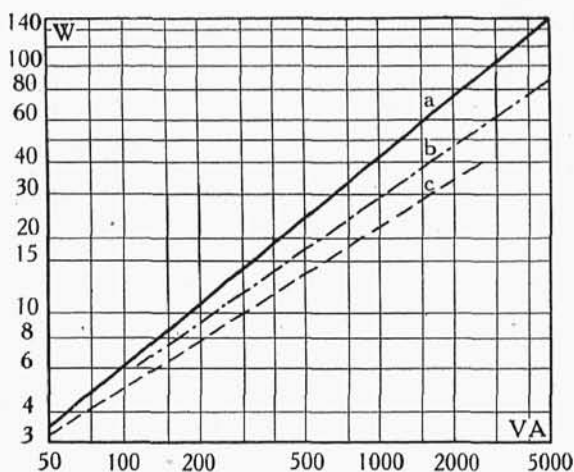
Czas trwania poboru każdej z tych mocy (wyrażony w godzinach) oznaczmy przez  $t_1, t_2, t_3 \dots t_n$ .

Straty w miedzi (w obu uzwojeniach), odpowiadające tym okresom czasu są oznaczone  $\Delta P_{m1}, \Delta P_{m2}, \Delta P_{m3} \dots \Delta P_{mn}$ .

Straty mocy w żelazie w ciągu całego roku są stałe  $\Delta P_z$ .

Straty roczne energii w żelazie, o ile transformator jest stale załączony na sieć pierwotną, wyniosą  $365 \times 24 \times \Delta P_z$  kilowatogodzin (w założeniu że rok posiada 365 dni).

Sprawność dzienna wyrazi się podobnie.



Rys. 76.

Na zakończenie podamy jeszcze parę krzywych, dających zależność przeciętnych strat w miedzi i żelazie ( $f = 50 \sim/\text{sek.}$ ) transformatora od jego mocy.

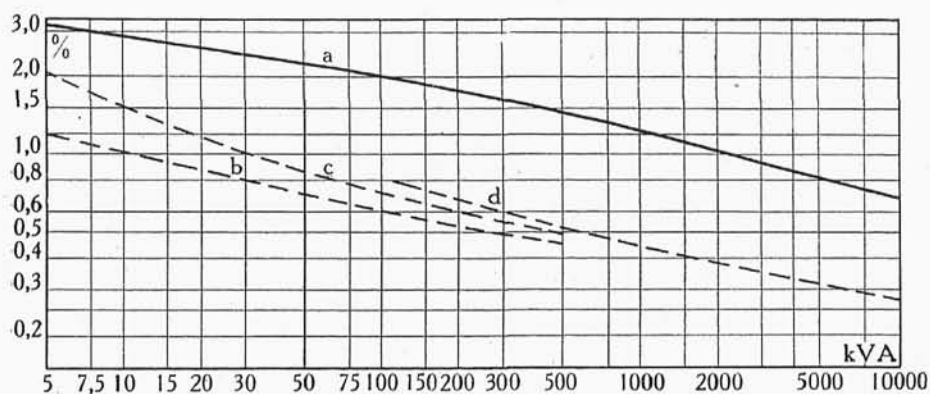
Wykres 76 jest sporządzony dla jednostek małych — do 5 kVA. Rodzaj chłodzenia — powietrznego czy olejowego — tutaj nie odgrywa roli.

Krzywa *a* — straty w miedzi transf. jedno i trójfazowych

„ *b* „ w żelazie „ trójfazowych

„ *c* „ „ „ „ jednofazowych.

Na wykresie 77 mamy straty w transformatorach trójfazowych olejowych przy chłodzeniu naturalnem.



Rys. 77.

Krzywa *a* — straty w miedzi przy układzie połączeń  $\Delta/\Delta$ .

Krzywa *b* — straty w żelazie ( $f = 50 \sim/\text{sek.}$ ) przy przekładni 5000/231 V.

Krzywa *c* — straty w żelazie ( $f = 50 \sim/\text{sek.}$ ) przy przekładni 20000/231 V.

Krzywa *d* — straty w żelazie ( $f = 50 \sim/\text{sek.}$ ) przy napięciach wyższych.