

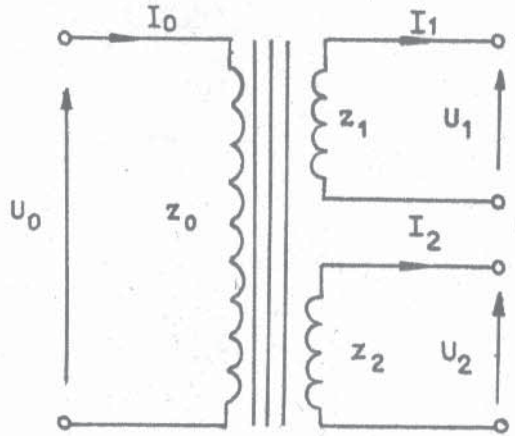
TRANSFORMATORY SIECIOWE

Pomimo szerokiego asortymentu produkowanych transformatorów sieciowych (ich wykaz znajdzie czytelnik w „Radioelektroniku” nr 12/84) często konieczne jest zaprojektowanie i wykonanie transformatora we własnym zakresie. Niniejszy artykuł ma za zadanie ułatwić rozwiązanie tego problemu.

Przy projektowaniu transformatora musimy dobrać odpowiedni typ rdzenia, znaleźć liczbę zwojów oraz średnicę drutu nawojowego poszczególnych uzwojeń.

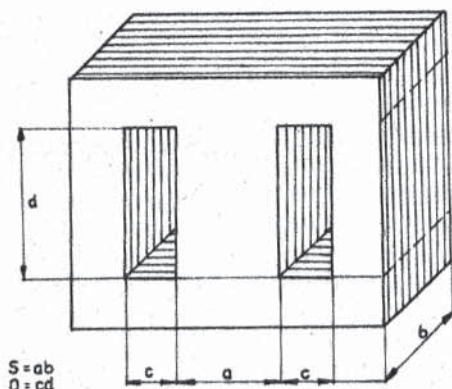
Projekt zaczynamy od wyliczenia mocy pobieranej z uzwojeń wtórnych transformatora. I tak, jeżeli będzie on miał dwa uzwojenia wtórne o napięciach U_1 i U_2 , które będą obciążone prądami I_1 oraz I_2 (rys. 1) to moc pobierana z niego wynosi:

$$P = U_1 I_1 + U_2 I_2 \text{ (VA)}$$



Rys.1. Schemat projektowanego transformatora

Znając moc P możemy na podstawie katalogu dobrać odpowiedni rdzeń lub, jeżeli nie dysponujemy danymi katalogowymi, możemy wyliczyć, jaki powinien być iloczyn powierzchni przekroju kolumny środkowej rdzenia i powierzchni okna potrzebny do skonstruowania takiego transformatora (rys. 2).



Rys. 2. Rdzeń typu EI

$$SO = \frac{1}{B} k_{cu} P$$

gdzie: S – powierzchnia przekroju kolumny środkowej rdzenia (cm²), O – powierzchnia okna (cm²), B – przyjęta przez nas amplituda indukcji (T) (dla rdzenia o kształtach EI oraz M z blachy walcowanej na gorąco wynosi ona 1,2 T a dla ciętych rdzeni taśmowych, z blachy walcowanej na zimno 1,6 T), J – przyjęta przez nas gęstość prądu w uzwojeniach (A/mm²) (wraz ze zwiększeniem gęstości prądu wzrastają spadki napięć na uzwojeniach oraz temperatura, do jakiej nagrzewa się transformator. Przyrost temperatury zależy jest również od kształtu rdzenia, sposobu wykonania uzwojeń, sposobu

Tab. 1 Najczęściej stosowane gęstości prądu

Szerokość okna c	cm	1	2	3	4
Gęstość prądu J	A/mm ²	5-3	3,5-2	2,5-1,5	2-1

chłodzenia itp. W tabeli nr 1 przedstawiono najczęściej stosowane gęstości prądu); k_{cu} – współczynnik wypełnienia okna miedzią – rys. 3 (zależny od średnicy drutu miedzianego, staranności wykonania uzwojenia, stosowanych przekładek izolacyjnych, liczby wyprowadzeń itp. W naszym przypadku w zależności od wprawy w wykonaniu transformatorów przyjmujemy go z zakresu 0,2 do 0,35 – typowo 0,25 – pamiętając o tym, że im mniejszy przyjmujemy ten współczynnik, tym łatwiej będzie nam zmieścić uzwojenie w oknie).

Z posiadanych rdzeni wybieramy taki, którego iloczyn SO jest nie mniejszy od wyliczonego, a następnie wyliczamy (lub też odczytujemy z katalogu) liczbę zwojów na volt. Wynosi ona:

$$z' = 50/BS$$

gdzie B – amplituda indukcji (T); S – powierzchnia przekroju rdzenia (cm²).

Korzystając z tej wielkości możemy wyliczyć liczbę zwojów poszczególnych uzwojeń.

$$z_0 = z'U_0$$

$$z_1 = z'U_1$$

$$z_2 = z'U_2$$

tak wyliczona liczba zwojów nie uwzględnia jednak faktu, że uzwojenia mają pewną oporność, a w związku z tym przy przepływie przez nie prądu wystąpią na nich spadki napięć prowadzące do zaniżenia napięć wyjściowych. Aby skompensować te spadki napięć musimy liczby zwojów uzwojenia pierwotnego zmniejszyć, a uzwojeń wtórnych zwiększyć o wartość tak zwanego względnego spadku napięcia danego uzwojenia. Spadek ten możemy oszacować na podstawie wzoru:

$$\frac{\Delta U_n}{U_n} = \frac{4,6 J}{\sqrt{P_n}}$$

gdzie J – gęstość prądu; P_n – moc danego uzwojenia, przy czym P_n = P/η, gdzie η – sprawność transformatora (tab. 2). Ostatecznie więc uzwojenie pierwotne będzie wynosiło:

$$z_0 = z'(1 - \frac{\Delta U_0}{U_0}) U_0$$

zwojów, a uzwojenia wtórne:

$$z_1 = z'(1 + \frac{\Delta U_1}{U_1}) U_1$$

$$z_2 = z'(1 + \frac{\Delta U_2}{U_2}) U_2$$

Mając liczbę zwojów obliczamy dla założonej gęstości prądu średnicę drutów nawojowych. Wynosi ona dla uzwojeń wtórnych:

Tab. 2 Orientacyjne wartości spadków napięć, sprawności oraz prądu biegu jałowego transformatorów małej mocy

Moc transformatora	Va	5	10	15	20	25	50	1000
Całkowity spadek napięcia	%	35	25	20	18	16	12	7
Sprawność	%	60	65	70	73	75	80	86
Prąd biegu jałowego	mA	10	15	20	25	35	55	85

$$d_1 = 1,13 \sqrt{\frac{I_1}{j}}$$

$$d_2 = 1,13 \sqrt{\frac{I_2}{j}}$$

a dla uzwojenia pierwotnego:

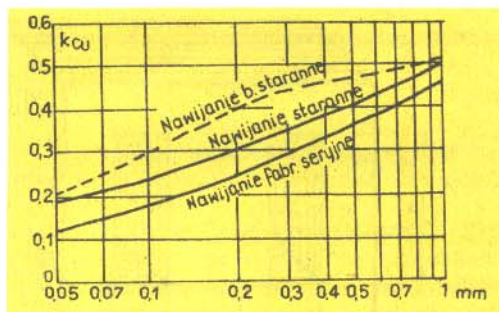
$$d_0 = 1,13 \sqrt{\frac{I_0}{j}} = 1,13 \sqrt{\frac{P}{jU_0}}$$

W tym miejscu kończy się nasz projekt. Zaoszczędzimy jednak sobie dużo pracy jeśli przed rozpoczęciem nawijania, sprawdzimy czy uzwojenia zmieszczą się nam na karkasie. Możemy to zrobić na podstawie tabeli 3 znając wymiary karkasu.

Tab. 3 Dane drutów nawojowych izolowanych emalią

Średnica drutu nawojowego		Prąd przy gęstości 2,5 A/mm ²	Liczba zwojów na 1 cm ²	Opór 1 m drutu
bez izolacji	w emalii			
0,08	0,103	0,012	8464	3,50
0,10	0,125	0,020	5776	2,22
0,12	0,150	0,028	4006	1,55
0,15	0,180	0,044	2766	0,995
0,18	0,210	0,064	2043	0,691
0,20	0,231	0,080	1681	0,560
0,22	0,257	0,095	1296	0,462
0,25	0,287	0,120	1095	0,358
0,28	0,317	0,154	900	0,286
0,30	0,337	0,175	795,2	0,249
0,32	0,355	0,200	712,8	0,218
0,35	0,394	0,240	580,8	0,183
0,38	0,425	0,284	501,7	0,155
0,40	0,444	0,310	457,9	0,140
0,42	0,468	0,340	412	0,126
0,45	0,501	0,400	361	0,111
0,48	0,530	0,450	320	0,097
0,50	0,551	0,490	299,3	0,090
0,55	0,606	0,590	246,5	0,074
0,60	0,659	0,700	207,4	0,062
0,65	0,709	0,830	179,5	0,053
0,70	0,759	0,960	156,2	0,046
0,75	0,820	1,100	132,2	0,040
0,80	0,872	1,250	116,6	0,035
0,85	0,922	1,420	106	0,031
0,90	0,972	1,600	96	0,028
0,95	1,03	1,770	84	0,025
1,00	1,08	1,960	77,4	0,022
mm	mm	A		(omów)

Przytoczone wzory pozwalają na pewną optymalizację wykonywanego transformatora (np. zmniejszenie wielkości rdzenia przez zwiększenie gęstości prądu w uzwojeniach czy też zmniejszenie pola rozproszenia przez zmniejszenie amplitudy indukcji). Nie zawsze jednak zachodzi taka konieczność, wtedy przyjmując dodatkowe założenia możemy znacznie u-



Rys. 3. Zależność współczynnika wypełnienia okna miedzi (k_{Cu}) w funkcji średnicy drutu nawojowego i staranności nawijania

prościć wzory projektowe. Jako założenie przyjmujemy, że:

- gęstość prądu wynosi 2,5 A/mm²,
- amplituda indukcji wynosi 1,2 T dla rdzeni o kształtach EI lub M oraz 1,6 T dla rdzeni zwijanych,
- sprawność transformatora wynosi 80%,
- współczynnik wypełnienia okna miedzi wynosi 0,25,
- względny spadek napięcia wynosi 20% i dzieli się równo pomiędzy uzwojenia wtórne i pierwotne.

Tab. 4

PARAMETR	RDZEN EI lub M	RDZEN ZWIJANY
Moc oddawana	$P = U_1 I_1 + U_2 I_2 + \dots$	$P = U_1 I_1 + U_2 I_2 + \dots$
iloczyn SO	$SO = 1,3 P$	$SO = P$
Liczba zwojów na wlot	$z' = 41/S$	$z' = 31/S$
Liczba zwojów uzwojenia pierwotnego	$z_0 = 0,9U_0 z'$	$z_0 = 0,9U_0 z'$
Liczba zwojów uzwojeń wtórnych	$z_n = 1,1U_n z'$	$z_n = 1,1U_n z'$
Średnica drutu nawojowego uzw. pierw.	$d_0 = 0,78 \sqrt{P/U_0}$	$d_0 = 0,78 \sqrt{P/U_0}$
Średnica drutu nawojowego uzw. wtórnych	$d_n = 0,7 \sqrt{I_n}$	$d_n = 0,7 \sqrt{I_n}$

Dla tych założeń wzory projektowe zostały przedstawione w tabeli 4. Należy nadmienić, że praktyka wielokrotnie wykazała słusność stosowania tych wzorów. W celu ich przybliżenia prześledzmy przykładowy projekt transformatora sieciowego o napięciu wtórnym $U_2 = 15$ V, obciążonego prądem $I_2 = 0,8$ A.

Zakładana moc obciążenia wynosi:

$$P = U_2 I_2 = 15 \cdot 0,8 = 12 \text{ VA}$$

Dla takiej mocy potrzebny jest rdzeń o ilości SO wynoszącym:

$$SO = 1,3 P = 1,3 \cdot 12 = 15,6 \text{ cm}^2$$

Wśród rdzeni EI wybrano taki, którego wymiary wynoszą:

$a = 2,2$ cm, $b = 2,2$ cm, $c = 1,1$ cm, $d = 3,3$ cm,

stąd powierzchnia okna:

$$O = 3,63 \text{ cm}^2,$$

oraz przekrój kolumny środkowej:

$$S = 4,84 \text{ cm}^2, \\ \text{czyli: } SO = 17,56 \text{ cm}^2$$

Obliczmy liczbę zwojów na volt. Wynosi ona:

$$z' = 41/S = 41/4,84 = 8,47 \text{ zwoja/volt},$$

a stąd uzwojenie pierwotne będzie miało:

$$z_1 = 0,9 U_1 z' = 0,9 \cdot 220 \cdot 8,47 \approx 1677 \text{ zwojów},$$

oraz uzwojenie wtórne:

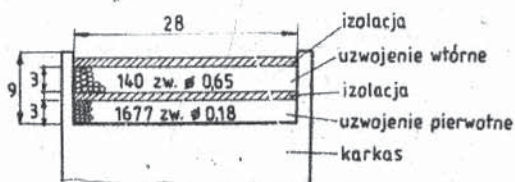
$$z_2 = 1,1 U_2 z' = 1,1 \cdot 15 \cdot 8,47 \approx 140 \text{ zwojów}.$$

Natomiast średnice drutów wynoszą odpowiednio:

$$d_2 = 0,78 \sqrt{\frac{P}{U_2}} = 0,78 \sqrt{\frac{12}{220}} \approx 0,18 \text{ mm},$$

$$d_1 = 0,7 \sqrt{I_1} = 0,7 \sqrt{0,8} \approx 0,62 \approx 0,65 \text{ mm}$$

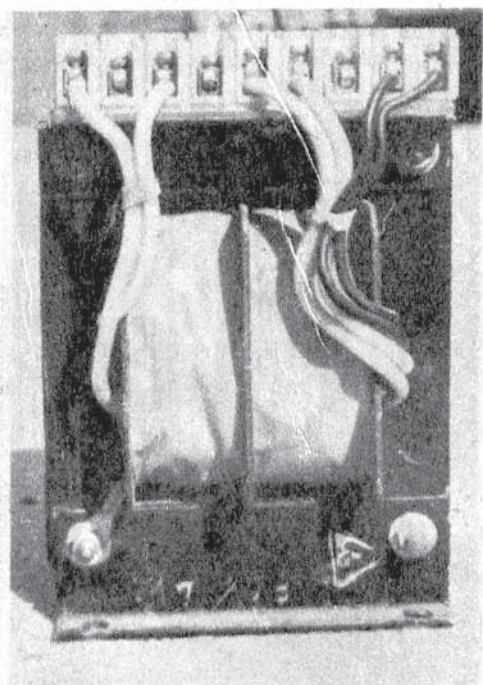
Sprawdźmy czy uzwojenia zmieszczą się na karkasie. W tym celu wykonujemy szkic karkasu (rys. 4). Z tabeli 3 oraz danych nawojowych wyliczamy pole przekroju uzwojeń (należy liczbę zwojów dla-



Rys. 4. Przekrój karkasu obliczanego transformatora

nego uzwojenia podzielić przez liczbę zwojów mieszczącą się w 1 cm^2 odczytaną z tabeli 3):

1677 zwojów drutu 0,18 zajmie $0,82 \text{ cm}^2$,
140 zwojów drutu 0,65 zajmie $0,78 \text{ cm}^2$,



Przy szerokości karkasu równej 2,8 cm, uzwojenia będą miały wysokość 0,6 cm, tak więc na przekładki izolacyjne pozostanie około 0,3 cm a w związku z tym bez większego trudu powinniśmy nawinąć ten transformator.

Wojciech Żurek

Literatura:

1. T. Konopiński R. - Transformatory i dławiki elektronicznych urządzeń zasilających.

2. J. Dobrski - Nawijanie cewek przyrządów elektrycznych.