

## Obliczenia transformatorów sieciowych:

### Toroidy i rdzenie w kształcie „O”, obliczenia skrócone:

Jednym z częściej powtarzających się pytań jest pytanie o to, jaką moc ma transformator zbudowany na rdzeniu o znanych wymiarach.

Tak naprawdę możemy jedynie określić tzw. moc obliczeniową transformatora. Wzór można wyprowadzić od zera ale już dawno temu mądrzy ludzie to zrobili:

Moc obliczeniowa transformatora na rdzeniu z blach:

$$P = (Q_r * Q_o * 2 * f * B_m * r * n * k_z * k_m) / 10^6$$

P - moc obliczeniowa [VA]

Q<sub>r</sub> - przekrój rdzenia [cm<sup>2</sup>]

Q<sub>o</sub> - przekrój okna [cm<sup>2</sup>]

f - częstotliwość [Hz]

B<sub>m</sub> - max indukcja [Gs]

r - gęstość prądu [A/mm<sup>2</sup>]

n - sprawność

k<sub>z</sub> - współczynnik wypełnienia rdzenia żelazem (zwykle wstawic 0,95)

k<sub>m</sub> - współczynnik wypełnienia miedzią okna (zwykle wstawic 0,35)

Wzór na pierwszy rzut oka jest zaskakujący ale zapewniam - jest poprawny. Praktyka pokazuje, że wzór jest również poprawny dla transformatorów na rdzeniach ferrytowych.

Co decyduje o mocy obliczeniowej transformatora?

- przekrój rdzenia (Q<sub>r</sub>) - w przypadku rdzeni klasycznych EI - pole przekroju kolumny środkowej rdzenia. Przekrój rdzenia, częstotliwość pracy oraz maksymalna indukcja decydują o ilości zwojów uzwojenia, zgodnie ze wzorem:

$$n = (U * 10^8) / (4.44 * f * B_m * Q_r) \text{ gdzie:}$$

n - liczba zwojów

U - napięcie [V]

f - częstotliwość [Hz]

B<sub>m</sub> - maksymalna indukcja [Gs]

Q<sub>r</sub> - przekrój rdzenia

Jak łatwo policzyć, dla indukcji maksymalne 10000 Gs (== 1T), częstotliwości 50 Hz, przekroju rdzenia 1 cm<sup>2</sup> i napięcia 1V potrzebujemy 45 zwojów.

Po przeanalizowaniu i przekształceniu wzoru możemy wyprowadzić dość praktyczny wzór na ilość zwojów na wolt dla klasycznego transformatora sieciowego 50 Hz:

$$n = 45 / Q_r \text{ [zw/V, cm}^2\text{]}$$

- kolejnym czynnikiem decydującym o mocy obliczeniowej transformatora jest... ilość miejsca na nawinięcie uzwojenia. W oknie transformatora (Q<sub>o</sub>) zmieści nam się ograniczona ilość drutu - im większe okno, tym grubszy drut możemy zastosować do nawinięcia transformatora. Im grubszy drut, tym większy prąd może popłynąć przez uzwojenie. A im większy prąd, tym większa moc transformatora.

Wszystkie te czynniki łącznie decydują o mocy obliczeniowej transformatora - im wyższa indukcja, tym mniej zwojów potrzeba do nawinięcia transformatora. Im wyższa częstotliwość - również trzeba mniej zwojów. A im mniej zwojów, tym grubszym przewodem można transformator nawinać i moc rośnie nam ze wzrostem każdego czynnika. Po uwzględnieniu wszystkich czynników wychodzi nam wzór z początku artykułu.

## Zwykłe rdzenie EI:

### 1. Wiadomości ogólne

Transformatory stosowane w zasilaczach sieciowych można podzielić na transformatory żarzeniowe, anodowe i anodowo-żarzeniowe. W urządzeniach natury lampowej najczęściej używane są transformatory anodowo-żarzeniowe. Stosowane są dwa rodzaje tych transformatorów:

- a) transformatory płaszczone – są złożone z trzech kolumn, przy czym karkas (szpula, na której są nawijane uzwojenia) umieszczony jest na środkowej kolumnie rdzenia transformatora,
- b) transformatory rdzeniowe – posiadają rdzenie w kształcie ramy, na której karkas lub karkasy umieszczone są na jednym z czterech boków rdzenia lub na dwóch przeciwległych bokach rdzenia transformatora.

Rdzenie transformatorów konstruowane są z blachy krzemowej o różnej zawartości krzemu, np. 2,8% lub 4 % i inne. Wykorzystuje się również blachy anizotropowe o zwiększonej przenikalności, głównie do budowy

□ transformatorów toroidalnych, którymi się nie będziemy zajmować

Uzwojenia wykonuje się miedzianym drutem emaliowanym drutem typu DNE. Ostatnim krzykiem mody stały się druty z podwójną warstwą emalii, co zwiększa odporność przebicia izolacji, zwłaszcza przy dużych napięciach anodowych.

Jako izolację uzwojeń transformatorów stosuje się papier olejowy (nieco już archaiczny), preszpan oraz różnego rodzaju i maści, folie. Podczas nawijania transformatorów drutem z jedną warstwą emalii należy uważać by nie przekraczać wartości 30V napięcia pomiędzy sąsiadującymi zwojami. Jeśli jednak jest to nie uniknione stosuje się wówczas drut w podwójnej izolacji, co zwiększa wartość napięcia międzyzwojowego do 50V, ewentualnie przekładki foliowe lub inne.

Przy nawijaniu transformatorów o niskich napięciach wtórnych okno (wolna przestrzeń między kolumnami) można wypełniać całkowicie, pamiętając jednak o odizolowaniu uzwojenia od rdzenia za pomocą przekładki. Obliczenia transformatorów dotyczą: przekroju rdzenia, liczby zwojów strony pierwotnej i wtórnej oraz średnicy drutu nawojowego tychże uzwojeń. Do obliczeń poszczególnych uzwojeń konieczna jest znajomość napięć i prądów płynących przez te uzwojenia. Z powodu największej popularności transformatorów, składających się z dzielonego uzwojenia anodowego, czyli z wyprowadzonym środkiem, dlatego omówimy ten typ transformatorów.

### 2. Obliczanie transformatorów sieciowych można ująć w czterech zasadniczych punktach:

- a) obliczanie mocy całkowitej transformatora, na którą składają się wszystkie moce pobierane z uzwojeń wtórnych

$$P_c = P_1 + P_2 + P_3 + \dots$$

- b) obliczanie przekroju rdzenia

$$S = \sqrt{P_c}$$

Gdzie: S = przekrój rdzenia [cm<sup>2</sup>]

P<sub>c</sub> = moc całkowita [W]

Jeżeli dysponujemy rdzeniem o większym przekroju niż to wynika ze wzoru, nic nie stoi na przeszkodzie aby go zastosować. Broń Boże odwrotnie, gdyż transformator będzie zbyt słaby i ulegnie zniszczeniu.

- c) obliczanie liczby zwojów

Do tego celu potrzebna jest wiedza na temat budowy rdzenia, a mianowicie jego dopuszczalnej indukcji. Przy obliczaniu liczby zwojów uzwojenia wtórnego wstawiamy do wzoru wartości znamionowe lecz przy obliczaniu

uzwojenia pierwotnego wartości napięcia sieci ulegają zmniejszeniu w następującym stopniu:

- Dla mocy transformatora do 20 W – o 20 %
- Dla mocy transformatora do 100 W – o 10 %
- Dla mocy transformatora powyżej 100 W – o 5 %

Liczby zwojów obliczamy posługując się wzorami z poniższej tabelki:

	Indukcja
rdzenia[Gs]	Własności
10000	Przy małych prądach jałowych $Z=45U/S$
12000	Dla transformatorów do 100 W $Z=38U/S$
13000	Dla transformatorów powyżej 100 W $Z=35U/S$
14000	Przy dużych prądach jałowych $Z=32U/S$

Liczbę zwojów uzwojenia wtórnego można również wyznaczyć za pomocą tzw. przekładni transformatora.

$$v=U1/U2=Z1/Z2=I1/I2=P1/P2$$

d) obliczanie średnicy drutu

Do tego celu wykorzystuje się następujący wzór, przy czym należy wtedy znać natężenie prądu, który będzie przepływał przez dane uzwojenie.

$$d = 0,65 \sqrt{I}$$

Natężenie w uzwojeniu pierwotnym oblicza się ze wzoru:

$$I_p = P_c / U_p$$

Rdzenie transformatorów, które spotyka się w praktyce są tak zwymiarowane, że jeżeli uzwojenie obliczamy posługując się tymi wzorami i będziemy je nawijać racjonalnie, wówczas całe uzwojenie powinno się zmieścić.

W następnym odcinku pokaże przykład obliczania transformatora sieciowego oraz metodę obliczania transformatorów sieciowych, przy użyciu nomogramu.

UWAGI: np. indukcyjność ruskiego trafo zasilającego (moc 250VA) z starego TV, o rdzeniu zwijanym z kształcie dwóch liter „OO” to ok. 13000 Gs.

Dane z czasopism, przedruki pobrane z [www.fonar.com.pl](http://www.fonar.com.pl):

## **Andrzej Kiełkiewicz, "Praktyczne sposoby określania danych nieznanymi transformatorów i dławików"**

**[Radioamator 4/1952](#)**

W praktyce każdego radioamatora zachodzi często konieczność zastosowania posiadanego gotowego transformatora lub dławika do budowlanego urządzenia. Czasem może się zdarzyć, że posiadamy taki transformator czy dławik, jaki nam jest w danym urządzeniu potrzebny, lecz niestety taki szczęśliwy zbieg okoliczności jest rzadki. Przeważnie albo dane elektryczne nie odpowiadają naszym wymaganiom, lub też po prostu nie znamy ich i nie wiemy w jakich warunkach dany transformator lub dławik powinien pracować.

Z tego względu konieczna jest dla każdego radiotechnika umiejętność określenia wszelkich cech charakterystycznych transformatora lub dławika oraz wykonania koniecznych przeróbek. Wykorzystanie posiadanego sprzętu jest oczywiście o wiele korzystniejsze, niż wykonywanie czy kupowanie nowego.

Określanie danych elektrycznych gotowych transformatorów i dławików opiera się oczywiście na tych samych

zasadach co ich obliczanie przy danych z góry założonych, dlatego też można oprzeć się na sposobie obliczania podanym w artykule pt. "Obliczanie transformatorów i dławików", zamieszczonym w nr 4 z 1950 r. miesięcznika "Radio".

Przede wszystkim omówimy szereg przypadków badania i przerabiania transformatorów sieciowych.

Najprostszy przypadek zachodzi wówczas, gdy znamy wszystkie dane posiadanego transformatora, to znaczy wartości jego napięć na poszczególnych uzwojeniach oraz dopuszczalne wartości natężenia prądu w uzwojeniach. Możemy wówczas od razu określić, czy ten transformator odpowiada naszym aktualnym wymaganiom, czy też nie. Przypadek taki zdarza się w praktyce bardzo rzadko, gdyż jeżeli nawet na transformatorze są oznaczone napięcia poszczególnych uzwojeń, to z reguły nie podane jest dopuszczalne natężenie prądu.

Należy więc je określić. W tym celu mierzymy grubość drutu każdego z uzwojeń, co można z łatwością wykonać biorąc pod uwagę fakt, że przeważnie doprowadzenie do końcówki jest wykonane tym samym drutem co i uzwojenie. Jedynie uzwojenia wykonywane bardzo cienkim drutem mają doprowadzenia wykonane z grubszego drutu. Znając średnicę z łatwością można obliczyć dopuszczalne natężenie prądu, zakładając gęstość prądu  $2A/mm^2$ . Zaznaczyć tu należy, że nie ma potrzeby mierzenia średnicy drutu uzwojenia pierwotnego, gdyż zostało ono na pewno obliczone na odpowiednią moc pobieraną z transformatora i jeśli nie przeciążymy żadnego z uzwojeń wtórnych, to również i uzwojenie pierwotne nie będzie przeciążone.

W niektórych przypadkach, jeśli transformator umieszczony ma być w miejscu przewiewnym o dobrej wentylacji, dopuszczalne jest zwiększenie obciążenia do  $3A/mm^2$  przekroju drutu, lecz wówczas poleca się sprawdzić czy transformator nie nagrzewa się zbyt. Po kilkugodzinnej pracy temperatura jego nie powinna przekraczać ok.  $60^{\circ}C$ . Jeśli przy dotknięciu ręką ani uzwojenie ani też rdzeń nie parzą, a są jedynie ciepłe wówczas można uznać, że warunki pracy transformatora są dobre.

Często niemożliwe jest zmierzenie grubości drutu któregośkolwiek z uzwojeń. Jeśli jest to jedyne z uzwojeń wtórnych, to możemy sobie poradzić w inny sposób. Obliczamy mianowicie całkowitą moc pobieraną z uzwojeń wtórnych, których grubość drutu zdołaliśmy określić, mnożąc napięcia tych uzwojeń przez odpowiednie wartości natężenia prądu.

Z drugiej strony obliczamy jaką moc może dany transformator oddać, korzystając z zależności:

$$S = 1,25\sqrt{P} \quad (1)$$

gdzie S jest przekrojem rdzenia w  $cm^2$ , zaś P - mocą w VA (woltamperach).

Różnica tych dwóch wielkości określi jaką moc można pobrać z pozostałego uzwojenia, skąd już łatwo obliczyć dopuszczalne natężenie prądu znając napięcie tego uzwojenia.

Weźmy przykład. Mamy transformator o przekroju rdzenia  $S=9cm^2$ . Stwierdzono, że po stronie wtórnej posiada on uzwojenie anodowe dające napięcie 300V, grubość zaś drutu tego uzwojenia nie da się zmierzyć. Poza tym istnieją 2 uzwojenia: 4V, 2A oraz 6,3V, 2A. Obliczamy moc, jaką można pobrać z uzwojeń żarzeniowych:

$$P'_z = 4 \cdot 2 + 6,3 \cdot 2 = 8 + 12,6 = 20,6VA$$

Moc całkowitą jaką może oddać transformator obliczamy z zależności (1):

$$P = \left( \frac{S}{1,25} \right)^2 = \left( \frac{9}{1,25} \right)^2 = 52VA$$

A zatem na uzwojenie anodowe pozostaje moc

$$P_a = P - P'_z = 52 - 20,6 = 31,4VA$$

Stąd już łatwo obliczyć jaki prąd może dostarczać pozostałe uzwojenie, a mianowicie:

$$J = \frac{P_a}{U_a} = \frac{31,4}{300} = 0,105A$$

czyli okrągło 100mA.

Jeśli mamy transformator, który posiada szereg uzwojeń, a tylko napięcie nominalne jednego z nich jest nam

znane, wówczas do tego uzwojenia przykładamy właściwe mu napięcie i po prostu mierzymy napięcie występujące na pozostałych uzwojeniach. Otrzymane wartości będą nieco większe od napięć przy normalnej pracy ze względu na oporności omowe uzwojeń, które wywołują spadek napięcia przy obciążeniu. Fakt ten należy uwzględnić przy kwalifikacji transformatora do danej pracy.

Sprawa nieco komplikuje się, gdy nie znamy żadnego napięcia uzwojeń transformatora. Wówczas należy zmierzyć przekrój rdzenia i stąd obliczyć ile zwojów przypada na 1 wolt napięcia. Korzystamy tu z zależności:

$$n' = \frac{44}{S}$$

gdzie  $n'$  - ilość zwojów na wolt,  $S$  - przekrój rdzenia w  $\text{cm}^2$ .

Określiwszy liczbę  $n'$  obliczamy teraz ilość zwojów, które umieszczone są na wierzchu. Wówczas już łatwo obliczyć jakie jest nominalne napięcie tego uzwojenia, uwzględniając fakt, że napięcie to jest o 8% niższe, niż to wynika z obliczenia ilości zwojów. Wykonanie tego obliczenia jest przeważnie łatwe, gdyż na wierzchu znajdują się z reguły uzwojenia żarzeniowe o małej ilości zwojów grubego drutu.

Jeśli jednak policzenie ilości zwojów nastrocza duże trudności (wymaga np. odwinięcia całego uzwojenia), wówczas musimy nawinąć na wierzchu dodatkowe uzwojenie, np. 10 lub 20 zwojów i przyłożyć do niego napięcie o takiej wartości, jaka wynika z ilości zwojów na wolt. Na przykład nawinięto 20 zwojów, a obliczona ilość zwojów na wolt wynosi  $n'=4$ , wówczas do tego uzwojenia należy przyłożyć napięcie 5V.

Wykorzystując dodatkowe uzwojenie mierzymy napięcia powstające na wszystkich uzwojeniach transformatora. Bardzo często zachodzi konieczność przewinięcia uzwojenia żarzenia na inne napięcie. Wykonać jest to bardzo łatwo, gdyż po prostu zwiększamy lub zmniejszamy ilość zwojów proporcjonalnie do napięcia, zwracając uwagę, by moc pobierana z nowego uzwojenia była taka sama jak przy starym uzwojeniu.

Mamy na przykład transformator posiadający uzwojenie składające się z 10 zwojów drutu o średnicy 1,2mm. Nominalne napięcie tego uzwojenia wynosi 2,5V. Potrzebne jest zaś uzwojenie na napięcie 6,3V. Z obliczenia wynika, że ilość zwojów na wolt (uwzględniając już zwwyżkę o 8%) wynosi:

$$n' = \frac{10}{2,5} = 4$$

Dla otrzymania napięcia 6,3V należy dać zwojów

$$n = 6,3 \cdot 4 = 25,2$$

czyli okrągło 25 zwojów.

Grubość drutu 1,2mm poprzedniego uzwojenia wskazuje, że można było pobierać prąd o natężeniu 2,2A, a więc moc pobierana wynosiła:

$$P = 2,5 \cdot 2,2 = 5,5\text{VA.}$$

Dla zachowania tej samej mocy z nowego uzwojenia można pobrać najwyżej

$$J = \frac{5,5}{6,3} = 0,875\text{A}$$

Z tabeli drutów nawojowych określamy, że grubość drutu powinna wynosić 0,75mm.

W niektórych przypadkach możliwe jest nawinięcie na transformatorze dodatkowego uzwojenia. Możliwość ta zachodzi wówczas, gdy po pierwsze z obliczenia dopuszczalnej pobieranej mocy (wg zależności (1)) wynika, że rozporządzamy jeszcze pewną nadwyżką, a po wtóre dodatkowe uzwojenie zmieści się jeszcze na szpuli. Grubość drutu, a więc i dopuszczalne natężenie prądu dobrać należy w taki sposób, aby nie przekroczyć dozwolonej mocy pobieranej z transformatora.

Przejdźmy obecnie do omówienia postępowania przy określaniu danych elektrycznych dławików oraz transformatorów akustycznych. Istotnymi cechami w tym przypadku są:

- indukcyjność uzwojeń,
- przekładnia zwojowa i opornościowa,
- rodzaj pracy (stopień wejściowy modulacji itp.),

- dozwolone obciążenie prądowe uzwojeń,
- obciążalność mocą akustyczną.

Badanie dławika rozpoczynamy od pomiaru grubości drutu, dzięki czemu określamy dopuszczalną wartość natężenia prądu. W celu obliczenia indukcyjności przede wszystkim musimy określić ilość zwojów.

W tym celu na uzwojeniu dławika nawijamy dodatkowe uzwojenie np. 10 lub 20 zwojów, przykładamy do niego napięcie 1 lub 2V i mierzymy napięcie na uzwojeniu dławika. W ten sposób możemy obliczyć w przybliżeniu ilość zwojów. Dalej znając wymiary rdzenia obliczamy indukcyjność. Weźmy na przykład dławik, który posiada uzwojenie wykonane drutem o średnicy 0,35mm. Dopuszczalny prąd dla tego drutu wynosi 0,2A. Po nawinięciu 10 zwojów i przyłożeniu do nich napięcia 2V zmierzone na dławiku napięcie wyniosło 500V. Stąd wynika, że ilość zwojów wynosi:

$$n = 10 \cdot \frac{500}{2} = 2500$$

Przekrój rdzenia wynosi 29x29. Przy tego rodzaju blachach i tej grubości rdzenia objętość jego wynosi  $V=140\text{cm}^3$ . Droga magnetyczna dla blach wymiaru 29 wynosi  $l=17,1\text{cm}$ .

Mając te dane obliczamy:

$$\frac{nJ}{l} = \frac{2500 \cdot 0,2}{17,1} = 27$$

stąd korzystając z wykresu rys.4 odczytujemy:

$$\frac{LJ^2}{V} = 0,00143$$

następnie obliczamy indukcyjność:

$$L = \frac{0,00143 \cdot V}{J^2} = \frac{0,00143 \cdot 140}{0,2^2} = 5H$$

Okazało się więc, że mamy dławik 5H, 200mA.

Określenie danych transformatorów akustycznych jest takie same jak i przy dławikach. W ten sam sposób, metodą dodatkowego uzwojenia obliczamy ilości zwojów poszczególnych uzwojeń oraz ich przekładnię, a z grubości drutu określamy dopuszczalne natężenie prądu. Następnie oblicza się indukcyjność uzwojeń.

Przy transformatorach akustycznych należy zwrócić uwagę, czy rdzeń posiada szczelinę, czy nie. Jeśli szczelina istnieje, to taki transformator przeznaczony jest do pracy z nasyceniem prądem stałym, czyli może pracować jako transformator wyjściowy z jedną lampą, w układzie przeciwsobnym w klasie B lub wreszcie jako modulacyjny. Jeśli blachowanie rdzenia jest przemienne, to transformator taki nie może mieć nasycenia prądem stałym, czyli może pracować jako liniowy, siatkowy lub w układzie przeciwsobnym w klasie A.

Jako pewna wskazówka wartości oporności dopasowania może służyć ilość zwojów danego uzwojenia. W ten sposób można jedynie zorientować się w rzędzie wielkości, nie można natomiast ściśle określić oporności dopasowania. Do tego celu konieczne jest obliczenie, czy też pomiar indukcyjności uzwojenia.

#### Ilość zwojów

10-100

200-800

1000-4000

#### Orientacyjna wartość oporności dopasowania

1-16omów

100-600omów

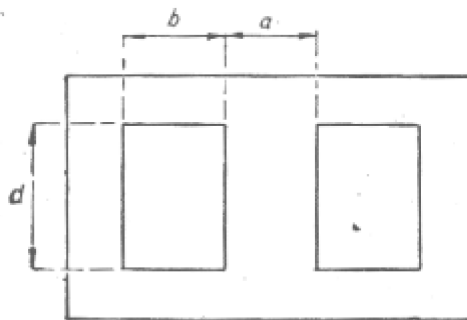
1000-20000omów

**Jak naprawić i obliczyć transformator sieciowy**  
[Radioamator 3/1953](#)

## Naprawa transformatora

Jednym z elementów ulegających uszkodzeniu w odbiornikach radiowych lub we wzmacniaczach - jest transformator sieciowy, który staje się niezdolny do użytku najczęściej wskutek przegrzania do temperatury powyżej 60° Celsjusza. Tak wysoka temperatura powoduje spalenie izolacji wewnętrznej, a więc emalii, którą pokryty jest drut nawojowy, przekładki papierowych pomiędzy warstwami uzwojenia, a nawet i samego korpusu, na którym są one wykonane (korpus nosi nazwę karkasu). Silnemu przegrzaniu transformatora towarzyszy wydostawanie się dymu z aparatu oraz zapach spalenizny, dający znać o istniejącym niebezpieczeństwie powstania zwarcia. Najczęściej przyczyną powodującą zniszczenie transformatora sieciowego bywa obciążenie jednego z uzwojeń nadmiernym poborem prądu wskutek częściowego lub całkowitego zwarcia w obwodzie tego uzwojenia. Uszkodzenie transformatora polega na zniszczeniu izolacji międzyzwojowej, natomiast rdzeń zawsze nadaje się do ponownego użycia. Ma to znaczenie z uwagi na możliwość zachowania tych samych co poprzednio wymiarów i określenia ilości zwojów poszczególnych uzwojeń. Identyczne wymiary ułatwią ponowne wmontowanie transformatora w przeznaczonym dla niego miejscu, a zmierzony przekrój da podstawę do znalezienia z odpowiedniego nomogramu ilości zwojów, przypadających na 1V napięcia (nomogram i sposób posługiwania się nim znajdzie Czytelnik na III stronie okładki).

Naprawa transformatora polegać będzie na wykonaniu nowych uzwojeń po owinięciu starego drutu w sposób na tyle ostrożny, aby te uzwojenia, które nie uległy zniszczeniu, mogły być ponownie nawinięte tym samym drutem (np. uzwojenie żarzenia). Przy odwijaniu pożądane jest również liczenie zwojów przynajmniej jednego z uzwojeń żarzenia, co da nam podstawę do obliczenia całego transformatora. Jeśli mianowicie na 4-woltowe uzwojenie żarzenia przypada np. 28 zwojów - to można przyjąć, że wszystkie pozostałe uzwojenia posiadają ten sam stosunek ilości zwojów do napięcia, tj.  $28:4 = 7$  zwojów/V. Wynika stąd, że uzwojenie mające dostarczyć 300V - musi posiadać  $300 \times 7$  zwojów = 2100 zwojów.



Rys.1

Przewijanie transformatora można rozpocząć po usunięciu rdzenia, który rozbierzemy przez kolejne wyjęcie znajdujących się w otworze karkasu pojedynczych blach żelaznych, obejmujących uzwojenie. Blachy należy wyjmować umiejętnie zwłaszcza pierwsze, gdy rdzeń przedstawia jeszcze ściśnięty pakiet, aby nie uszkodzić fabrycznie wykonanego szkieletu (karkasu), który można będzie powtórnie wykorzystać do nawinięcia na nim uzwojeń lub jako model do wykonania nowego karkasu.

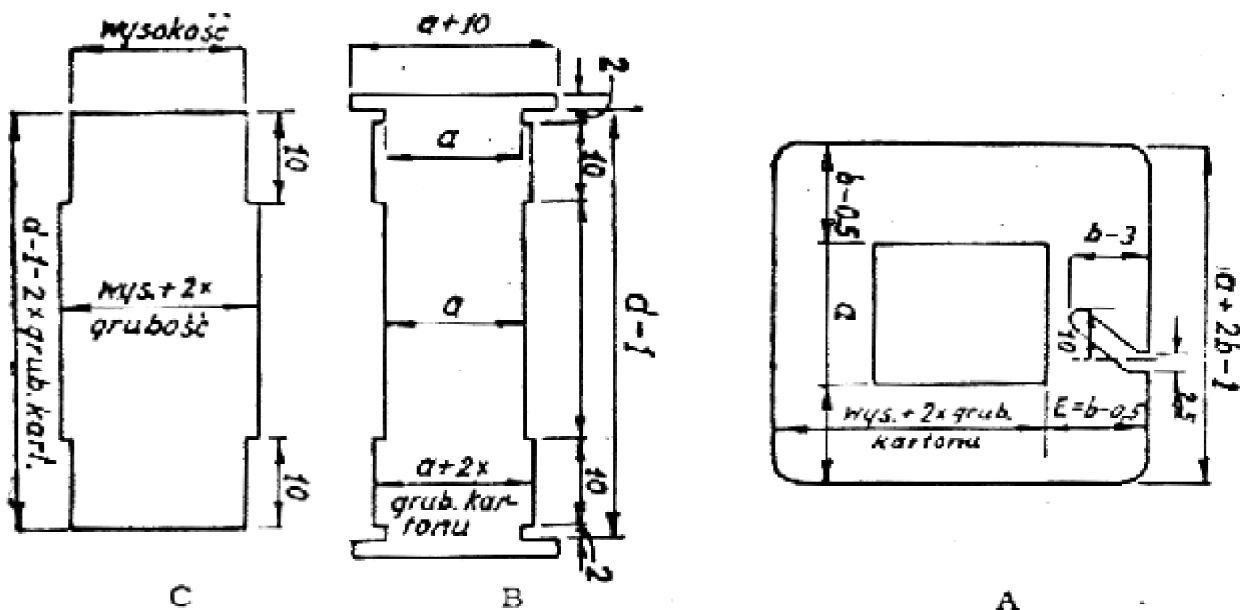
Najczęściej stosowany jest karkas o przekroju prostokątnym lub kwadratowym, z dwoma jednakowymi kołnierzami na krańcach (rys.3). Wymiary jego uzależnione są od trzech zasadniczych długości blach rdzenia, a mianowicie od wielkości tzw. okna (na rys.1 wymiary b i d) oraz od wymiaru, odnoszącego się do środkowej części blachy, stanowiącej przegrodę pomiędzy dwoma oknami (na rys.1 wymiar a). Karkas o wymiarach ściśle przystosowanych do wielkości rdzenia wykonamy z grubego kartonu, przygotowując poszczególne jego części, które następnie zostaną złożone w całość. Wygląd tych części oraz wzajemne zależności pomiędzy ich wymiarami pokazane są na rys.2, gdzie widzimy kołnierz, o którym była mowa wyżej (A) oraz dwa w różny sposób wykrojone boki (B i C) z tym, że dla złożenia całości - każdą część wykonamy w dwóch egzemplarzach. Po złożeniu karkasu pozostaje wykonanie uzwojeń na podstawie danych jakie uzyskano przy odwijaniu i liczeniu poszczególnych uzwojeń lub jednego z nich w celu ustalenia ilości zwojów na 1V napięcia, według nomogramu wychodzą z przekroju rdzenia lub z warunków pracy określających pobór mocy za pośrednictwem transformatora - wreszcie na podstawie obliczenia.

### Przybliżone obliczenie uzwojeń.

Za podstawę do obliczeń przyjmijmy wielkość mocy przy czym dla transformatorów małej mocy (do 1KW), przeznaczonych do zasilania odbiorników i wzmacniaczy radiowych, przekrój rdzenia zależy od tej mocy, związany będzie z nią następującym uproszczonym wzorem:

$$S = 1,25 \sqrt{P_1}$$

gdzie  $S$  oznacza przekrój rdzenia w  $\text{cm}^2$ ,  $P_1$  - moc transformatora w watach.

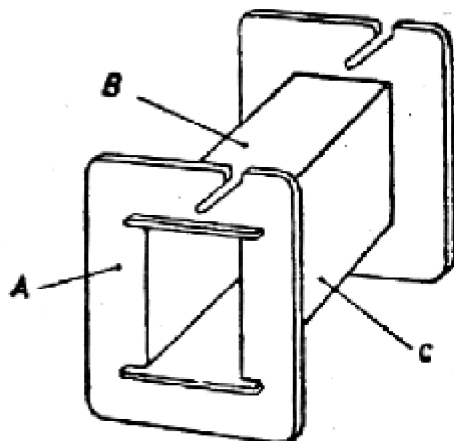


Rys.2

Za przekrój można w przybliżeniu uważać powierzchnię prostokątnego otworu w kołnierzu karkasu (rys.2-A), którego wymiary dane są przez bok  $a$  na rys.1 i grubość pakietu złożonego z nałożonych na siebie blach.

Posługiwanie się tą zależnością w odniesieniu do wspomnianych transformatorów małej mocy daje w praktyce wystarczająco dokładne rezultaty i upraszcza obliczenia.

Pełną moc transformatora obliczymy na podstawie iloczynów napięć i prądów jakie pobierają poszczególne człony aparatu. Wchodzące w grę napięcia i prądy odnoszą się do pracujących w odbiorniku lamp i mogą być wzięte z katalogu.



Rys.3

Odpowiednie iloczyny dadzą nam moc żarzenia lampy prostowniczej, moc żarzenia lamp odbiorczych oraz moc anodową. Suma tych iloczynów będzie mocą oddaną przez uzwojenie wtórne ( $P_2$ ), którą należy przenieść na stronę pierwotną z uwzględnieniem strat w transformatorze. Wobec tego pobrana z sieci moc wyniesie  $P_1 = k \cdot P_2$ ; gdzie współczynnik  $k$  określa średnie wartości procentowe strat, jakie mają miejsce w żelazie i w samym uzwojeniu. Przyjmuje się, że wartość tego współczynnika wynosi od 1,1 do 1,2 zależne od żelaza, z jakiego wykonany jest rdzeń.

Moc  $P_2$  jest zwykle sumą mocy pobieranych przez obwody żarzenia wszystkich lamp łącznie z lampą prostowniczą, magicznym okiem, żarówkami oświetleniowymi oraz przez obwody anodowe lamp odbiorczych. Znając wielkość niezbędną w danych warunkach pracy transformatora przekroju  $S$  jego rdzenia możemy obliczyć ilość zwojów potrzebnych na każdy wolt napięcia z uproszczonej zależności:

$$N = 45,5 \cdot \frac{1}{S}$$

Jeśli występujące na danym uzwojeniu napięcie wynosić będzie E woltów, wówczas ilość zwojów tego uzwojenia powinna wynosić  $Z = N \cdot E \pm 0,05 \cdot N \cdot E = NE(1 \pm 0,05)$  przy czym znak plus odnosi się do uzwojenia wtórnego, a znak minus do uzwojenia pierwotnego. A oto przybliżone wartości N dla niektórych przekrojów S (por. normogram)

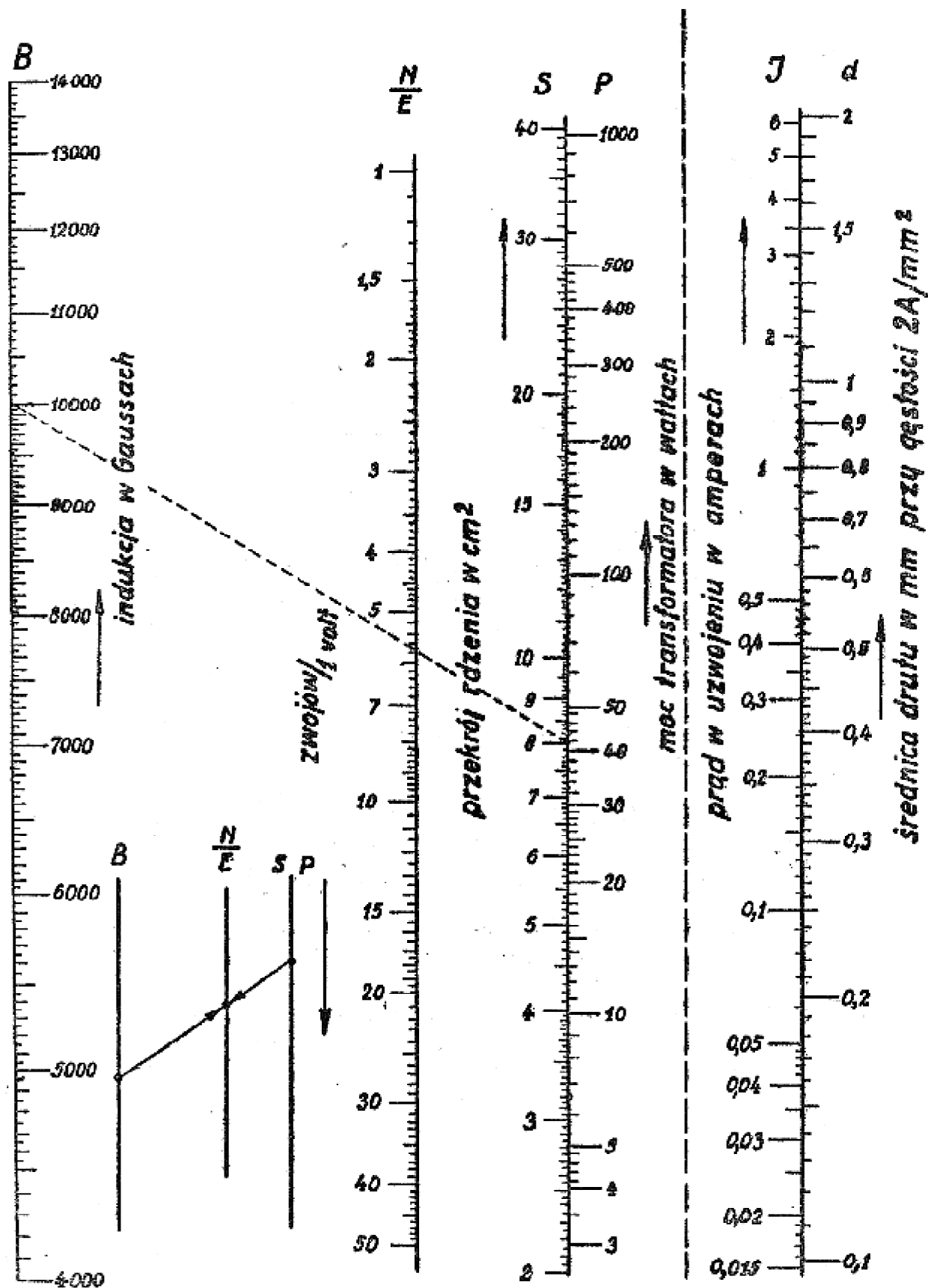
S cm <sup>2</sup>	4	5	6	7	8	9	10	11	12
N	11	9	7,7	6,4	5,7	5	4,5	4	3,6

Każde z uzwojeń transformatora należy wykonywać warstwami oddzielonymi od siebie przekładkami z cienkiego lecz mocnego papieru izolacyjnego, jaki na przykład używany jest w kondensatorach blokowych jako dielektryk (stąd nazwa - kondensatory papierowe).

Staranne wykonanie warstw i ułożenie jednej na drugiej bez zbytniego ściskania zwojów zwiększy pewność pracy transformatora ze względu na ewentualność przebicia.

Uzwojenia pierwotne i wtórne oddziela się od siebie za pomocą ekranu, którym jest pasek grubej folii miedzianej z końcówką na zewnątrz w celu uziemienia jej lub - jak w niektórych transformatorach - połączonej z rdzeniem.

**c.d.n.**



**Szczegółowe obliczenie uzwojeń**

Za podstawę do obliczenia ilości zwojów poszczególnych uzwojeń transformatora przyjmuje się prawo elektrotechniki mówiące, że w cewce o zwojach, przez którą przechodzi strumień magnetyczny o wartości szczytowej  $B_m$  i częstotliwości  $f$  indukuje się napięcie o wartości skutecznej  $E$  określony przez wzór:

$$E = 4,44 f \cdot Z \Phi_m \cdot 10^{-8}$$

$$\text{skąd: } \frac{Z}{E} = \frac{10^8}{4,44f \cdot \Phi_m}$$

lub biorąc pod uwagę, że

$$\Phi_m = B_m \cdot S$$

otrzymamy

$$N = \frac{Z}{E} = \frac{10^8}{4,44f \cdot B_m S}$$

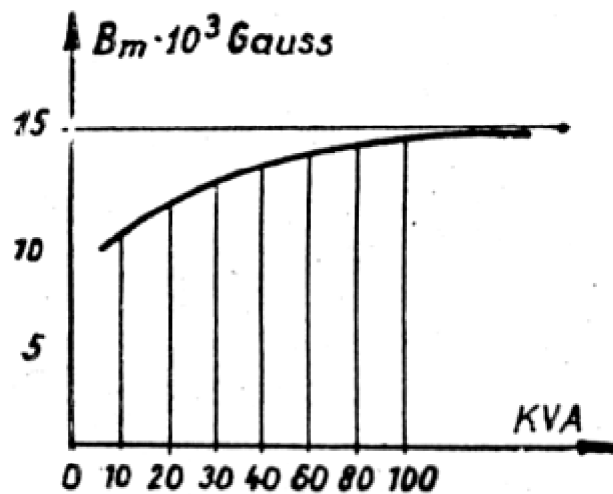
gdzie: N - jest to ilość zwojów na 1 wolt napięcia,  $B_m$  - maksymalna gęstość strumienia magnetycznego, (indukcji magnetycznej) w gausach, S - przekrój rdzenia w  $cm^2$ .

Ten ogólny wzór stosuje się zarówno do uzwojenia pierwotnego jak i uzwojenia wtórnego transformatora.

Częstotliwość przemysłowa sieci zasilającej wynosi jak wiemy 50okr/sek, wobec tego uwzględniając tę wartość f w poprzedniej zależności otrzymamy:

$$N = \frac{10^8}{222 \cdot B_m \cdot S} = \frac{455000}{B_m \cdot S} \text{ zw/wolt}$$

Wielkość indukcji magnetycznej  $B_m$  dla małych transformatorów wybiera się rzędu 10000 do 12000 gausów przy czym zakres wartości dopuszczalnych nie może przekraczać 15000 gausów bez względu na moc transformatora jak pokazano na rys.4.



Rys.4

Jest to związane ze sprawą nagrzewania się rdzenia i stratami mocy, zużywanej na magnesowanie żelaza.

W przypadku, gdy mamy do wykonania nowy transformator pozostanie do znalezienia przekrój rdzenia S, który tak jak w obliczeniach przybliżonych znajdziemy z zależności:

$$S_2 = 1,25 \sqrt{P_1} \text{ cm}^2$$

W dokładnym obliczeniu za przekrój S należy przyjąć przekrój samych blach, tworzących pakiet bez izolacji, jaka jest stosowana w celu zmniejszenia strat pochodzących od prądów wirowych. Pojedyncze blachy izolowane są z jednej strony papierem lub też powleczone są warstwą farby izolującej, dlatego wielkość przekroju rdzenia jest nieco mniejsza, niż wynikałoby to z iloczynu wymiaru a z rysunku pierwszego przez wysokość lub jak kto woli - grubość pakietu h. Zależność między  $S_2$  i S t.j. przekrojem, jaki powinien być w rzeczywistości z uwzględnieniem niezbędnej izolacji jest następująca;

$$S_z = 0,9S$$

Moc  $P_1$  potrzebna do obliczenia przekroju  $S_z$  w określonych warunkach pracy transformatora wyznaczona jest przez prądy i napięcia, potrzebne po stronie wtórnej. Są to prądy i napięcia żarzenia oraz prądy i napięcia anodowe poszczególnych lamp. Iloczyny tych prądów i odpowiednich napięć są składnikami, których suma daje moc  $P_2$ . Przenoszenie mocy ze strony pierwotnej na stronę wtórną transformatora nie odbywa się bez strat w samym transformatorze dlatego też nie możemy przyjąć, że  $P_1 = P_2$  i na tej podstawie obliczyć  $S_z$  a następnie ilość zwojów  $N$ .

Uwzględniając straty, moc  $P_1$  musi być większa od mocy  $P_2$  o moc, niezbędną na pokrycie tych strat. Powstają one zarówno po stronie wtórnej jak i po stronie pierwotnej transformatora.

Straty strony wtórnej  $P_{s2}$ , powstają z powodu obciążenia uzwojeń, są to więc głównie straty w miedzi, które oznaczamy przez  $P_{cu2}$ .

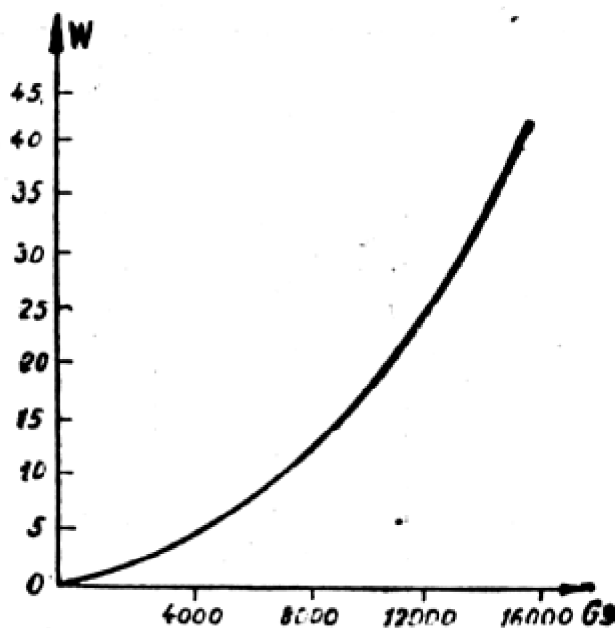
Wielkość tych strat zależy od wartości oporu uzwojeń i od ich obciążenia. Ponadto straty mają miejsce w samym prostowniku, którym jest lampa lub element prostowniczy (np. selen), a które również musi pokryć transformator. Te dodatkowe straty, związane z pracą prostownika, oznaczamy przez  $P_p$ .

Podobnie ma się rzecz po stronie pierwotnej, gdzie straty występujące wskutek obciążenia drutu, z jakiego wykonane jest uzwojenie, są stratami w miedzi, - oznaczamy je przez  $P_{cu1}$ .

Oprócz wymienionych dochodzą jeszcze straty tzw. stanu jałowego transformatora t.j. gdy nie ma żadnego obciążenia po stronie wtórnej. Są to straty w żelazie, powodujące ubytek mocy w ilości  $P_z$ . Moc ta zostaje zużyta na:

1. przemagnesowywanie rdzenia, wywołane istnieniem zmiennego pola magnetycznego, odpowiadającego przyłożonemu napięciu zmiennemu.  
Są to tzw. straty z histerezy, zależne od gatunku żelaza, wartości szczytowej indukcji  $B_m$  i od częstotliwości  $f$ . Stanowią one najważniejszą część strat stanu jałowego transformatora.  
Oprócz strat histerezy strata mocy w żelazie zostaje zużyta na:
2. prądy wirowe, zależne od  $B_m$ , oraz od grubości blach żelaznych. Właśnie ze względu na zredukowanie strat z prądów wirowych rdzeń buduje się z pojedynczych cienkich blach, izolowanych między sobą papierem lub farbą izolacyjną, nie pozwalającą na przepływ prądu od blachy do blachy.

W obydwóch wypadkach stracona moc ulega zamianie na ciepło. W stosunku do danego rdzenia straty w żelazie zależą od jego wielkości i są tym większe im rdzeń jest większy (cięższy). Straty mocy  $P_z$  na 1kg blach transformatorowych przedstawia rys.5.



Rys.5

Reasumując powiemy że określenie mocy  $P_1$  w znanych warunkach pracy, odnoszących się do strony wtórnej z uwzględnieniem wszystkich rozpatrzonych wyżej strat daje zależność:

$$P_1 = P_2 + P_{s1} + P_{s2}, \text{ przy czym:}$$

$$P_{s1} = P_{cu1} + P_{zi}$$

$$P_{s2} = P_{cu2} + P_p$$

Mając wartość mocy P1 można określić przekrój rdzenia, a następnie ilość zwojów na 1 wolt napięcia.

Dla uzyskania ilości zwojów, jakie trzeba nawinąć, aby mieć pożądane napięcie należy obliczoną wartość N pomnożyć przez owo napięcie z dodatkowym uwzględnieniem odpowiednich spadków napięć w samych uzwojeniach. W ten sposób ilość zwojów:

$$Z = N \cdot (E \pm e)$$

przy czym znak + odnosi się do uzwojenia wtórnego, znak - do uzwojenia pierwotnego.

Wynika stąd, że iloczyn NE nie jest wystarczający dla dokładnego określenia ilości zwojów. Dla danego rdzenia ilość zwojów poszczególnych uzwojeń wymaga dodatkowego obliczenia wielkości e występującej w ostatniej zależności.

Zanim to zrobimy - zajmiemy się najprzód obliczeniem oporu uzwojenia, z którego jest ono wykonane, znając bowiem opór i prąd płynący przez uzwojenie łatwo otrzymamy spadek napięcia e. Średnica drutu lub przekrój związany jest z obciążeniem, przy czym istnieje zależność:

$$g = \frac{I}{s} \text{ mm}^2$$

w której "I" jest prądem obciążenia danego uzwojenia w amperach, "s" - gęstością prądu w A/mm<sup>2</sup> i g - przekrojem drutu w mm<sup>2</sup>.

W praktyce dla transformatorów do 70 watów przyjmuje się s=3,0 do 3,5A/mm<sup>2</sup>, dla transformatorów ponad 70 watów - s=2,5 do 3,0A/mm<sup>2</sup>. Opór 1 metra drutu o znanym przekroju "q" podają tabele. Wartości oporów dla niektórych przekrojów (i średnic) przedstawiają się następująco:

Przekrój w mm <sup>2</sup>	Średnica w mm z izolacją	Opór 1m. drutu miedzianego
0,00503	0,10	3,482
0,00636	0,11	2,751
0,00785	0,12	2,23
0,095	0,14	1,841
0,0113	0,15	1,547
0,0133	0,16	1,316
0,0154	0,17	1,136
0,0177	0,18	0,99
0,0201	0,19	0,871
0,0227	0,20	0,722
0,0254	0,21	0,687
0,02835	0,22	0,618
0,0314	0,23	0,557
0,038	0,25	0,461
0,0491	0,28	0,3565
0,0616	0,32	0,284
0,0707	0,34	0,2476
0,096	0,39	0,18189
0,1256	0,44	0,13926
0,159	0,5	0,11004

Znając przybliżoną ilość zwojów "NE" oraz opór jednego metra przewodu, z którego uzwojenie to jest wykonane, możemy obliczyć całkowity opór drutu owego uzwojenia, biorąc pod uwagę wymiary transformatora i miejsce, w którym drut będzie nawinięty.

W tym celu najwygodniej będzie określić długość jednego zwoju, aby następnie pomnożyć ją przez całkowitą ilość zwojów. W ten sposób dostaniemy wartość R, określającą opór uzwojenia, który pozwoli wyznaczyć

potrzebną do korekcji ilości zwojów wartość  $e$ , a mianowicie:  $e=RI$ .

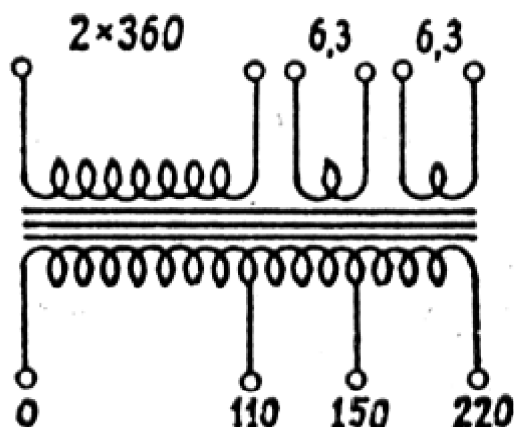
Dla kontroli miejsca, w którym mają zmieścić się wszystkie uzwojenia oblicza się przybliżoną ilość warstw każdego z nich, biorąc pod uwagę średnicę drutu oraz izolację.

Jeśli okaże się, że okno rdzenia jest niewystarczające należy albo zmniejszyć średnicę drutów nawojowych, albo powiększyć rdzeń, jednakże wymiary muszą być takie, aby grubość pakietu  $h$  nie była większa od  $1,4a$ , t.j. aby był zachowany warunek:  $h \leq 1,4a$ .

Przez powiększenie przekroju  $S$  zmieniają się także obliczone ilości zwojów, które trzeba będzie znaleźć na nowo w/g podanych reguł. Wzór na  $N$  wskazuje, że większemu przekrojowi odpowiada mniejsza ilość zwojów i odwrotnie - ponieważ przekrój  $S$  występuje w mianowniku.

Podamy teraz przykład, który ułatwi zorientowanie się w biegu obliczeń, a także pozwoli na drodze praktycznej wykorzystać wszystkie podane zależności.

Założmy, że mamy zbudować transformator, który po stronie wtórnej ma dać następujące wartości napięć i prądów: uzwojenie anodowe dla dwukierunkowej lampy prostowniczej, dające zmienne napięcie  $2 \times 360$  woltów z prądem obciążenia 80 miliamperów (0,08A); uzwojenie żarzenia lampy prostowniczej 6,3V/1,1A i uzwojenie żarzenia pozostałych lamp 6,3V/2A (rys.6).



Rys.6

Z danych tych obliczamy moc, jaką musi oddać transformator po stronie wtórnej:

$$P_2 = 360 \cdot 0,08 + 6,3 \cdot 1,1 + 6,3 \cdot 2 = 48,33W$$

Dla przeniesienia mocy na stronę pierwotną potrzebne są dane odnoszące się do strat w transformatorze. W pierwszym przybliżeniu można przyjąć, że straty uzwojenia pierwotnego i wtórnego w miedzi nie przekroczą 5% mocy  $P_2$ . Założmy dalej, że straty w żelazie (straty stanu jałowego)  $P_z$  wynoszą 6 watów. Wobec tego obliczona moc, przeniesiona na stronę pierwotną da:

$$P_1 = 48,33 + 2 \cdot 0,05 \cdot 48,33 + 6 = 59,16W$$

Dla tej mocy niezbędny jest przekrój rdzenia, wynikający z zależności:

$$S = 1,2 \sqrt{P_1} = 1,2 \sqrt{59,16} = 9,23 \text{ cm}^2$$

Następnie obliczamy ilość zwojów  $N$ , przypadającą na 1 wolt napięcia, przy założeniu indukcji  $B=11000$  gausów. Wyniesie ona:

$$N = \frac{10^8}{222 \cdot 11000 \cdot 9,23} = 4,43 \text{ zw / wolt}$$

Odpowiednio do wysokości napięć otrzymujemy dla poszczególnych uzwojeń następujące ilości zwojów:

1. po stronie pierwotnej
  - dla 110V  $4,43 \cdot 110 = 487$  zwojów
  - dla 150V  $4,43 \cdot 150 = 665$  zwojów = 487 zwojów + 178 zwojów
  - dla 220V  $4,43 \cdot 220 = 976$  zwojów = 665 zwojów + 311 zwojów

2. po stronie wtórnej  
 dla napięcia 2x360V  $4,43 \cdot 2 \cdot 360 = 2 \times 1593$  zwojów  
 dla napięcia 6,3V  $4,43 \cdot 6,3 = 28$  zwojów.

Dla określenia przekroju drutu potrzebne są dane, dotyczące obciążenia każdego z uzwojeń. Prądy płynące w uzwojeniach wtórnych, są znane (założenie), natomiast prąd w uzwojeniu pierwotnym wynika z mocy P1 i z poszczególnych napięć, mianowicie:

dla napięcia 110 woltów:

$$I_1 = \frac{59,16}{110} = 0,538A$$

dla napięcia 150 woltów:

$$I_2 = \frac{59,16}{150} = 0,395A$$

dla napięcia 220 woltów:

$$I_3 = \frac{59,16}{220} = 0,27A$$

Jeśli obierzemy średnią gęstość prądu, wynoszącą 3A/mm<sup>2</sup>, to odpowiednie przekroje drutu, z którego wykonane będzie pierwotne uzwojenie transformatora wyniosą:

dla 110 woltów:

$$q_1 = \frac{0,538}{3} = 0,179mm^2 \cong \phi 0,5mm$$

dla 150 woltów:

$$q_2 = \frac{0,395}{3} = 0,131mm^2 \cong \phi 0,4mm$$

dla 220 woltów:

$$q_3 = \frac{0,27}{3} = 0,09mm^2 \cong \phi 0,35mm$$

Po stronie wtórnej przekroje i równoważne im średnice wynoszą:

dla 2 x 360 woltów:

$$q_4 = \frac{0,08}{3} = 0,0266mm \cong \phi 0,18mm$$

dla 6,3V/1,1A:

$$q_5 = \frac{1,1}{3} = 0,367mm \cong \phi 0,7mm$$

dla 6,3V/2A:

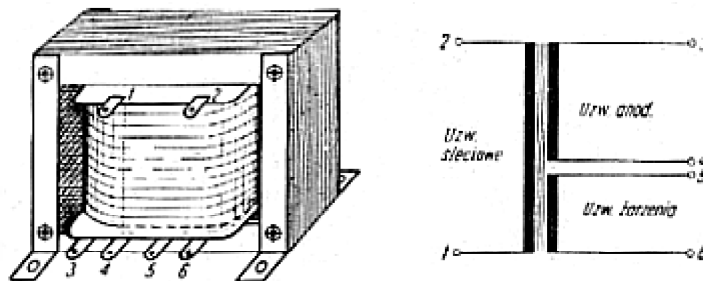
$$q_6 = \frac{2}{3} = 0,66\text{mm} \cong \phi 0,9\text{mm}$$

## K.W., "Transformator sieciowy" Radioamator i Krótkofalowiec 11/1962

Transformator sieciowy jest jednym z najdroższych i najbardziej kłopotliwych elementów składowych niemal każdej aparatury elektronicznej, zasilanej prądem z sieci elektroenergetycznej. Duża ilość kierowanych do Redakcji zapytań dotyczących wykonania transformatora sieciowego świadczy, że temat ten wciąż przysparza Czytelnikom sporo kłopotów i że stale jest aktualnym problemem. Dlatego też, zgodnie z zapowiedzią w poprzednim artykule, zapoznamy wszystkich początkujących radioamatorów ze sposobem samodzielnego obliczenia i wykonania transformatora sieciowego. Oczywiście opisane tu metody obliczeniowe zostały uproszczone do maksimum, co chyba każdy powita z zadowoleniem.

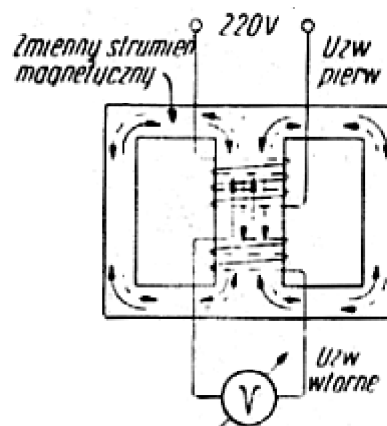
Jak wiadomo, transformator sieciowy składa się z rdzenia złożonego ze specjalnie kształtowanych blach oraz z uzwojeń. Uzwojenia, wykonywane z miedzianego drutu nawojowego w emalii, nawijane na korpusie (szpuli) dopasowanym rozmiarami do danego rdzenia.

Na rys.1 pokazany jest wygląd zewnętrzny jednego z takich transformatorów sieciowych oraz jego schemat ideowy.



Rys.1. Schemat ideowy i wygląd zewnętrzny transformatora sieciowego

Jeżeli transformator załączymy do źródła prądu zmiennego (rys.2), wówczas w jego uzwojeniu pierwotnym popłynie prąd magnesujący rdzeń. Oczywiście indukowany zmiennym prądem strumień magnetyczny jest również zmienny. Ponieważ na tym rdzeniu jest nawinięte także wtórne uzwojenie, zmienny strumień magnetyczny będzie w nim indukował zmienną siłę elektromotoryczną.



Rys.2. Zasada działania transformatora

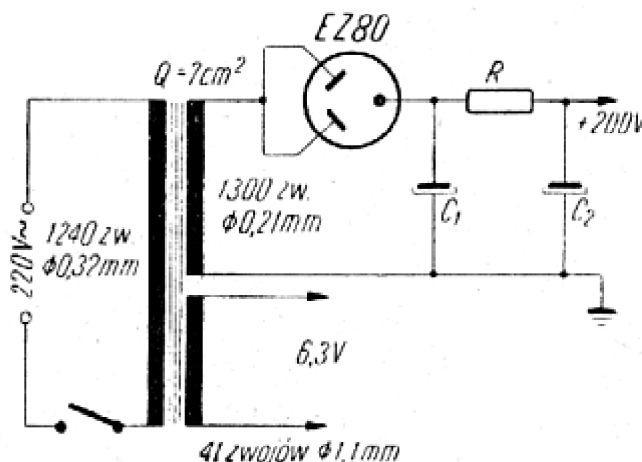
Podłączwszy do wtórnego uzwojenia przyrząd pomiarowy (woltmierz) można stwierdzić istnienie napięcia i odczytać jego wartość. Jeżeli wtórne uzwojenie transformatora posiada mniejszą ilość zwojów niż pierwotne, to napięcie będzie niższe (mówimy, że transformator taki posiada "przekładnię obniżającą"). Jeżeli natomiast wtórne uzwojenie ma większą ilość zwojów niż uzwojenie pierwotne; mówimy wówczas, że przekładnia jest podwyższająca. Łatwo jest domyślić się, że wielkość napięcia z uzwojenia "wtórnego" jest wprost proporcjonalna do ilości zwojów tego uzwojenia. Jeżeli więc, np. uzwojenie wtórne ma dwa razy więcej zwojów niż uzwojenie pierwotne, to napięcie na nim będzie dwukrotnie wyższe.

Do zasilania aparatury elektronicznej wymagane są napięcia o różnych wartościach. Czytelnicy, którzy zaznajomili się z "Kącikiem dla początkujących radioamatorów" zamieszczonym w poprzednim numerze miesięcznika pamiętają, że poza wysokim napięciem (przeważnie rzędu 200÷300V) wymagane jest również napięcie żarzenia dla lamp (przeważnie 6,3V) oraz niejednokrotnie napięcie żarzenia dla lampy prostowniczej. Napięć tych dostarcza nam transformator sieciowy. Wykonanie jego należy zawsze rozpocząć od dokonania prostego obliczenia, z którego wynikną wszystkie dane potrzebne dla jego konstrukcji.

W celu zaznajomienia Czytelników z uproszczoną metodą obliczania transformatora sieciowego, przedstawimy dwa konkretne przykłady.

### Przykład 1

Potrzebny jest transformator do zasilania niewielkiego odbiornika radiofonicznego, posiadającego następujący zestaw lamp: ECH81, EBF89, ECL82. Jako lampę prostowniczą najwygodniej zastosować popularną EZ80, która mając katodę dobrze izolowaną od włókna żarzenia nie wymaga oddzielnego uzwojenia żarzeniowego. Schemat ideowy takiego zasilacza pokazany jest na rys.3.



Rys.3. Schemat ideowy zasilacza z lampą EZ80 i dane uzwojeń transformatora (przykład 1)

Jak widzimy, poza uzwojeniem pierwotnym ma on pojedyncze uzwojenie wysokonapięciowe (dla prostownika półokresowego) oraz uzwojenie żarzenia.

Obliczenie transformatora rozpoczniemy od obliczenia mocy pobieranej przez układ. W tym celu wykorzystujemy dane zaczerpnięte z katalogu lamp.

Typ lampy	$U_z$	$I_z$	$I_a$	$I_e$	Uwagi
ECH81	6,3V	0,3A	3,5mA	6,5mA	heptoda
	-	-	4,5mA	-	trioda
EBF89	6,3V	0,3A	9,0mA	2,7mA	-
ECL82	6,3V	0,8A	1,0mA	-	trioda
	-	-	35mA	7,0mA	pentoda
EZ80	6,3V	0,6A	-	-	-
Razem		2,0A	$53\text{mA} + 16,2\text{mA} = 70\text{mA}$		

Moc potrzebna dla żarzenia lamp:

$$P_z = U_z \cdot I_z = 6,3V \cdot 2,0A = 13W$$

Moc potrzebna dla zasilania lamp:

$$P_{zas} = U_{zas} \cdot I_{a+e} = 200V \cdot 0,07A = 14W$$

Ze względu na przyjęty układ prostowania półokresowego (znaczące straty w prostowniku) wyliczoną moc wysokiego napięcia należy zwiększyć mnożąc przez współczynnik 1,2; stąd moc uzwojenia wysokiego napięcia będzie wynosić:

$$P_{wn} = 14W \cdot 1,2 = 17W$$

Suma mocy po stronie wtórnej transformatora:

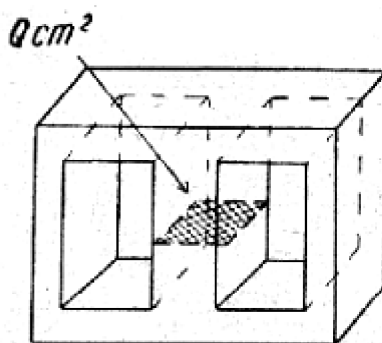
$$P_{wt} = P_z + P_{wn} = 13W + 17W = 30W$$

Musimy pamiętać, że w transformatorze, i to zarówno w jego rdzeniu jak i w uzwojeniach występują zawsze straty mocy. Jest to zresztą ogólnie obowiązująca zasada, nie istnieją bowiem układy, które przetwarzałyby energię z jednej postaci w drugą, bez choćby najmniejszej straty. Stosunek mocy oddanej do pobranej w przypadku małych transformatorów sieciowych (czyli jak to nazywają technicy - jego "sprawność") wynosi najwyżej około 0,8. Tak więc, ażeby pokryć wszystkie straty w transformatorze, uzwojenie pierwotne musi pobrać z sieci energetycznej moc odpowiednio większą. Dlatego też wyliczoną moc, występującą po stronie wtórnej, musimy przemnożyć przez współczynnik 1,2:

$$P_{wt} \cdot 1,2 = 30W \cdot 1,2 = 36W = P_{pierw}$$

Zatem moc pobierana z sieci będzie wynosiła 36W. Ta wartość posłuży nam do dalszych obliczeń.

Z kolei obliczymy podstawową wielkość każdego transformatora, a mianowicie tzw. "przekrój rdzenia". Nieco zaawansowani w radiotechnice wiedzą już z pewnością, że mowa tu o przekroju środkowej kolumny rdzenia. Dla całkowitego wyjaśnienia tej prostej zresztą sprawy jest ona dodatkowo przedstawiona na rys. 4.



Rys. 4. Przekrój rdzenia transformatora

Przekrój rdzenia transformatora znajdziemy z zależności:

$$Q = 1,2 \cdot \sqrt{P_{pierw}} = 1,2 \cdot \sqrt{36} = 1,2 \cdot 6 = 7,2 \text{ cm}^2$$

Jak zatem widać, przekrój środkowej kolumny rdzenia, a więc i rozmiar, jest wprost proporcjonalny do mocy transformatora. Zastosowany współczynnik 1,2 jest konieczny ze względu na niezbędną izolację znajdującą się między poszczególnymi blachami, z których składany jest rdzeń. Zajmuje ona również nieco miejsca, dlatego ogólny przekrój przyjmujemy nieco większy.

Teraz musimy dokonać wyboru odpowiedniego rdzenia. Oczywiście wykorzystujemy tutaj rdzenie fabryczne, np. ze starego "przepracowanego" transformatora. Spotykane rozmiary blach są znormalizowane i pokrywają cały wachlarz mocy stosowanych w praktyce. Pomijamy szereg złożonych obliczeń i zakładamy, że projektowane uzwojenia zmieszczą się w "oknie" transformatora, jeśli tylko grubość pakietu blach będzie nieco większa od szerokości środkowej kolumny wybranego rdzenia. W naszym przypadku, stosując rdzeń o szerokości środkowej kolumny 25mm, powinniśmy złożyć z tych blach pakiet o grubości około 29mm. Stosunek grubości pakietu do szerokości środkowej kolumny wynosi wówczas:

$$29 \text{ mm} : 25 \text{ mm} = 1,16$$

Stosunek ten powinien się zawsze zawierać w granicach 1 : 1 do 1 : 2.

Następnie trzeba obliczyć ilość zwojów przypadającą na jeden wolt napięcia. Ilość tych zwojów, zależną od geometrycznych rozmiarów rdzenia, łatwo obliczyć z następującego wzoru:

$$n_0 = \frac{45}{Q_{cm2}} = \frac{45}{7,2} \approx 6,5 \text{ zwojów/wolt}$$

Teraz już bez trudności znajdziemy dane poszczególnych uzwojeń : uzwojenie pierwotne dla napięcia 220V:  $220 \cdot 6,5 = 1430$  zwojów, uzwojenie żarzenia 6,3V :  $6,3 \cdot 6,5 = 41$  zwojów, uzwojenie wysokiego napięcia (200V) :  $200 \cdot 6,5 = 1300$  zwojów.

Ostatnią czynnością będzie obliczenie odpowiednich średnic drutów, jakie musimy zastosować, aby transformator działał poprawnie. Jest to również proste, ponieważ korzystamy z następującej zależności:

$$d = 0,8 \sqrt{I_{amp}} \text{ mm}$$

gdzie:

$d$  - średnica drutu w mm,

$I$  - natężenie płynącego przez to uzwojenie prądu w amperach.

Znajdujemy: uzwojenie żarzenia:

$$d = 0,8 \sqrt{2,0} \approx 0,8 \cdot 1,4 \approx 1,1 \text{ mm} \quad (1,0 \dots 1,2 \text{ mm})$$

uzwojenie wysokiego napięcia:

$$d = 0,8 \sqrt{0,07} \approx 0,8 \cdot 0,27 \approx 0,21 \text{ mm} \quad (0,2 \dots 0,25 \text{ mm})$$

Dla obliczenia średnicy drutu na uzwojenie pierwotne musimy przede wszystkim znaleźć wartość prądu płynącego przez to uzwojenie. Wynika ona z mocy pobieranej przez transformator oraz napięcia sieci:

$$I_{pierw} = \frac{P_{pierw}}{U_{pierw}} = \frac{36W}{220V} \approx 0,17 \text{ A}$$

Średnica drutu:

$$d = 0,8 \sqrt{0,17} \approx 0,8 \cdot 0,4 \approx 0,32 \text{ mm} \quad (0,3 \dots 0,35 \text{ mm})$$

W ten sposób mamy wyliczone wszystkie zasadnicze dane naszego transformatora. Jak zauważyliśmy, całe obliczenie sprowadza się do bardzo prostych operacji, możliwych do przeprowadzenia nawet przez zupełnie niezawansowanych radioamatorów.

## Przykład 2

Odbiornik posiada lampy: ECC85, ECH81, EF89, EABC80, ECC83, 2xEL84, AZ12. Moc potrzebna dla żarzenia lamp:

### Obliczenia transformatorów sieci

$$P_{z1} = U_z \cdot I_z = 6,3 \cdot 3,25 = 21 \text{ W}$$

$$P_{z2} = U_z \cdot I_z = 4,0 \cdot 2,3 = 9 \text{ W}$$

Moc potrzebna dla zasilania lamp:

$$P_{zas} = U_{zas} \cdot I_{zas} = 250 \text{ V} \cdot 0,12 \text{ A} = 30 \text{ W} = P_{wn}$$

Ze względu na przyjęty dwupołówkowy układ prostowania nie stosujemy w tym przypadku współczynnika 1,2 (dla mocy zasilania lamp). Suma mocy po stronie wtórnej transformatora będzie więc wynosiła:

$$P_{wt} = P_{z1} + P_{z2} + P_{wn} = 21 \text{ W} + 9 \text{ W} + 30 \text{ W} = 60 \text{ W}$$

Stąd moc uzwojenia pierwotnego:

$$P_{pierw} = P_{wt} \cdot 1,2 = 60 \text{ W} \cdot 1,2 = 72 \text{ W}$$

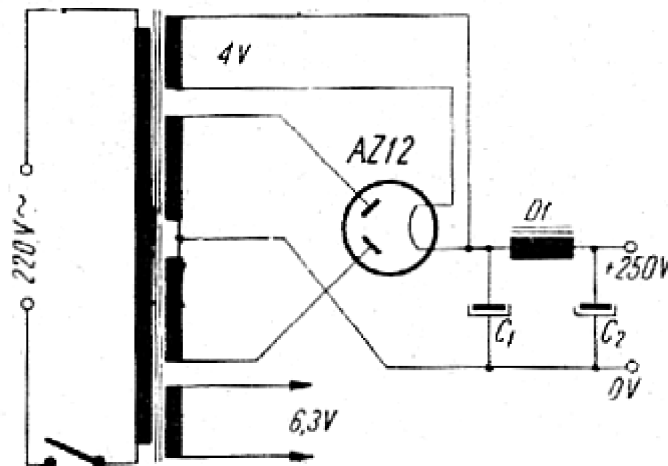
Obliczamy przekrój rdzenia:

$$Q = 1,2 \cdot P_{pierw} = 1,2 \sqrt{72} \cong 1,2 \cdot 8,5 = 10,2 \text{ cm}^2 \cong 10,0 \text{ cm}^2$$

Znajdujemy ilość zwojów przypadających na 1 wolt napięcia:

$$n_0 = \frac{45}{Q_{cm^2}} = \frac{45}{10} = 4,5 \text{ zwojów / wolt}$$

Uzwojenie pierwotne 220V :  $220 \cdot 4,5 = 990$  zwojów, uzwojenie wysokiego napięcia 250V :  $250 \cdot 4,5 = 1125$  zwojów. Oczywiście dla przyjętego układu prostownika dwupołówkowego należy wykonać dwa takie uzwojenia po 1125 zwojów każde (rys.5)



Rys.5. Schemat ideowy zasilacza z lampą AZ12 (przykład 2)

Uzwojenie żarzenia 6,3V :  $6,3 \cdot 4,5 = 29$  zwojów, uzwojenie żarzenia 4V :  $4,0 \cdot 4,5 = 18$  zwojów.

Znajdujemy średnicę poszczególnych drutów:

Uzwojenie żarzenia 6,3V:

$$d = 0,8 \sqrt{3,25} \cong 0,8 \cdot 1,8 \cong 1,5 \text{ mm}$$

Uzwojenie żarzenia 4,0V:

$$d = 0,8 \cdot \sqrt{2,3} \cong 0,8 \cdot 1,5 \cong 1,2 \text{ mm}$$

Uzwojenie wysokiego napięcia 250V:

$$d = 0,8 \cdot \sqrt{0,12} \cong 0,8 \cdot 0,35 \cong 0,3 \text{ mm}$$

Uzwojenie pierwotne:

$$I_{\text{pierw}} = \frac{P_{\text{pierw}}}{U_{\text{pierw}}} = \frac{72W}{220V} \cong 0,33 \text{ V}$$

$$d = 0,8 \cdot \sqrt{0,33} \cong 0,8 \cdot 0,6 \cong 0,5 \text{ mm}$$

Ze względu na fakt, że przy obciążeniu transformatora powstaną spadki napięć na uzwojeniach wtórnych (żarzenia i anodowych), wywołane przepływającym przez nie prądem, pożądane jest niewielkie zwiększenie obliczonej liczby zwojów w tych uzwojeniach. Można przyjąć, że spadki te nie wyniosą nawet 5% wartości napięć wtórnych, lecz dla ich pokrycia można poszczególne ilości zwojów w tych uzwojeniach zwiększyć w stosunku 1,05. W takim przypadku dla transformatora z przykładu 1 otrzymamy:

uzwojenie żarzenia :  $41 \text{ zw.} \cdot 1,05 = 43 \text{ zw.}$

uzwojenie wysokiego napięcia :  $1300 \text{ zw.} \cdot 1,05 = 1365 \text{ zw.}$

Dla transformatora z przykładu 2 otrzymamy:

uzwojenie żarzenia :  $29 \text{ zw.} \cdot 1,05 = 31 \text{ zw.}$

uzwojenie żarzenia :  $18 \text{ zw.} \cdot 1,05 = 19 \text{ zw.}$

uzwojenie wysokiego napięcia :  $1125 \text{ zw.} \cdot 1,05 = 1180 \text{ zw.}$

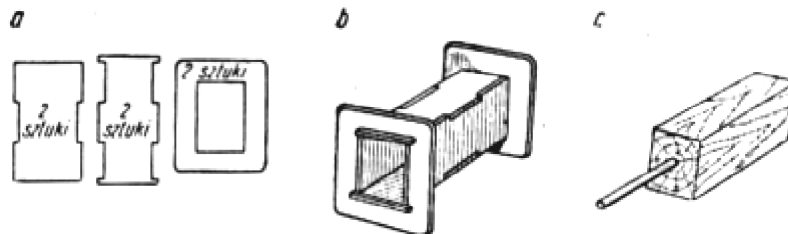
W tym przypadku każde z uzwojeń wtórnych wysokiego napięcia będzie miało 1180 zw.

Liczba zwojów uzwojenia pierwotnego w obu przypadkach nie ulega zmianie.

Oczywiście omówioną wyżej poprawkę ilości zwojów wtórnych wprowadzamy do obliczeń tylko wtedy, gdy zależy nam na uzyskaniu dokładniejszych wyników.

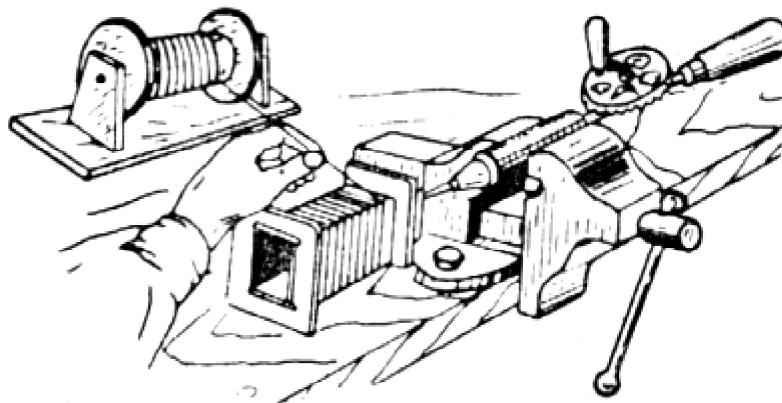
Obliczenie danych elektrycznych transformatora jest pierwszym etapem pracy. Drugim zagadnieniem, dla wielu z pewnością trudniejszym, będzie praktyczne wykonanie transformatora. Do tego celu wymagana jest pewna praktyka radioamatorska, dlatego też podajemy kilka wskazówek, które mogą być przydatne dla początkujących.

Przede wszystkim należy wykonać korpus, na którym będą nawijane poszczególne uzwojenia. Korpus wycinamy zgodnie z rys.6a z preszpanu o grubości  $1 \div 2 \text{ mm}$ . Konstrukcja korpusu przedstawiona na rys.6b ma tę zaletę, że trzyma się po złożeniu sama. Oczywiście rozmiary poszczególnych części korpusu należy dostosować do rozmiarów zastosowanego rdzenia. Niejednokrotnie udaje się również wykorzystać stary korpus z uszkodzonego transformatora.



Rys. 6. Wykonanie korpusu i klocka

Z kolei, wg. rys. 6c przygotowujemy drewniany, dość ściśle dopasowany klocek do wnętrza korpusu. W osi symetrii klocka wbijamy gwóźdź o grubości  $2 \div 4 \text{ mm}$ , a następnie obcinamy jego główkę. Po tych przygotowaniach zestawiamy improwizowaną "nawijarkę", jak to przedstawia rys. 7.



Rys. 7. Amatorska "nawijarka" do transformatorów

Urządzenie takie w bardzo znacznym stopniu ułatwia nawijanie transformatora, a przede wszystkim stosunkowo równo układa zwoje. Jeżeli nie mamy wiertarki oraz imadła, możemy również nawijać transformator po prostu w rękę, ale jest to w tym przypadku praca uciążliwa i nużąca.

Nawijając poszczególne uzwojenia należy oczywiście liczyć ilość układanych zwojów. Wykonując tę pracę za pomocą wiertarki bardzo wygodnie jest liczyć po prostu obroty ręczki wiertarki, znacznie wolniejsze od obrotów zamocowanego w jej uchwycie korpusu. W tym celu należy przez rozpoczęciem nawijania doświadczalnie stwierdzić ilość obrotów uchwytu wiertarki na jeden obrót ręczki. Stosunek ten zawiera się przeważnie w granicach  $4 \div 6$ .

Poszczególne uzwojenia należy izolować od siebie przekładkami z kilku warstw papieru izolacyjnego. Poszczególne warstwy uzwojeń (z wyjątkiem uzwojeń żarzenia) należy izolować pomiędzy sobą bardzo cienkim papierem izolacyjnym, np. ze starego kondensatora blokowego.

Należy pamiętać, aby krańcowe zwoje każdej warstwy uzwojeń nie dochodziły do ścianki korpusu, gdyż może zaistnieć przypadek obsuwania się tych zwojów z warstwy do warstwy, co może spowodować uszkodzenie emalii i zwarcia niszczące transformator.

Końce poszczególnych uzwojeń nawijanych cienkim drutem należy wyprowadzić za pomocą izolowanego przewodu grubszego, najlepiej miękkiego, wielożyłowego. Sposób izolowania i wyprowadzenia końcówek transformatora najlepiej poznać, rozbierając jakiś uszkodzony transformator w wykonaniu fabrycznym.

Ostatnią czynnością przy wykonywaniu transformatora jest złożenie rdzenia. W przypadku transformatorów sieciowych poszczególne blaszki układamy na przemian w ten sposób, aby szczeliny wypadły raz z jednej, a raz z drugiej strony korpusu. Jednocześnie należy zwracać uwagę, aby wszystkie blaszki ułożone były izolacją w jednym kierunku. Złożony rdzeń należy ze wszystkich stron opukać młotkiem, aby doprowadzić do jak najbardziej równego ułożenia poszczególnych blaszek, po czym rdzeń dość silnie skręcamy śrubami.

Wykonany samodzielnie transformator należy teraz zbadać. W tym celu załączamy jego uzwojenie pierwotne do sieci, zwracając jednocześnie uwagę, aby pozostałe wolne końcówki transformatora nie były w jakikolwiek sposób zwarte. Transformator załączony do sieci nie powinien buczeć, co nieraz zdarza się przy niezbyt dokładnym jego złożeniu i słabym skręceniu rdzenia, a po 1 - 2 godzinnej pracy na tak zwanym "biegu luzem" (bez żadnego obciążenia) powinien być jedynie ewentualnie lekko ciepły.

Jeśli rozporządzamy woltomierzem prądu zmiennego, możemy zmierzyć napięcia wtórnych uzwojeń mimo, że nie jest to konieczne, jeśli tylko nie popełniliśmy większego błędu podczas liczenia nawijania zwojów.

Na zakończenie należy podkreślić, że do nawijania transformatora należy w zasadzie stosować nieużywane druty nawojowe. Musimy pamiętać, że bardzo cienka powłoka emalii izolacyjnej, którą są pokryte druty, jest dość krucha, zwłaszcza po jej lekkim nawet przegrzaniu. Dlatego też chcąc np. wykorzystać drut nawojowy z jakiegoś rozebranego transformatora, należy zdejmować go ostrożnie aby uniknąć przykrych niespodzianek.

## A.W. "Nomogram do obliczania transformatorów sieciowych o mocy do 1000VA" Radioamator i Krótkofalowiec 3/1964

Nomogram został wykonany w oparciu o następujące zależności:

$$S = 1,25 \sqrt{P_0}$$

$$\frac{N}{U} = \frac{450000}{BS}$$

gdzie:

- $P_0$  – moc całkowita transformatora w VA,
- $S$  – przekrój rdzenia transformatora w  $\text{cm}^2$ ,
- $N$  – liczba zwojów przypadających na 1V,
- $B$  – dopuszczalna indukcja w rdzeniu w Gaussach.

Częstotliwość sieci zasilającej przyjęto równą 50Hz.

Dla stali transformatorowej wartość indukcji przyjmuje się równą  $10000 \div 14000$ Gs, a dla zwykłej stali lub przy transformatorach pracujących bez przerwy – 8000Gs. W zasilaczach wibratorowych indukcja nie powinna być większa niż  $5000 \div 6000$ Gs. Ponieważ w przypadku zasilaczy wibratorowych częstotliwość jest równa 100Hz lub jest jeszcze większa, to liczbę zwojów na 1 wolt przyjmuje się odpowiednio 2 lub więcej razy mniejszą, niż to wynika z obliczenia za pomocą nomogramu.

### Posługiwanie się nomogramem

1. Określa się moc całkowitą:

a) dla transformatorów o mocy do 100VA wg wzoru:

$$P_0 = 1,2 \cdot (I_1 \cdot U_1 + I_2 \cdot U_2 + \dots)$$

b) dla transformatorów o mocy od 1000VA wg wzoru:

$$P_0 = 1,1 \cdot (I_1 \cdot U_1 + I_2 \cdot U_2 + \dots)$$

2. Na skali  $P_0$  nomogramu wybiera się punkt odpowiadający określonej mocy całkowitej transformatora i łączy się go linią prostą z punktem na skali B odpowiadającym przyjętej wartości indukcji. Punkt znajdujący się na przecięciu tej prostej ze skalą wyznacza liczbę zwojów na 1 wolt.

3. Całkowitą liczbę zwojów danego uzwojenia oblicza się mnożąc ustaloną liczbę zwojów na 1 wolt przez napięcie uzwojenia w voltach. Biorąc pod uwagę straty występujące w stali i miedzi transformatora, wprowadza się pewną poprawkę, a mianowicie: liczbę zwojów uzwojenia pierwotnego zmniejsza się o 5%, a liczbę zwojów uzwojenia wtórnego powiększa się o 5% - dla transformatorów o mocy do 100VA; odpowiednio zmniejsza się i powiększa o 2,5% - dla transformatorów o mocy  $100 \div 1000$ VA.

4. Średnicę drutu nawojowego określa się za pomocą skali d w zależności od wartości skutecznej przepływającego prądu  $I$ , zaokrąglając do najbliższej większej średnicy drutu.

### Przykład obliczenia

Należy obliczyć dane konstrukcyjne transformatora sieciowego do prostownika dwupołkowego.

- Napięcie zasilające  $U_1$ : 220V
- Uzwojenie wtórne wysokiego napięcia  $U_2$ : 2x300V

- Prąd prostownika  $I_2$ :  $60mA$
- Uzwojenie żarzeniowe:  $U_3$ :  $4V$ ;  $I_3$ :  $1A$ ,
- Drugie uzwojenie żarzeniowe:  $U_4$ :  $6,3V$ ;  $I_4$ :  $2A$

Obliczenie:

1. Moc całkowita po stronie uzwojenia pierwotnego:

$$P_0 = 1,2 \left( \frac{60 \cdot 300}{1000} + 1,4 + 2 \cdot 6,3 \right) = 41,5VA$$

Mocy tej odpowiada wg nomogramu rdzeń o przekroju  $S=8cm^2$  (bez izolacji pomiędzy blaszkami).

2. Przyjmując wartość indukcji równą  $10000Gs$  liczba zwojów na 1 wolt wg nomogramu jest równa  $5,7$  zwojów/V. Stąd można obliczyć liczbę zwojów każdego z uzwojeń.

3. Liczby zwojów poszczególnych uzwojeń:

$$N_1 = 220 \cdot 5,7 = 1254zw. \text{ (po odjęciu 5\% - 1191 zw.)}$$

$$N_2 = 2 \cdot (300 \cdot 5,7) = 2 \cdot 1710zw. \text{ (po dodaniu 5\% - 2 \cdot 1796 zw.)}$$

$$N_3 = 4 \cdot 5,7 = 23zw. \text{ (po dodaniu 5\% - 24zw.)}$$

$$N_4 = 6,3 \cdot 5,7 = 36zw. \text{ (po dodaniu 5\% - 38zw.)}$$

4. Średnicę drutu określa się po wstępnym obliczeniu wartości prądu w amperach, przepływającego przez każde z uzwojeń.

Dla uzwojenia pierwotnego  $I_1=41,5/220=0,19A$ .

Z nomogramu określona średnica drutu  $d_1=0,35mm$ .

Dla uzwojeń żarzeniowych obliczone w taki sam sposób średnice drutów są równe odpowiednio:  $d_2=0,8mm$  i  $d_3=1,2mm$ .

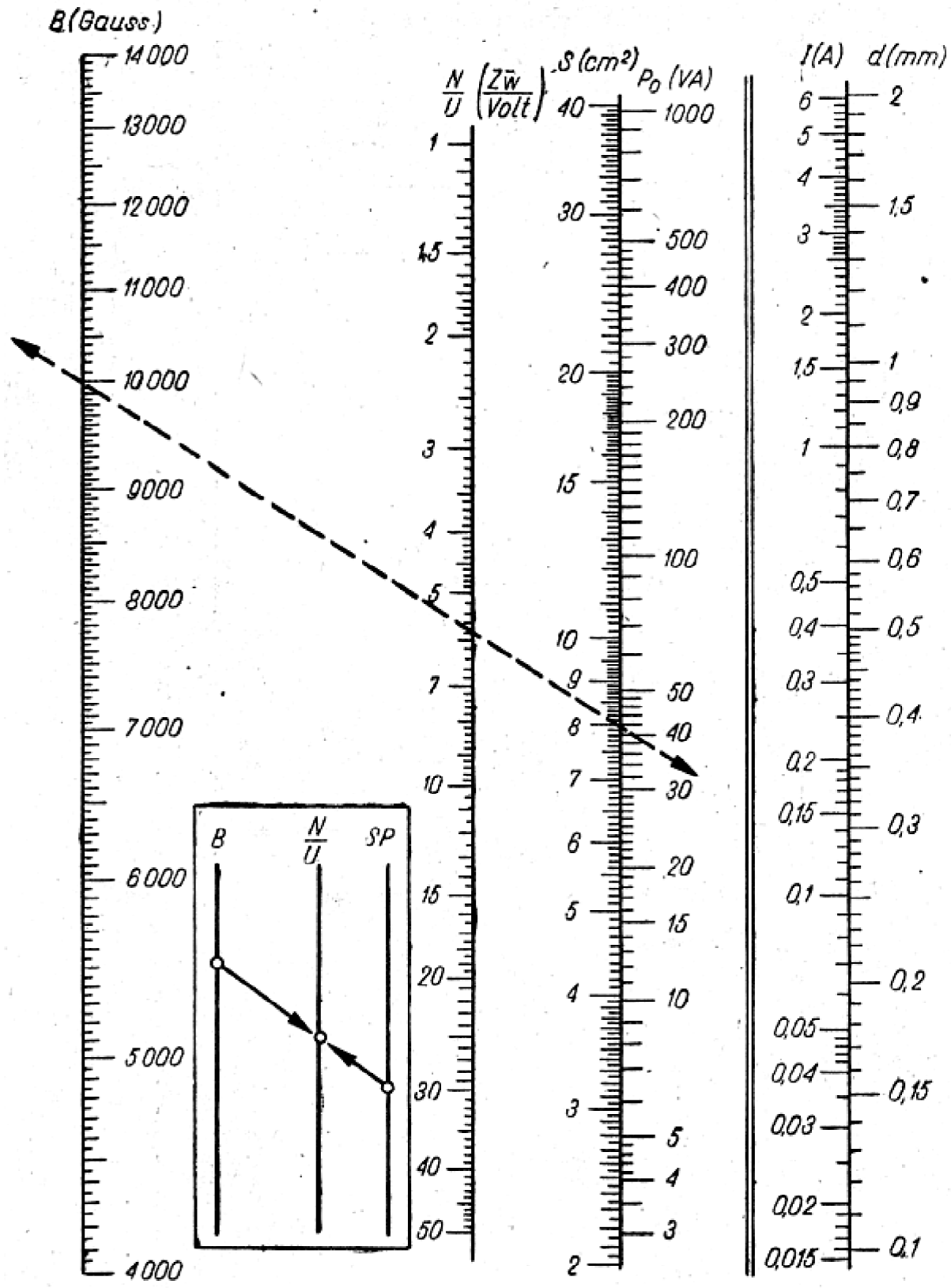
Przy określaniu średnicy drutu uzwojenia wysokiego napięcia należy uwzględnić schemat prostownika, wiadomo bowiem, że wartość prądu skutecznego w uzwojeniach będzie różna przy prostowaniu półokresowym i przy pełnokresowym. Należy także pamiętać, że przez to uzwojenie płynie zarówno składowa stała prądu wyprostowanego jak i pewna składowa zmienna.

Jeżeli nie jest potrzebna duża dokładność obliczenia, to można przyjąć regułę następującą:

a) przez każde z uzwojeń uzwojenia wtórnego przepływa prąd, którego wartość skuteczna **jest równa wartości całkowitego prądu stałego pobieranego z prostownika** – w przypadku prostowania dwupołkowego,

b) przez uzwojenie wtórne przepływa prąd, którego wartość skuteczna **jest 2 razy większa niż wartość prądu stałego pobieranego z prostownika** – prostowanie jednopółkowe.

Ponieważ w danym przypadku prąd pobierany z prostownika  $I_2=60mA$ , a prostowanie jest pełnokresowe, to do określenia średnicy drutu przyjmuje się prąd o natężeniu  $60mA$ . Potrzebna średnica jest wg nomogramu równa  $0,2mm$ .



Nomogram do obliczenia transformatorów stalowych

Tłumaczył A.W.  
 (Opracowanie E.Afanasjew opublikowane w radz. „Radio” nr 4(63).)

