

# BUDOWA TRANSFORMATORÓW MAŁEJ MOCY

(do 200 watów)

(Ciąg dalszy)

Mając ustalony przekrój rdzenia bez izolacji, możemy obliczyć moc uzwojenia pierwotnego transformatora. Moc transformatora płaszczo-owego (w watach) odpowiadającą przekrojowi rdzenia znajdujemy w tablicy III. Ponieważ w tablicy tej nie jest uwidoczniiony przekrój rdzenia odpowiadający 7,5 cm<sup>2</sup>, bierzemy przekrój najbardziej do tej liczby zbliżony, czyli 7,35 cm<sup>2</sup>.

Przekrojowi temu odpowiada moc 50 watów uzwojenia pierwotnego oraz liczba zwojów drutu na 1 wolt napięcia wynosząca 6,11 zwojów. Moc uzwojenia wtórnego obliczamy mnożąc 50 watów przez współczynnik sprawności, wynoszący dla tej kategorii transformatorów 0,75 (tabl. I). Uzyskany z tego mnożenia iloczyn (37,5 watów) będzie stanowił moc wyjściową transformatora. Transformatora o tej mocy możemy użyć do żarzenia żarówki samochodowej 35-watowej przy napięciu 6 woltów, którą zastosujemy do oświetlenia przezroczy lub filmu w aparacie projekcyjnym.

Z porównania mocy prądu, który możemy osiągnąć z transformatora, z mocą prądu potrzebnego do żarzenia żarówki widzimy, że moc ta będzie w zupełności wystarczająca. Różnica mocy wynosząca 2,5 wata jest dla obciążenia transformatora raczej korzystna, gdyż transformator nie powinien być przeciążony przy stałej pracy.

Dalsze obliczenia będą dotyczyły ustalenia:

- napięcia zasilania oraz natężenia prądu pobieranego,
- średnicy drutu odpowiadającego temu natężeniu (dla uzwojenia pierwotnego i wtórnego),
- liczby zwojów drutu dla uzwojenia pierwotnego i wtórnego,
- przestrzeni uzwojeniowej cew-

ki dla pomieszczenia w niej tej liczby zwojów drutu obu uzwojeń wraz z dodatkową izolacją,

e) długości drutu dla każdego uzwojenia (w metrach),

f) ciężaru drutu dla każdego uzwojenia (w gramach).

\*

a) Jeżeli obliczany przez nas transformator będzie czerpał prąd z sieci o napięciu 220 woltów, to natężenie tego prądu „i” obliczymy ze wzoru:

$$i = \frac{L_1}{U_1}, \text{ skąd } i = \frac{50}{220} = 0,23 \text{ ampera.}$$

b) Średnicę drutu odpowiadającą temu natężeniu znajdziemy w tablicy IV. W wypadku nieznaleszenia w tablicy akurat takiego natężenia, wyszukujemy natężenie najbardziej do niego zbliżone, czyli 0,252 ampera. Temu zaś natężeniu odpowiada średnica drutu 0,4 mm. Średnica drutu dla uzwojenia wtórnego zależy od natężenia przepływającego przezeń prądu. Natężenie to obliczymy tak jak poprzednio, ze wzoru:

$$i_2 = \frac{L_2}{U_2}$$

gdzie  $L_2$  oznacza moc wyjściową prądu (w watach) transformatora, stąd

$$i_2 = \frac{37,5}{6} = 6,25 \text{ ampera.}$$

Temu natężeniu wg tablicy IV odpowiada średnica drutu 2 mm.

c) Liczba zwojów drutu przypadająca na 1 wolt napięcia, przy mocy 50 watów dla uzwojenia pierwotnego wynosi wg tablicy III 6,11 zwojów. Ponieważ transformator nasz będzie czerpał prąd z sieci o napięciu 220 woltów, przeto ilość zwojów drutu uzwojenia pierwotnego wynosić będzie:

$$6,11 \cdot 220 = 1344 \text{ zwoje.}$$

Ilość zwojów drutu uzwojenia wtórnego obliczamy w podobny sposób biorąc pod uwagę napięcie na zaciskach wtórnych transformatora, tj. 6 woltów (odpowiadające napięciu żarówki samochodowej), czyli:

$$6,11 \cdot 6 = 36,66 \text{ zwojów,}$$

a w zaakrągleniu 37 zwojów. Otrzymaną dla wtórnego uzwojenia liczbę 37 zwojów musimy zwiększyć o 10% dla wyrównania spadku napięcia w tym uzwojeniu, spowodowanego oporem omowym drutu i odległością tego uzwojenia od rdzenia.

Mnożąc 37 przez 1,1 otrzymamy 41 zwojów drutu.

d) Przy obliczaniu przestrzeni uzwojeniowej cewki, potrzebnej dla pomieszczenia tej ilości drutu, bierzemy pod uwagę następujące dwie zasadnicze możliwości:

1. Jaka będzie powierzchnia (w  $\text{cm}^2$ ) przekroju obu uzwojeń transformatora wraz z dodatkową ich izolacją między poszczególnymi warstwami drutu, między uzwojeniami i warstwą ochronną?

2. Czy oba te uzwojenia wraz z dodatkową izolacją zmieszczą się w przestrzeni uzwojeniowej cewki użytkowej z rozbiórki?

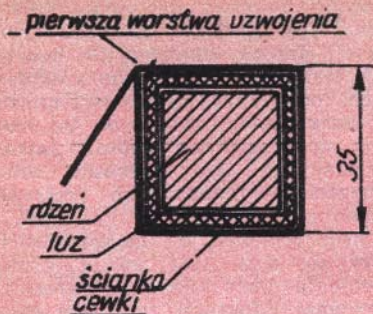
Przestrzeń, jaką zajmie uzwojenie pierwotne i wtórne wyliczamy z tablicy V, gdzie jest podane, że w  $1 \text{ cm}^2$  przekroju uzwojenia mieści się 484 zwoje (rys. 7) drutu grubości 0,4 mm izolowanego emalią. Na tej podstawie, przez zwykłe dzielenie wyliczymy, że 1344 zwoje zmieści się w  $2,8 \text{ cm}^2$ . Podobnie, jeżeli w  $1 \text{ cm}^2$  przekroju uzwojenia mieści się 15 zwojów drutu grubości 2 mm, izolowanego 2 razy bawełną, to 41 zwojów zmieści się w  $2,8 \text{ cm}^2$ . Razem więc powierzchnie przekroju obu uzwojeń zajmą  $5,6 \text{ cm}^2$ . Przestrzeń uzwojeniowa cewki mierzy zaś  $7,5 \text{ cm}^2$  (5 cm długości i w danym wypadku 1,5 cm szerokości; rys. 11). Po porównaniu obu tych wielkości, wydaje się, że przestrzeń uzwojeniowa cewki jest większa o  $1,9 \text{ cm}^2$ . Mniemanie to jest tylko pozorne, gdyż nie uwzględniliśmy jeszcze w naszych obliczeniach grubości izolacji dodatkowej, jaką musimy zastosować dla oddzielenia poszczególnych warstw drutu od sie-

bie, dla oddzielenia uzwojenia pierwotnego od wtórnego i dla ochrony ostatniej warstwy uzwojenia wtórnego. Aby obliczyć grubość tych izolacji, trzeba wiedzieć, ile będzie tych warstw drutu w obu uzwojeniach, oraz znać grubość papieru czy pergaminu, użytego do tej izolacji oraz grubość płótna introligatorskiego bądź ceratki albo dermatoidu stanowiących warstwę ochronną.

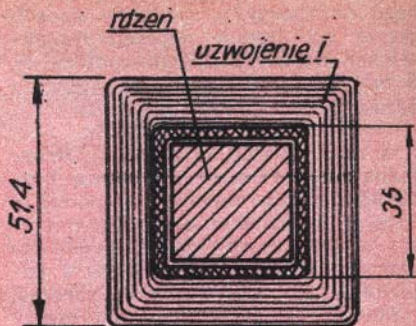
Chcąc obliczyć, w ilu warstwach ułoży się owe 1344 zwoje drutu uzwojenia pierwotnego i 41 zwojów uzwojenia wtórnego, zajrzemy znowu do tablicy VI, gdzie jest podane, że w 1 cm bieżącym mieści się 22 zwoje drutu grubości 0,4 mm izolowanego emalią i 3,9 zwoja drutu grubości 2 mm, izolowanego 2 razy bawełną. Mamy tu na myśli przekroje tych zwojów (rys. 8).

Wiedząc, iż przestrzeń uzwojeniowa cewki mierzy na długość 5 cm, wyliczamy drogą prostego rachunku matematycznego, że uzwojenie pierwotne zmieści się w 12 warstwach i 24 zwojach, a właściwie w 13 warstwach, gdyż brakującą ilość zwojów w 13 warstwie musimy uzupełnić sznurkiem tej samej grubości (0,4 mm). Tak samo 41 zwojów (drutu grubszego) zmieści się w 2 warstwach i 2 zwojach, a właściwie w 3 warstwach.

Jeżeli grubość papieru bądź pergaminu, użytego do izolacji między warstwami drutu, będzie wynosić 0,1 mm, to grubość 14 warstw tego papieru lub pergaminu wyniesie 1,4 mm, grubość izolacji międzyuzwojeniowej i ochronnej (płótno introligatorskie, ceratka albo dermatoid) ustalamy na 1,7 mm. Razem grubość izolacji dodatkowej wyniesie 3,1 mm. Trzeba jeszcze obliczyć, jak wysoką przestrzeń uzwojeniową zajmie 13 warstw uzwojenia pierwotnego i 3 warstwy uzwojenia wtórnego na długości 5 cm, i dodać te wielkości do siebie. Z tablicy VI — wiemy, że jeżeli 22 warstwy drutu grubości 0,4 mm izolowanego emalią zajmują przestrzeń 1 cm, to 13 warstw tego drutu zajmie 0,7 cm (na grubość), podobnie ma się rzecz z drutem grubszym — którego 3,9



Rys. 12.



Rys. 13.

warstwy drutu grubości 2 mm izolowanego 2 razy bawełną zajmie przestrzeń 1 cm, to 3 warstwy tego drutu zajmą 0,77 cm (na grubość). Razem więc oba rodzaje drutu wraz z dodatkową izolacją zajmą 1,78 cm.

Ponieważ przestrzeń uzwojeniowa cewki mierzy na szerokość tylko 1,5 cm, wyłania się trudność, jak zmieścić w tej przestrzeni wyliczone poprzednio oba uzwojenia z izolacją. Zagadnienie to można rozwiązać w dwojaki sposób: 1) przez spiłowanie wewnętrznych obrzeży ramki rdzeniowej o 2 mm z każdej strony i 2) — przez zastosowanie na uzwojenie wtórne drutu izolowanego nie 2 razy bawełną lecz tylko emalią. Różnica w grubości izolacji tego drutu spowoduje, że zamiast 3 warstw uzwojenia wtórnego będziemy mieli 2 warstwy, co wyrówna nam różnicę powstałą w naszym obliczeniu.

e) Liczbę metrów drutu, który użyjemy na uzwojenie pierwotne i wtórne, obliczamy w następujący sposób. Liczba zwojów drutu w uzwojeniu pierwotnym wynosi 1344. Druć ten będzie nawinięty na kwadratowy szkielet cewki obejmującej z 4 stron metalowy rdzeń. Przekrój tego rdzenia tworzy kwadrat o boku równym 3 cm. Do tego wymiaru dodajemy z każdej strony po 1,5 mm na tzw. luz przy rdzeniu cewki oraz po 1 mm na grubość ścianek szkieletu cewki. Po dodaniu tych wiel-

kości, otrzymamy, że jeden zwoj drutu w pierwszej warstwie będzie tworzył kwadrat o boku równym:  $30 \text{ mm} + 3 \text{ mm} + 2 \text{ mm} = 35 \text{ mm}$ , czyli długość jednego zwoju w I warstwie wynosić będzie:

$$35 \text{ mm} \cdot 4 = 140 \text{ mm (rys. 12).}$$

Długość jednego zwoju w następnych warstwach będzie się powiększała o grubość drutu i grubość izolacji tak, że długość zwoju w XIII warstwie będzie się znacznie różniła od długości zwoju w I warstwie i będzie wynosić:

$$(35 \text{ mm} + 8,2 \text{ mm} + 8,2 \text{ mm}) \cdot 4 = 205,6 \text{ mm.}$$

Aby uniknąć zbyt zawyżonych wyliczeń, przyjmujemy jako przeciętną długość zwoju — średnią arytmetyczną długości zwojów I i XIII warstwy, czyli:

$$(140 \text{ mm} + 205,6 \text{ mm}) : 2 = 172,8 \text{ mm.}$$

Mnożąc tę przeciętną długość przez 1344 zwoje otrzymamy ogólną długość drutu dla uzwojenia pierwotnego, która wyniesie 233 metry. Do tej długości dodamy jeszcze 0,5 metra na odprowadzenie końcówek drutu do zacisków, co ostatecznie wyniesie 233,5 metra. Tak samo obliczymy długość drutu dla uzwojenia wtórnego. Podstawę do obliczenia długości 1 zwoju w I warstwie uzwojenia wtórnego stanowić będzie kwadrat utworzony przez ostatnią warstwę uzwojenia pierwotnego plus grubość izolacji międzyuzwojeniowej, co wyniesie:

$(51,4 \text{ mm} + 2 \text{ mm}) \cdot 4 = 213,6 \text{ mm}$   
(rys. 13).

Długość zwoju w II warstwie wyniesie:

$(53,4 \text{ mm} + 4,2 \text{ mm}) \cdot 4 = 230,4 \text{ mm}$ .

Długość zwoju w III warstwie wyniesie:

$(57,6 \text{ mm} + 4,2 \text{ mm}) \cdot 4 = 247,2 \text{ mm}$ .

Srednia długość zwoju wyniesie:

$$(213,6 \text{ mm} + 230,4 \text{ mm} + 247,2 \text{ mm}) : 3 = 230,4 \text{ mm}.$$

Ponieważ uzwojenie wtórne zawiera 41 zwojów, przeto całkowita jego długość wyniesie:

$$23,04 \text{ cm} \cdot 41 \approx 9,45 \text{ m},$$

a razem z długością 0,35 m, przeznaczoną na odprowadzenie końcówek do zacisków: 9,8 m.

f) Pozostaje jeszcze do obliczenia ciężar drutu uzwojenia pierwotnego i wtórnego, który obliczymy za pomocą tablicy VIII. Według tej tablicy 100 m drutu grubości 0,4 mm, izolowanego emalią waży 120 gramów. Z tego wynika, że 233,5 m tego drutu będzie ważył 280 gramów.

$$1,2 \text{ g} \cdot 233,5 = 280,2 \text{ g}$$

Tak samo obliczamy ciężar drutu grubości 2 mm izolowanego dwa razy bawełną, którego 100 metrów waży 3200 gramów (wg tablicy VIII). 9,8 metrów tego drutu będzie ważył:

$$32 \text{ g} \cdot 9,8 = 313,6 \text{ g}$$

Obliczenie długości drutu i jego ciężaru jest ogromnym ułatwieniem przy przygotowaniu lub zakupie materiałów potrzebnych do wykonania transformatora, gdyż wyklucza wszelkie ryzyko związane z kupowaniem drutu „na oko” lub na „mniej więcej”, co podraża koszt wykonania transformatora i jest niepotrzebnym marnotrawstwem cennego materiału. Po przeprowadzeniu obliczeń wg przytoczonych wyżej przykładów możemy już przystąpić do wykonania transformatora, tj. do nawijania drutu na cewkę, do składania jego elementów i do przeprowadzania prób jego działania.

Przyrost przekroju dla drutów izolowanych 2 X bawełną wynosi: przy  $\phi$  od 0,1 do 1,0 mm drutu gołego od 0,15 do 0,2 mm; przy  $\phi$  od 1,05 do 3,0 mm drutu gołego od 0,2 do 0,25 mm.

Przyrost przekroju dla drutów izolowanych jedwabiem wynosi: przy  $\phi$  0,05 do 1,18 mm drutu gołego od 0,05 do 0,06 mm; przy  $\phi$  0,2 do 1,00 mm drutu gołego od 0,06 do 0,10 mm.

Przyrost przekroju dla drutów izolowanych emalią wynosi: przy  $\phi$  od 0,05 do 0,25 mm drutu gołego 0,02 mm; przy  $\phi$  od 0,30 do 0,75 mm drutu gołego od 0,03 do 0,04 mm; przy  $\phi$  od 0,80 mm do 1,50 mm drutu gołego od 0,04 do 0,05 mm.

(Dokończenie nastąpi)

Witold Lubbé i Jerzy Niebojewski

TABLICA VIII			
Ciężar drutów nawojowych miedzianych			
$\phi$ drutu gołego w mm	Waga 100 m drutu w kg izolowanego		
	2 X bawełną	jedwabiem	emalią
0,05	—	0,003	0,003
0,06	—	0,004	0,0035
0,07	—	0,005	0,004
0,08	—	0,006	0,005
0,10	0,020	0,010	0,007
0,12	—	0,014	0,011
0,15	0,030	0,020	0,015
0,18	—	0,027	0,025
0,20	0,050	0,035	0,030
0,25	0,065	0,055	0,045
0,30	0,090	0,075	0,065
0,35	0,120	0,105	0,090
0,40	0,155	0,125	0,120
0,45	0,190	0,160	0,150
0,50	0,220	0,195	0,185
0,55	0,260	0,235	0,225
0,60	0,300	0,280	0,265
0,65	0,335	0,335	0,315
0,70	0,400	0,375	0,360
0,75	0,480	0,435	0,420
0,80	0,540	0,495	0,475
0,85	0,615	—	—
0,90	0,660	0,635	0,600
0,95	0,770	—	—
1,00	0,820	0,785	0,725
1,10	1,060	—	—
1,15	1,140	—	—
1,20	1,250	—	1,200
1,25	1,390	—	—
1,30	1,350	—	—
1,35	1,450	—	—
1,40	1,560	—	—
1,45	1,670	—	—
1,50	1,780	—	—
1,60	1,960	—	—
1,70	2,140	—	—
1,80	2,450	—	—
1,90	2,800	—	—
2,00	3,200	—	—