

BUDOWA TRANSFORMATORÓW MAŁEJ MOCY

(do 200 watów)

W. Lubbe i J. Niebojewski

A. Wiadomości ogólne

Przed przystąpieniem do budowy transformatora musimy przypomnieć sobie pewne wiadomości dotyczące zasady działania tego urządzenia, jego części składowych i ich znaczenia przy transformowaniu prądu oraz wyprowadzić praktyczne wnioski mające duże znaczenie przy projektowaniu i obliczaniu poszczególnych jego części i całości.

Transformatorem — jak wiadomo — nazywamy takie urządzenie, które przetwarza prąd elektryczny o wysokim napięciu i niewielkim natężeniu na prąd o niskim napięciu i dużym natężeniu lub odwrotnie. Działanie tego urządzenia opiera się na zasadzie powstawania prądów indukcyjnych i ma przebieg następujący: jeżeli na jakiś pierścień żelazny (rys. 1) nawiniemy z obu stron (równolegle) dwa, różnej grubości, odcinki drutu izolowanego, to otrzymamy dwa rodzaje uzwojeń — pierwotne i wtórne.

Jeżeli przez jedno z nich (nazwijmy je głównym) przepuścimy prąd zmienny, to przy każdej zmianie kierunku tego prądu, żelazny pierścień (czyli rdzeń) namagnesowuje się również zmiennie — raz w jednym, raz w drugim kierunku. Zmieniające się w ten sposób pole magnetyczne żelaznego rdzenia wzbudza w poszczególnych zwojach uzwojenia drugiego (nazwijmy je wtórnym) siły elektromotoryczne, które dodają się do siebie. Dla danego więc pola magnetycznego w rdzeniu, całkowita siła elektromotoryczna powstająca w uzwojeniu wtórnym będzie tym większa, im większa będzie liczba zwojów tego uzwojenia.

Jeżeli do uzwojenia wtórnego przyłączymy w tym czasie jakiś od-

biornik energii elektrycznej, to pod działaniem siły elektromotorycznej popłynie w tym obwodzie prąd, którego wielkość zależna będzie od oporu tego obwodu. Opór obwodu określony będzie oporem odbiornika i oporem drutu uzwojenia wtórnego, który z kolei zależeć będzie od jego grubości.

Zmiany w napięciu i natężeniu transformowanego prądu w niczym nie wpływają na jego moc, gdyż iloczyn napięcia przez natężenie pozostaje prawie ten sam dla obu uzwojeń transformatora.

Wynikająca z powyższej zasady działania transformatora zależność napięcia od liczby zwojów drutu (w uzwojeniu pierwotnym i wtórnym) przedstawiona w postaci związku liczbowego nosi nazwę przekładni transformatora (współczynnika transformacji) i da się ująć w następującą formułę matematyczną:

$$\frac{E}{e} = \frac{W_2 \text{ (liczba zw. uzw. wtórnego)}}{W_1 \text{ (liczba zw. uzw. pierwotn.)}}$$

gdzie SEM S(ila) E(lektro) M(otoryczna) indukcji w uzwojeniu wtórnym (E) tak się ma do SEM w uzwojeniu pierwotnym (e) jak liczba zwojów (W_2) w uzwojeniu wtórnym do liczby zwojów (W_1) w uzwojeniu pierwotnym.

W związku z powyższym musimy ustalić pojęcie uzwojenia pierwotnego i wtórnego i umówić się, kiedy i w jakim znaczeniu będziemy go używać. Otóż uzwojeniem pierwotnym transformatora bez względu na grubość drutu będziemy nazywali to uzwojenie, do którego będziemy dostarczać prądu do przetworzenia go (np. prąd z sieci lub dynama), a uzwojeniem wtórnym — to uzwojenie, z którego będziemy czerpać

prąd przetworzony do bezpośrednio użytku, np. do zasilania lamp, do silników, dzwonek itp.

Z przebiegu działania transformatora wynika również, że biorą w nim udział trzy zasadnicze elementy: rdzeń, uzwojenie pierwotne i uzwojenie wtórne. W transformatorach o dużej mocy, np. kilku tysięcy watów, dochodzi jeszcze czwarty element, a mianowicie element chłodzący rdzeń i oba uzwojenia, które w czasie pracy transformatora ulegają nagrzaniu.

W wyniku działania tych trzech elementów (w czasie przetwarzania prądu) część energii elektrycznej ulega nieuniknionej stracie przetwarzając się w ciepło na skutek oporu drutów obu uzwojeń oraz tzw. prądów wirowych i histerezy w żelazie rdzenia. Straty te, dochodzące w mniejszych transformatorach do 25%, wpływają w dużym stopniu na moc transformatora. Wskutek tych strat moc prądu pobieranego z transformatora będzie się zawsze różniła od mocy prądu doprowadzonego do niego, o pewien procent. Stosunek tych mocy (uzwojenia wtórne do uzwojenia pierwotnego) wyrażony w procentach nazywa się sprawnością transformatora (tablica I).

Wydażność ta wzrasta, zwłaszcza w transformatorach dużych, do 90%, nie może jednak nigdy (z wyżej wymienionych względów) osiągnąć pełnych 100%. Moc energii elektrycznej, jaką może nam dostarczyć dany transformator, czyli jego uzwojenie wtórne, mierzymy w watach.

Transformator może pracować przy pełnym lub niepełnym obciążeniu. Pełne obciążenie transformatora występuje wówczas, gdy rdzeń i oba jego uzwojenia są poddane takiemu działaniu prądu, na jaki są one obliczone (przekrój drutów, przekrój i wymiary rdzenia). Niepełne obciążenie transformatora zachodzi wówczas, gdy nie pobieramy prądu z jego uzwojenia wtórne, pomimo, że uzwojenie pierwotne jest włączone do sieci. Mówimy wtedy, że w uzwojeniu pierwotnym płynie prąd jałowy, który powinien być możliwie słaby. Np. uzwojenie

pierwotne transformatora dzwonekowego jest stale włączone do sieci, a z uzwojenia wtórne, czerpiemy prąd tylko chwilami, mianowicie gdy naciśniemy guzik dzwoneka i włączymy w obwód uzwojenia wtórne pewien opór (elektromagnes, iskrownik, młoteczek). Wówczas w uzwojeniu tym popłynie prąd powodując w ten sposób zwiększenie się prądu pierwotnego, będącego dotychczas jałowym.

Przy dużym obciążeniu, a nawet przeciążeniu uzwojenia wtórne następuje w nim spadek napięcia wskutek strat energii w rdzeniu i oporu omowego samego uzwojenia.

Projektując więc transformator, musimy tak obliczyć przekrój jego rdzenia i drutów oraz dobrać taki materiał na rdzeń, aby spadek napięcia występujący w uzwojeniu wtórnym w czasie wzrastania obciążenia był jak najmniejszy, oczywiście w granicach dopuszczalnych dla danego transformatora.

W codziennym użytku spotykamy dwa zasadnicze typy transformatorów: płaszczowe (rys. 2) i rdzeniowe (rys. 3).

Pierwsze mają podwójny obwód magnetyczny i są najczęściej używane w aparatach radiowych z tego względu, że strumień magnetyczny przebiega całkowicie w rdzeniu i nie wywołuje przy tym żadnych szkodliwych zakłóceń w znajdujących się w pobliżu częściach radioodbiornika, ponadto zaś oba uzwojenia są nawinięte na jednej cewce.

Drugie spotykamy w różnego rodzaju prostownikach do ładowania akumulatorów, używamy ich do celów oświetleniowych lub do takich aparatów i przyrządów, gdzie nie zachodzi obawa szkodliwego oddziaływania transformatora na przebieg ich pracy. Transformatory rdzeniowe mają pojedynczy obwód magnetyczny i bywają dość często stosowane do różnych celów, z uwagi na prostszą i tańszą konstrukcję, łatwiejszy sposób wykonania i lepsze chłodzenie.

B. Obliczanie elementów transformatora

Przystępując do opracowania projektu potrzebnego nam transformatora, ustalamy następującą kolejność postępowania:

1. określenie mocy projektowanego transformatora,
2. obliczenie przekroju rdzenia,
3. obliczenie liczby zwojów i przekroju drutu obu uzwojeń,
4. ustalenie wymiarów ramki rdzenia.

1. Punktem wyjścia do obliczeń będzie określenie mocy, jakiej ma dostarczyć do naszych potrzeb uzwojenie wtórne projektowanego transformatora; chcemy np. uruchomić piłę tarczową albo szlifierkę do drewna poruszaną silnikiem elektrycznym. Znając napięcie i natężenie prądu potrzebnego do zasilania silnika, na jakie jest on przewidziany, łatwo będzie obliczyć moc prądu w watach, jaką chcemy otrzymać z uzwojenia wtórnego transformatora (mnożymy po prostu obie te wielkości przez siebie i przez $\cos \varphi = 0,7-0,8$).

W wypadku kiedy chcemy zaprojektować transformator o dwóch lub więcej uzwojeniach wtórnych, sumujemy moce obliczone dla poszczególnych uzwojeń wtórnych.

Obliczoną w ten sposób ogólną dzielimy przez współczynnik sprawności przewidziany dla tej kategorii transformatorów w tablicy I (zależnie od ilości watów), a uzyskany wynik wskaże nam moc uzwojenia pierwotnego. Określenie zaś mocy uzwojenia pierwotnego ułatwi nam z kolei obliczenie (z załączonych tablic) odpowiedniego przekroju rdzenia w cm^2 i liczby zwojów drutu na 1 wolt napięcia.

2. Obliczanie przekroju rdzenia (rys. 4) przeprowadzamy według

$$\text{wzoru: } F = c \sqrt{\frac{L \cdot \frac{qz}{q_m} \cdot 10^6}{B \cdot f s}}$$

gdzie F — oznacza przekrój rdzenia w cm^2 , c — współczynnik stały, który wynosi dla transformatorów

rdzeniowych 0,6, a dla płaszczykowych 0,85; L — oznacza moc uzwojenia

pierwotnego w watach; $\frac{qz}{q_m}$

oznacza stosunek ciężaru rdzenia żelaznego do ciężaru drutu miedzianego uzwojenia i wynosi 1,5; B — oznacza indukcję magnetyczną w blasze żelaznej użytej do wykonania ramki rdzenia (wartość tę przyjmujemy dla małych transformatorów na 10 000 gausów); f — częstotliwość transformowanego napięcia (dla napięcia sieci oświetleniowej $f = 50$ okresów/sek.); s — natężenie prądu na 1 mm^2 przekroju drutu (przyjmujemy, że $s = 2$ ampery/ mm^2).

Po podstawieniu do wzoru wyżej wymienionych wartości otrzymamy jego formę bardziej uproszczoną wynoszącą dla transformatorów rdzeniowych:

$$F = 0,6 \sqrt{1,5 \cdot L}$$

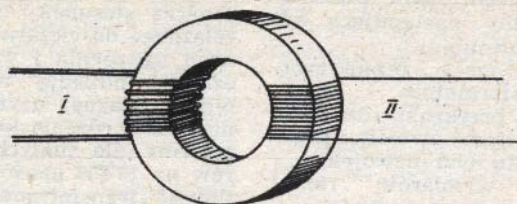
a dla transformatorów płaszczykowych:

$$F = 0,85 \sqrt{1,5 \cdot L}$$

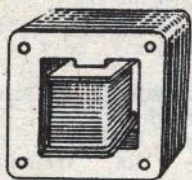
Obliczony w ten sposób przekrój rdzenia nie uwzględnia jeszcze izolacji między blachami rdzenia. Jeżeli blachy rdzenia będą izolowane szlakiem lub lakierem spirytusowym, to otrzymaną ze wzoru liczbę dla F należy jeszcze powiększyć o 10%, czyli pomnożyć przez 1,1. Przy izolacji blach papierem pergaminowym lub bibułką liczbę tę powiększymy o 20%, czyli pomnożymy przez 1,2.

Zamiast obliczać przekrój rdzenia z powyższego wzoru, możemy posługiwać się tablicami II i III, w których mamy podaną wartość F w zależności od mocy uzwojenia pierwotnego obliczoną ze wzoru uproszczonego. Tablica II sporządzona jest dla transformatorów rdzeniowych; tablica III — dla transformatorów płaszczykowych (w obu tablicach: bez izolacji). $\frac{qz}{q_m}$

Przekroje odczytane z tablic, jak już wspomnieliśmy wyżej, należy powiększyć jeszcze o grubość izolacji, jaką będziemy stosować do

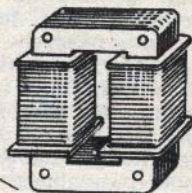


Rys. 1.



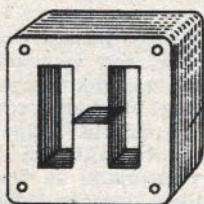
Transformator płaszczowy

Rys. 2.



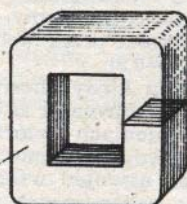
Transformator rdzeniowy

Rys. 3.



Przekrój rdzenia transformatora płaszczowego

Rys. 4.



Przekrój rdzenia transformatora rdzeniowego

Rys. 5.

blach rdzenia (szelak, lakier — o 10%; pergamin, kalka kreślarska lub bibuła — o 20%).

Kształt przekroju rdzenia w transformatorach o mocy do 100 watów powinien być kwadratowy lub zbliżony do kwadratu. Dla transformatorów o mocy większej ponad 100 watów może być prostokątny o stosunku grubości do szerokości jak 2:1.

3. a) Liczbę drutów „n” obliczamy ze wzoru:

$$n_1 = \frac{E \cdot 10^8}{4,44 \cdot f \cdot B \cdot F}$$

gdzie n_1 — oznacza liczbę zwojów uzwojenia,

E — napięcie w danym uzwojeniu w woltach,

4,44 — stały współczynnik,

f, B — wielkości określone już wyżej,

F — przekrój rdzenia bez izolacji.

Podstawiając do tego wzoru wartości dla $f = 50$, dla $B = 10\,000$, dla $E = 1$ wolt, otrzymamy bardziej uproszczoną jego formę na liczbę zwojów przypadającą na 1 wolt napięcia:

$$n = \frac{10000}{222 \cdot F}$$

dzie 220 woltów, to liczba zwojów tego uzwojenia wynosić będzie $5.63.220 = 1239$.

(Cdn.)

Tablica II i III podają liczby zwojów drutu na 1 wolt, w zależności od przekroju rdzenia transformatora. Np. jeżeli dla transformatora płaszczowego moc uzwojenia pierwotnego ma wynosić 60 watów, to przekrój rdzenia, odszukany z tablicy III, będzie wynosił 8 cm², a liczba zwojów na 1 wolt równa się 5,63. Jeżeli włączone do uzwojenia pierwotnego napięcie wynosić bę-

TABLICA I	
Sprawności transformatorów	
Moc uzwojenia wtórnego w watach	Sprawność transformatora w %
Od 5 do 60	75
„ 60 „ 100	85
„ 100 „ 250	90

TABLICA II						TABLICA III					
Przekroje rdzeni i liczba zwojów na 1 wolt napięcia dla transformatorów rdzeniowych bez izolacji						Przekroje rdzeni i liczba zwojów na 1 wolt napięcia dla transformatorów płaszczowych bez izolacji					
Moc uzwojenia pierwotnego w watach	F — przekrój rdzenia w cm ²	n — liczba zwojów na 1 wolt nap.	Moc uzwojenia pierwotnego w watach	F — przekrój rdzenia w cm ²	n — liczba zwojów na 1 wolt nap.	Moc uzwojenia pierwotnego w watach	F — przekrój rdzenia w cm ²	n — liczba zwojów na 1 wolt nap.	Moc uzwojenia pierwotnego w watach	F — przekrój rdzenia w cm ²	n — liczba zwojów na 1 wolt nap.
3	1,27	35,46	32	4,15	10,85	3	1,80	24,36	32	5,88	7,68
4	1,46	30,64	33	4,21	10,70	4	2,08	21,65	33	5,97	7,54
5	1,63	27,63	34	4,27	10,52	5	2,32	19,41	34	6,05	7,43
6	1,80	25,02	35	4,33	10,37	6	2,54	17,73	35	6,15	7,32
7	1,94	23,22	36	4,40	10,23	7	2,75	16,38	36	6,24	7,21
8	2,07	21,76	37	4,46	10,09	8	2,90	15,53	37	6,32	7,13
9	2,20	20,47	38	4,52	9,96	9	3,11	14,48	38	6,40	7,03
10	2,30	19,58	39	4,58	9,83	10	3,30	13,65	39	6,50	6,93
11	2,43	18,53	40	4,64	9,70	11	3,45	13,09	40	6,60	6,82
12	2,54	17,73	41	4,70	9,58	12	3,60	12,51	41	6,66	6,76
13	2,64	17,06	42	4,75	9,48	13	3,75	12,01	42	6,74	6,68
14	2,74	16,44	43	4,81	9,36	14	3,90	11,55	43	6,82	6,60
15	2,80	16,08	44	4,87	9,25	15	4,00	11,26	44	6,90	6,52
16	2,90	15,53	45	4,93	9,14	16	4,10	10,98	45	6,97	6,44
17	3,00	15,00	46	4,98	9,04	17	4,28	10,52	46	7,05	6,38
18	3,11	14,48	47	5,03	8,95	18	4,40	10,23	47	7,13	6,31
19	3,19	14,12	48	5,08	8,86	19	4,50	10,01	48	7,20	6,25
20	3,28	13,65	49	5,14	8,76	20	4,60	9,78	49	7,28	6,18
21	3,36	13,40	50	5,20	8,66	21	4,76	9,46	50	7,35	6,11
22	3,44	13,09	55	5,44	8,28	22	4,87	9,25	55	7,70	5,85
23	3,52	12,80	66	5,70	7,90	23	4,98	9,04	60	8,00	5,63
24	3,60	12,51	70	6,10	7,38	24	5,10	8,83	70	8,70	5,17
25	3,70	12,17	80	6,60	6,32	25	5,20	8,66	80	9,30	4,84
26	3,75	12,01	90	6,90	6,25	26	5,30	8,49	90	9,80	4,59
27	3,81	11,82	100	7,30	6,17	27	5,40	8,34	100	10,40	4,33
28	3,88	11,69	110	7,70	5,85	28	5,50	8,19	110	10,91	4,12
29	3,95	11,40	120	8,04	5,60	29	5,60	8,04	120	11,40	3,95
30	4,00	11,26	150	9,00	5,00	30	5,70	7,90	150	12,70	3,54
31	4,08	11,04	200	10,40	4,33	31	5,78	7,79	200	14,70	3,06