

### Nomogram do szybkich obliczeń transformatorów

W celu szybkiego obliczenia transformatora korzystamy z odpowiedniego nomogramu przyjmując indukcyjność  $B$  średnio 1–1,2 T, natomiast dla transformatorów włączanych na stałe  $B = 0,8$  T.

Moc transformatora wynosi:

$$P_1 = \sum U_n \cdot I_n \cdot 1,2$$

Linia poprowadzona na nomogramie od osi mocy ( $P$ ) lub przekroju ( $s$ ) do osi indukcyjności ( $B$ ) wyznacza  $\left(\frac{Z}{U}\right)$  zwoje przypadające na 1V. Ponieważ

$\frac{Z}{U} \times$  napięcie uzwojenia = liczba zwojów więc łatwo wyliczyć pozostałe parametry naszego transformatora. Ze względu na spadki napięć, liczbę zwojów w pierwotnym uzwojeniu transformatora zmniejszamy o 10%, a w uzwojeniu wtórnym zwiększamy o 5% (jak w poprzednim sposobie obliczeń).

**Przykład.** Napięcie sieci = 220 V, napięcia uzwojeń wtórnych:  $U_2 = 30$  V,  $U_3 = 6$  V,  $U_4 = 4$  V, prądy  $I_2 = 0,6$  A,  $I_3 = 2$  A,  $I_4 = 1$  A. Obliczyć liczbę zwojów i średnice drutów nawojowych tego transformatora.

$P_1 = \sum P \cdot 1,2 = 1,2(30 \cdot 0,6 + 6 \cdot 2 + 4 \cdot 1) = 41,5$  VA. Można użyć więc kształtek EI102 o grubości pakietu 2,5 cm.

Przyjmujemy indukcyjność  $B = 1$  T, a więc:

$$s = d \cdot f = 3,4 \cdot 2,5 = 8,5 \text{ cm}^2$$

Przez punkt 1 T i  $s = 8,5 \text{ cm}^2$  prowadzimy prostą i na wewnętrznej osi odczytujemy liczbę zwojów na 1 V:

$$\frac{z}{U} = 5,2 \text{ zw/V}$$

Liczba zwojów poszczególnych uzwojeń wynosi:

$$z_1 = (220 \text{ V} \cdot 5,2) - 10\% = 1045 \text{ zw.}$$

$$z_2 = (30 \cdot 5,2) + 5\% = 164 \text{ zw.}$$

$$z_3 = (6 \cdot 5,2) + 5\% = 34 \text{ zw.}$$

$$z_4 = (4 \cdot 5,2) + 5\% = 22 \text{ zw.}$$

Przekroje drutów nawojowych odczytujemy z linii po prawej stronie nomogramu.

Na koniec obliczamy średnice drutów nawojowych:

$$I_{11} = \frac{P_1}{U} = \frac{41,5 \text{ VA}}{220 \text{ V}} = 0,19 \text{ A}$$

$$d_1 = 0,35 \text{ mm}$$

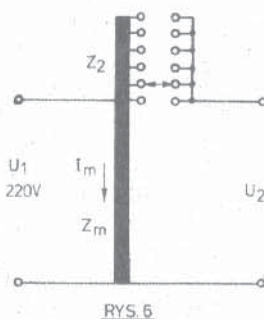
$$d_3 = 1,2 \text{ mm}$$

$$d_2 = 0,55 \text{ mm}$$

$$d_4 = 0,8 \text{ mm}$$

### Autotransformator

Ze względu na wahania napięcia sieci zasilającej, często stosujemy transformatory regulacyjne nazywane autotransformatorem. Charakteryzują się one mocą przechodnią, tzn. taką, jaka wytwarza się przy spadkach napięć. Właściwe uzwojenie transformatora wytwarza tylko strumień podmagnesowujący (rys. 6).



RYS. 6

Przykład obliczenia autotransformatora: napięcie sieci  $U_1 = 220$  V waha się w granicach +10% do -20%, co odpowiada  $U_{\min.} = 180$  V,

$$U_{\max.} = 240 \text{ V.}$$

Moc odbiornika  $P_2 = 220$  W, prąd  $I_2 = 1$  A.

Różnica napięć:

$$\Delta U = 240 - 180 = 60 \text{ V.}$$

$$\Delta P = \Delta U I_2 = 60 \text{ V} \cdot 1 \text{ A} = 60 \text{ VA}$$

Takiej mocy musi dostarczyć autotransformator.

Przekrój rdzenia:

$$s = \sqrt{\frac{\Delta P}{0,9}} = \sqrt{\frac{60}{0,9}} = 8 \text{ cm}^2$$

Współczynnik wykorzystania rdzenia przyjmujemy 0,9.

Liczba zwojów:

$$\frac{z}{U} = \frac{45}{s} = \frac{45}{8} = 5,6 \text{ zw/V.}$$

Prąd magnesujący rdzeń:

$$I_m = \frac{\Delta P}{U_1} = \frac{60 \text{ VA}}{220 \text{ V}} = 0,27 \text{ A}$$

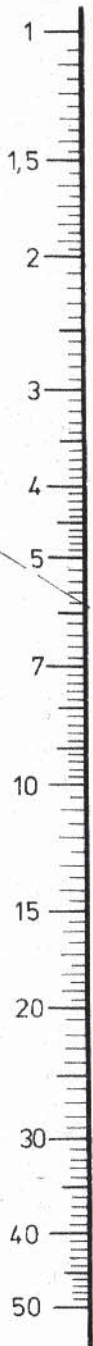
Średnicę drutu  $d_1$  znajdziemy w tabelcy 2 lub odczytamy z nomogramu:

$$d_1 = 0,4 \text{ mm}, \quad d_2 = 0,8 \text{ mm.}$$

B (T)



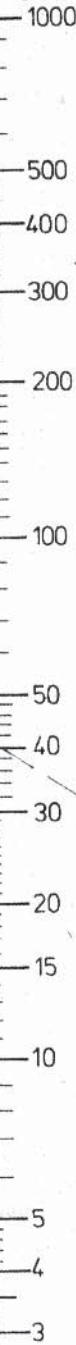
$\frac{N}{U} \left( \frac{ZW}{V} \right)$



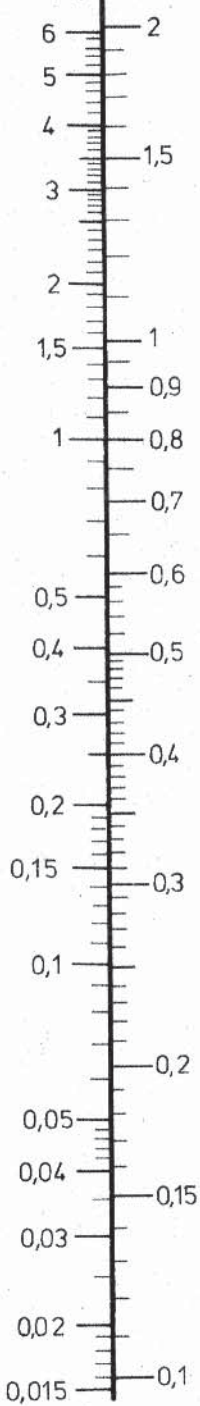
S (cm<sup>2</sup>)



P<sub>0</sub> (VA)



I (A) d (mm)



A więc liczba zwojów będzie wynosiła:

$$Z_m = 180 \text{ V} \cdot 5,6 = 1000 \text{ zw.}$$

$$Z_2 = 60 \text{ V} \cdot 5,6 = 336 \text{ zw.}$$

Można również wyprowadzić z uzwojenia autotransformatora np. 12 odczepów po 28 zwojów, co zapewni regulację napięcia z dokładnością do  $\pm 2\%$ .

### Transformatory do pracy dorywczej i przerywanej

Omówione dotychczas transformatory przystosowane były do pracy w dowolnie długim czasie, tzn. do pracy ciągłej. Oprócz nich budowane są również transformatory przeznaczone do pracy dorywczej lub do pracy przerywanej. Praca dorywcza polega na krótkim obciążeniu transformatora mocą znacznie większą od mocy znamionowej, a następnie wyłączeniu transformatora i oczywiście ochłodzeniu w ten sposób jego elementów. Praca przerywana transformatora polega na okresowym obciążeniu go mocą również większą od znamionowej. W przerwach, między włączeniami transformatora, następuje jego częściowe ochłodzenie, ale przy tego rodzaju pracy transformator pracuje zawsze w podwyższonej temperaturze.

Okres obciążenia i przerwy stanowi jeden cykl pracy, na ogół nie trwający dłużej niż 10 minut:

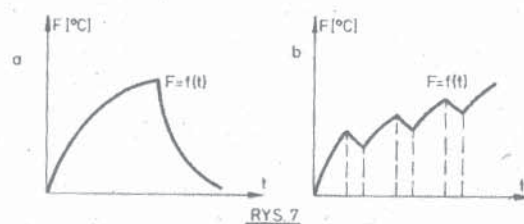
$$T = \frac{t_1}{t_1 + t_2}$$

gdzie:

T – względny czas włączenia transformatora,

$t_1$  – czas obciążenia,

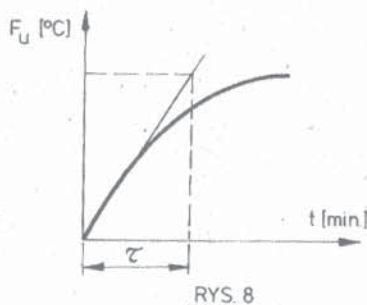
$t_2$  – czas przerwy (stygnięcie).



Rys. 7 przedstawia wykresy temperatury uzwojeń transformatorów w funkcji czasu: a – podczas pracy dorywczej, b – podczas pracy przerywanej.

Do obliczenia mocy, jaką możemy pobrać z transformatora przy pracy dorywczej, należy stosować wzór:

$$P_d = \frac{P_c}{\sqrt{1-2,72^T}}$$



$P_d$  – moc przy pracy dorywczej,

$P_c$  – moc przy pracy ciągłej,

$\tau$  – stała czasowa nagrzewania.

Stalą czasową można wyznaczyć doświadczalnie. W tym celu transformator trzeba obciążyć znamionową mocą i co jakiś określony czas, np. co 2 minuty, mierzyć temperaturę jego uzwojeń. Następnie wyniki pomiarów należy nanieść na osie współrzędnych (rys. 8). Nanoszenie temperatury uzwojeń na osi x kończymy z chwilą nagrzania uzwojenia do temperatury ustalonej ( $F_u$ ), która jest maksymalną, dopuszczalną temperaturą dla danego transformatora. Dopuszczalna temperatura zależy wyłączenie od termicznej wytrzymałości izolacji uzwojeń i może wynosić np.  $65^\circ\text{C}$ ,  $80^\circ\text{C}$  itd. Otrzymane punkty pomiarowe łączymy linią krzywą stanowiącą termiczny wykres pracy transformatora. Teraz, z punktu przecięcia się osi współrzędnych, prowadzimy linię prostą, styczną do termicznego wykresu pracy transformatora. Przecięcie linii stycznej z linią poziomą, równoległą do osi y i przechodzącą przez punkt odpowiadający temperaturze ustalonej, da nam stałą czasową, którą odczytamy w minutach na osi czasu (oś x).

Jeżeli będziemy chcieli obliczyć moc transformatora przystosowanego do pracy przerywanej, to najpierw trzeba ustalić, jaką moc i w jakim czasie będziemy pobierali z tego transformatora. Dla trzech mocy chwilowych ( $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ ) oddawanych w różnych czasach ( $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$ ) wzór na obliczenie mocy transformatora będzie następujący:

$$P_p = \sqrt{\frac{P_1^2 \cdot t_1 + P_2^2 \cdot t_2 + (P_1 + P_2)^2 \cdot \frac{t_3}{3} + P^2 \cdot t_3}{t_1 + t_2 + t_3}}$$

**Przykład:** obliczyć moc transformatora do pracy przerywanej przy:

$$P_1 = 0,9 \text{ kW}, \quad t_1 = 10 \text{ s,}$$

$$P_2 = 0,5 \text{ kW}, \quad t_2 = 20 \text{ s,}$$

$$P_3 = 0,8 \text{ kW}, \quad t_3 = 5 \text{ s.}$$

$$P_p = \sqrt{\frac{0,81 \cdot 10 + 0,25 \cdot 20 + (0,81 + 0,45 + 0,25) \cdot \frac{5}{3} + 0,64 \cdot 5}{10 + 20 + 5}}$$

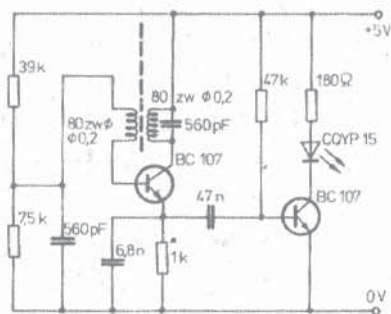
$P_p = 0,54 \text{ kW}$  (w przybliżeniu).

Możemy zatem zastosować transformator o mocy około 0,54 kW, gdyż maksymalna moc przeciążonego transformatora nie przekracza dwukrotnej mocy znamionowej tego transformatora.

Gdyby natomiast okazało się, że maksymalna moc chwilowa, w naszym przykładzie  $P_1 = 0,9$  kW, przekracza dwukrotną moc znamionową, to albo należałoby ograniczyć chwilową moc maksymalną, np. do 0,8 kW, albo skrócić czas pobierania tej mocy, np. z 10 s do 6–7 sekund.

### Badania kontrolne

Nawinięte uzwojenia należy sprawdzić na zwarcia międzyzwojowe za pomocą prostego przyrządu, którego schemat ideowy przedstawiony został na rys. 9. Na wystającą część ferrytu próbnika nakładamy badaną cewkę transformatora i jeżeli dioda świecąca zaświeci, to cewka jest niewłaściwie nawinięta.



RYS 9

Po tej próbie, oczywiście jeżeli wypadła ona dodatnio, podłączamy do jednej z końcówek uzwojenia napięcie sieciowe 220 V i przez żarówkę 220 V o mocy 15 W badamy, czy nie ma zwarcie pomiędzy poszczególnymi uzwojeniami i pomiędzy uzwojeniami i rdzeniem.

Następnie podłączamy uzwojenie pierwotne transformatora do sieci przez żarówkę o mocy 200 W; przy tej próbie mierzymy prąd jałowy, który powinien mieć około 10% wartości nominalnej. Duży prąd jałowy może być spowodowany zwarciami międzyzwojowymi lub nieprawidłowym złożeniem rdzenia. Mierzmy również wartości napięć wtórnych, które powinny wynosić nieco więcej niż przewidziane przy normalnej pracy transformatora.

Badania transformatorów za pomocą napięcia sieciowego należy przeprowadzać nadzwyczaj ostrożnie ze względu na możliwość porażenia.

Inż. Antoni Białoszewski