

Zbudowanie wzmacniacza m.cz., który przy znikomym małych zniekształceniach przenosiłby szeroki zakres częstotliwości, dla zaawansowanych majsterkowiczów nie stanowi obecnie dużego problemu. Zakres przenoszonych przez wzmacniacz częstotliwości będzie w dużej mierze uzależniony także od możliwości przenoszenia transformatora wyjściowego. Transformator, od którego będziemy wymagać prostoliniowego przenoszenia częstotliwości akustycznych od 20 Hz do 20 kHz, będzie musiał mieć wielokrotnie „rozwarstwione” uzwojenia oraz odpowiednio dobrany rdzeń.

Gdy chcemy otrzymać niewielki współczynnik zniekształceń przy najniższych częstotliwościach – charakterystyka przenoszenia takiego transformatora powinna być lepsza od charakterystyki poprzedzającego go wzmacniacza m.cz. (rys. 1). Tylko w takich okolicznościach można zastosować niezależnie od częstotliwości sprzężenie zwrotne. W sprzęcie wykonywanym fabrycznie często rezygnuje się z wykonywania transformatorów wyjściowych wysokiej jakości ze względu na duże koszty i w związku z tym stosuje się prostsze, których braki są wyrównywane przez skomplikowane układy korekcyjne.

Obliczenie transformatora głośnikowego nie jest trudne, lecz wymaga nieco uwagi i cierpliwości. Nawijanie transformatorów wg wypróbowanych wzorów fabrycznych daje pozytywne rezultaty tylko wtedy, kiedy wykonany transformator będzie wierną kopią transformatora oryginalnego. Z tego powodu będzie o wiele lepiej zaprojektować transformator, aby zapewniał przeniesienie wymaganej mocy jak i założonego w projekcie zakresu częstotliwości. Wykonanie przeciwsobnego transformatora głośnikowego jest na ogół łatwiejsze w przypadku zastosowania we wzmacniaczu mocy triod zamiast pentod, mimo że w obu przypadkach (zarówno dla triod, jak i dla pentod) będzie miał on taką samą wielkość (przy tych samych mocach).

Poniżej podany został przykład obliczenia przeciwsobnego transformatora głośnikowego, dla dwóch pentod typu EL 84.

Przez odpowiednią zmianę liczby zwojów i średnic drutów transformator ten może być użyty w stopniu końcowym wykonanym na triodach.

### Przykład obliczenia

Zakłada się, że przy dolnej granicy zakresu słyszalnego, tj. przy 20 Hz, transformator m.cz. bę-

dzie mógł przenieść jeszcze 5% mocy w porównaniu z transformatorem takim samym pod względem wielkości, ale pracującym przy  $f = 50$  Hz; współczynnik zniekształceń będzie się mieścił w granicach tolerancji. Wychodząc z tego założenia można określić powierzchnię pola poprzecznego przekroju rdzenia transformatora:

$$F_c = 200 \cdot f_d \text{ (cm}^2\text{)}$$

gdzie: 200 – współcz. dla transformatora o założonych parametrach,

$f_d$  – dolna granica częstotliwości.

Liczbę zwojów dla uzwojenia pierwotnego transformatora będzie można najprościej obliczyć z napięcia występującego przy pełnej mocy, które da się obliczyć, gdy znamy założoną moc i opór dopasowania:

$$U = \sqrt{N \cdot R}$$

w przypadku dwóch lamp typu EL 84 z przewidzianym oporem dopasowania 8 kiloomów, gdzie  $N$  – moc w watach,  $R$  – oporność w omach.

W takim razie:

$$U = \sqrt{10 \cdot 800} \approx 280 \text{ (V)}$$

Wobec tego wymagana liczba zwojów wyniesie:

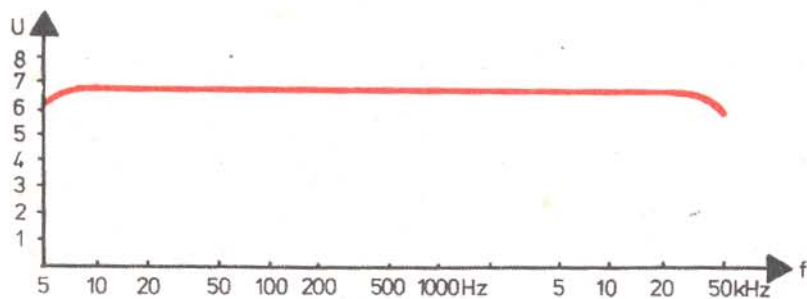
$$\frac{115 \cdot U}{F_c \text{ (cm}^2\text{)}} = \frac{115 \cdot 280}{10} = 3240 \text{ zwojów}$$

gdzie 115 – stały współczynnik zależny od  $f_d$ .

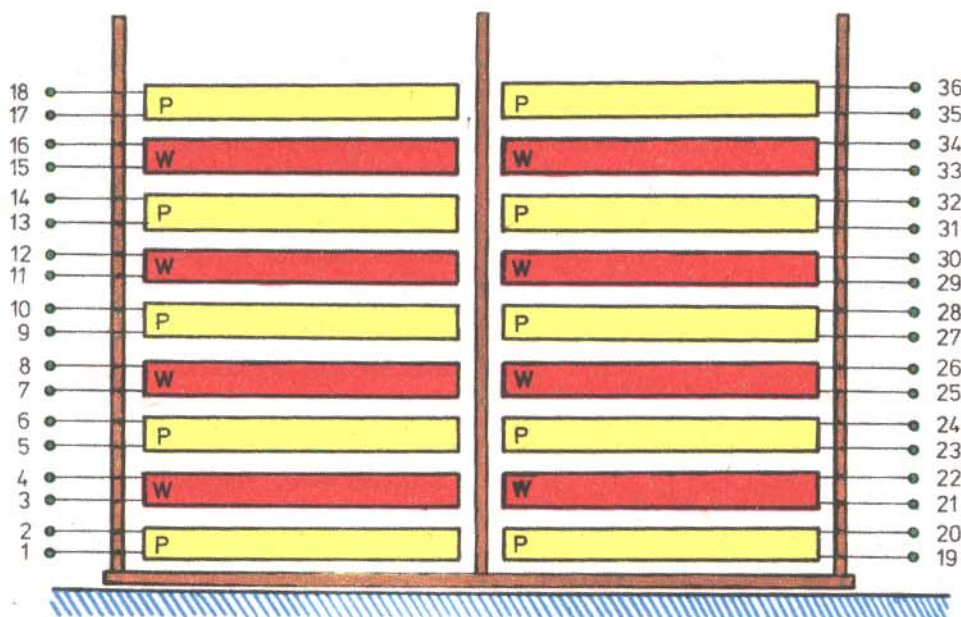
Dla przeniesienia częstotliwości różnych od 20 Hz ulegnie odpowiedniej zmianie wielkość współczynnika 115 (odwrotnie proporcjonalnie do częstotliwości) i np. przy  $f = 40$  Hz zmaleje on do połowy wartości poprzedniej, a przy 10 Hz będzie wynosił dwukrotnie więcej.

Obliczona w powyższy sposób liczba zwojów jest zupełnie wystarczająco dokładna, aby transformator osiągnął dolną granicę częstotliwości.

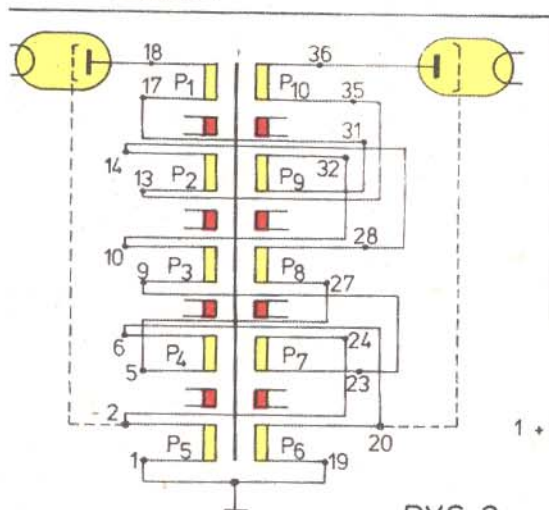
Transformator wykonany zgodnie z powyższymi założeniami będzie miał górną granicę częstotliwości w pobliżu 60 kHz, podczas gdy górna granica wzmacniacza znajduje się w okolicy 25 kHz.



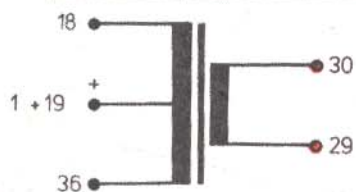
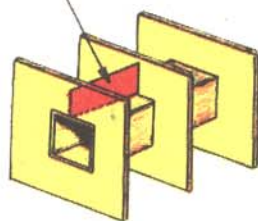
RYS.1.



RYS.2.



potówka uzwojeń



RYS.3.



Aby nawinięty transformator umożliwiał osiągnięcie górnych granic częstotliwości akustycznych, powinien mieć wzajemnie przemieszczone uzwojenia pierwotne i wtórne, a niezależnie od tego obie połówki uzwojeń wymagają idealnej symetrii, a więc jednakowej ilości zwojów, długości drutów, jednakowych pojemności względem uzwojenia wtórnego i w stosunku do rdzenia. Spełnienie tych warunków jest możliwe po przedzieleniu szkieletu transformatora środkową przegrodą na dwie jednakowe części. Należy tylko zadbać o to, aby przegroda była dobrze przyklejona i dzieliła szkielet na dwie równe części umożliwiając nawijanie drutu bez jakichkolwiek przesunięć poszczególnych zwojów (rys. 2).

Pracę rozpoczyna się od wsunięcia szkieletu transformatora na drewniany rdzeń odpowiadający rozmiarami stalowemu rdzeniowi i założeniu rozpórek w tej połowie szkieletu, która będzie uznawana w dalszej kolejności. Teraz nawija się drut w następujący sposób.

Po nałożeniu trzech warstw papieru izolacyjnego, grubości około 0,06 mm, dwustronnie ponacinanego, nawijamy pierwsze, pierwotne uzwojenie częściowe (P) zaczynając od ścianki zewnętrznej w kierunku przegrody środkowej. Początki i końce nawiniętych drutów zaopatruje się w rurki izolacyjne przechodzące przez ściankę szkieletu na zewnątrz.

Kierunek nawijania przyjęto za zegarowy w pierwszej połowie uzwojenia i odwrotny w drugiej, co umożliwi spełnienie warunku jednakowych długości i pojemności. Niezależnie od tego częściowe uzwojenia pierwotne i wtórne „tasuje się” w ten sposób, że między częściowe uzwojenia pierwotne daje się częściowe uzwojenia wtórne.

#### Sposób łączenia transformatora

Uzwojenie pierwotne (rys. 3)	Uzwojenie wtórne (rys. 4)
1+19	3+7+11+15+22+26+30+34
2+24	4+8+12+16+21+25+29+33
5+27	
6+20	Próby na pobór prądu
9+23	16+33 i 15+34
10+32	
13+35	Przyłączenie lamp:
14+28	Lampa 1 anoda 18, S <sub>2</sub> - 2
17+31	Lampa 2 anoda 36, S <sub>2</sub> - 20
Napięcie zasilające 1+19	

Pracę ułatwi podzielenie uzwojenia pierwotnego na 10 sekcji, a wynikającej z zależności przekładni liczby zwojów wtórnych – na 8 sekcji. Z wyliczonej liczby zwojów wynika, że np. dla głośnika 5-omowego uzwojenie wtórne powinno mieć: 3240:n zwojów, czyli 81 zwojów (n – przekładnia transformatora).

Niezbędne również będzie dobranie takich średnic drutów, aby oba okna transformatora po nawinięciu obliczonej liczby zwojów były jednakowo wypełnione drutem, a uzwojenia pierwotne oraz wtórne miały jednakową wysokość warstw. Może zdarzyć się, że wyliczone liczby zwojów będą mało dokładne, ale nie będzie to tak istotne, jeśli pozostanie zachowany właściwy stosunek zwojów wtórnych do pierwotnych. W przypadku wykorzystania we wzmacniaczu mocy pentod, zmiana tego stosunku prowadzi do zmiany wielkości (wzrostu) współczynnika zniekształceń, a w przypadku triod – do zmniejszenia mocy.

Całe uzwojenie nie powinno zająć więcej niż 80% (łącznie z przekładkami) powierzchni okna w rdzeniu transformatora. Zmniejszenie procentu wypełnienia jest uwarunkowane średnicami drutów użytych na poszczególne uzwojenia.

Przy projektowanej powierzchni przekroju poprzecznego rdzenia można założyć obciążenie przewodów (gęstość prądu) około 3 A/mm<sup>2</sup>, jednak lepiej będzie wybrać drut o nieco większej średnicy, co znacznie przyczyni się do zmniejszenia strat.

Najczęściej na uzwojenia pierwotne stosuje się druty o średnicy 0,25 mm, a 0,65 mm na uzwojenia wtórne. Przy drutach o wyżej podanych średnicach mamy możliwość wykonania każdego częściowego uzwojenia w trzech pełnych warstwach, podczas gdy uzwojenia wtórnego (częściowego) w dwóch warstwach.

Każdą warstwę uzwojenia pokrywa się pojedynczym papierem izolacyjnym grubości około 0,06 mm.

Celowe wydaje się ponumerowanie na bieżąco początków i końców każdego uzwojenia, przy czym przyjmujemy nieparzyste numery dla początków i parzyste dla końców uzwojeń. Początkowe i końcowe zwoje każdego z uzwojeń można przykleić pląstem klejącym. Po nawinięciu pierwszego częściowego uzwojenia pierwotnego (1 – 2), należy dać trzy warstwy papieru izolacyjnego i dopiero wtedy rozpoczyna się nawijanie pierwszego, częściowego uzwojenia wtórnego, którego początek oznaczamy cyfrą 3, a koniec cyfrą 4. Taki sposób oznaczania będzie obowiązywał również i przy dalszych uzwojeniach częściowych.



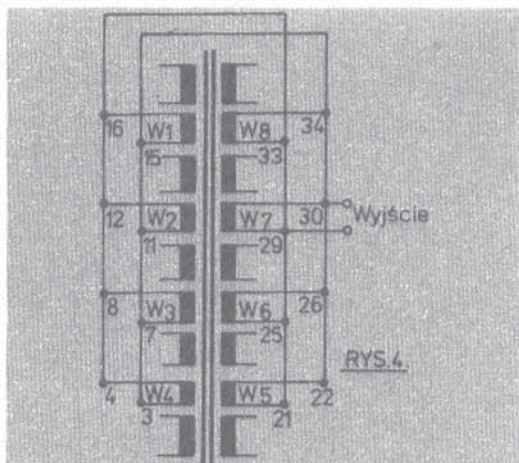
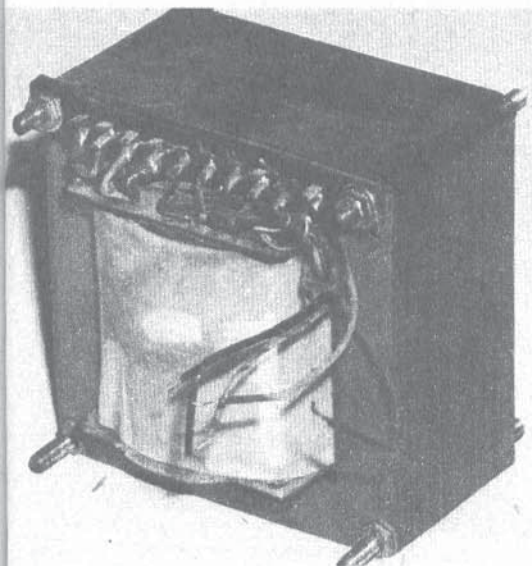
Z obliczenia wynikało, że wtórne uzwojenie powinno mieć 81 zwojów nawiniętych drutem DNE  $\varnothing$  0,65 mm. W tej sytuacji najmniej ono dokładnie dwie warstwy. W rzeczywistości uzwojenie wtórne będzie składało się z ośmiu sekcji po 81 zwojów, nawiniętych drutem DNE  $\varnothing$  0,65 mm i połączonych równoległe (patrz rys. 4 i tabela połączeń).

Nawijanie tego uzwojenia rozpoczyna się od ścianki zewnętrznej szkieletu, przy czym izolacja między poszczególnymi warstwami tego uzwojenia nie jest konieczna. Na częściowe uzwojenie wtórne nakłada się ponownie 3 warstwy papieru izolacyjnego, na którym nawija się drugie częściowe uzwojenie pierwotne. Wymaga to w efekcie wykonania połączeń 5 sekcji uzwojenia pierwotnego i 4 sekcji uzwojenia wtórnego (rys. 3).

Po nawinięciu pierwszej połówki transformatora zawiąza się ją kilkoma warstwami papieru izolacyjnego, a następnie kilkoma warstwami płótna olejowego grubości 0,1 mm. Sposób nawijania i izolowania drugiej połowy transformatora jest analogiczny jak pierwszej.

Po nawinięciu całego transformatora i złożeniu blach należy wykonać próbę jego przydatności. W tym celu zakończenia (18 i 36) przyłącza się przez miliamperomierz do napięcia sieciowego 220 V. Pobór prądu wykazywany przez przyrząd pomiarowy nie powinien przekraczać 10 miliamperów, a napięcie między końcówkami 1 i 18 powinno wykazywać taką samą wielkość jak między końcówkami 19 i 36.

Fabrycznie nawinięty transformator wyjściowy do wzmacniacza lampowego dużej mocy, w układzie przeciwsobnym



Po wzajemnym połączeniu wszystkich początków uzwojenia wtórnego, a więc 3, 7, 11, 15 oraz wszystkich końców: 4, 8, 12 i 16 przyrząd nie powinien wykazywać zmiany w poborze prądu przez transformator.

Jeśli jednak po podłączeniu uzwojenia wtórnego taka zmiana będzie miała miejsce, będzie to oznaczało, że uzwojenia wtórne zostały nawinięte nieodpowiednio i należy dokonać poprawki.

Z uzwojeniami drugiej połówki postępuje się identycznie i po stwierdzeniu poprawności nawinięcia, oba uzwojenia wtórne należy połączyć równoległe, tj. 15 z 34 i 16 z 33 (rys. 4), przy czym przyrząd pomiarowy nie powinien wykazywać jakichkolwiek zmian w poborze prądu.

Gotowy transformator powinien całkowicie spełniać postawione mu zadania.

Niezależnie od sposobu normalnego wykorzystania transformatora w stopniu końcowym wzmacniacza, odczepy 2 i 20 mogą być użyte jako odczepy sprzężenia zwrotnego (rys. 3) dla drugich siatek pentod końcowych i wtedy do odczepów 18 i 36 przyłącza się anody lamp, a do 1 i 19 napięcie anodowe. Końcówka 2 będzie natomiast połączona z siatką  $S_2$  lampy, której anoda została połączona z końcówką 18.

Po sprawdzeniu i ostatecznym połączeniu transformatora zakłada się śruby mocujące blachy (najlepiej mosiężne) i ewentualnie kątowniki z niemagnetycznego materiału, co również przyczynia się do polepszenia pracy transformatora w zakresie wyższych częstotliwości.

Tak wykonany transformator, przy wielokrotnym sprzężeniu zwrotnym zmniejsza współczynnik zniekształceń do ułamka procentu.

Inż. Jerzy Brdulak