

Dokończenie

W pierwszej części artykułu, zamieszczonej w poprzednim numerze „MT”, omówiliśmy budowę zasilaczy sieciowych, przeznaczonych do współpracy ze wzmacniaczami m. cz. dużej mocy. Teraz zajmiemy się budową konkretnych układów wzmacniających, tzn. przedwzmacniaczy i wzmacniaczy końcowych. Układ przedwzmacniacza wykonany jest na dwóch podwójnych lampach typu ECC 83 (rys. 5).

Lampy ECC 83 są odporne na zjawisko mikrofonowania i odznaczają się dużym współczynnikiem wzmocnienia. Sposób łączenia ich włókien żarzenia został pokazany na rysunku cokołów lamp (patrz rys. 13).

Przedwzmacniacz został zaprojektowany w ten sposób, że jego wykonanie jest możliwe dla przeciętnie zaawansowanego majsterkowicza.

Gniazda wejściowe wzmacniacza, przewidziane do podłączenia przetworników elektroakustycznych (GI, GII, GIII), są połączone z wejściem pierwszego i drugiego stopnia wzmocnienia za pomocą potencjometrów P_1 i P_2 o rezystancji po 100 kiloomów.

W układzie tym sygnały pochodzące ze źródeł o małych amplitudach doprowadzane są do gniazda GIII, czyli bezpośrednio do pierwszego stopnia wzmocnienia (lampa L 1).

Dwa pozostałe wejścia z gniazdami GI i GII prowadzą sygnał przez potencjometry P_1 i P_2 od razu do drugiego stopnia wzmocnienia (druga półlampa lampy ECC 83, oznaczona jako L 2). Wejście lampy L 2 zostało zaopatrzone w specjalny filtr mający za zadanie zapewnienie poprawnego odtwarzania płyt gramofonowych.

Filtr jest złożony z elementów R i C i dzięki korekcji niskich tonów (tłumienie tonów wysokich z jednoczesnym podnoszeniem niskich) przyczynia się do liniowego przebiegu charakterystyki częstotliwości.

Adaptory krystaliczne (piezoelektryczne) dają napięcia zmienne proporcjonalne do wychYLENIA płytki piezoelektrycznej, mają wyjścia wysokoomowe i nie potrzebują tego rodzaju filtrów, a w związku z tym mogą być bezpośrednio przyłączane na wejście przedwzmacniacza (gniazdo I lub II).

Następny system triodowy lampy L 2 wzmacnia doprowadzane do niego sygnały, z lampy L 1 przez filtr, a ponadto stanowi pierwszy stopień wzmocnienia dla sygnałów pochodzących z wejścia I i II. Opornik 47 kiloomów znajdujący się w anodzie tej

lampy powoduje odprowadzenie wzmocnionego sygnału przez kondensator $0,1 \mu\text{F}$ do potencjometru siły głosu P_4 , umożliwiającego ustawienie odpowiedniej głośności. Ponieważ ucho ludzkie lepiej słyszy dźwięki o częstotliwościach wyższych, to do potencjometru P_4 dołączony jest specjalny układ, za pomocą którego można uzyskać odpowiednie podniesienie tonów niskich. Takie rozwiązanie umożliwia dobranie prawidłowej proporcji tonów niskich do wysokich nawet przy małym wzmocnieniu.

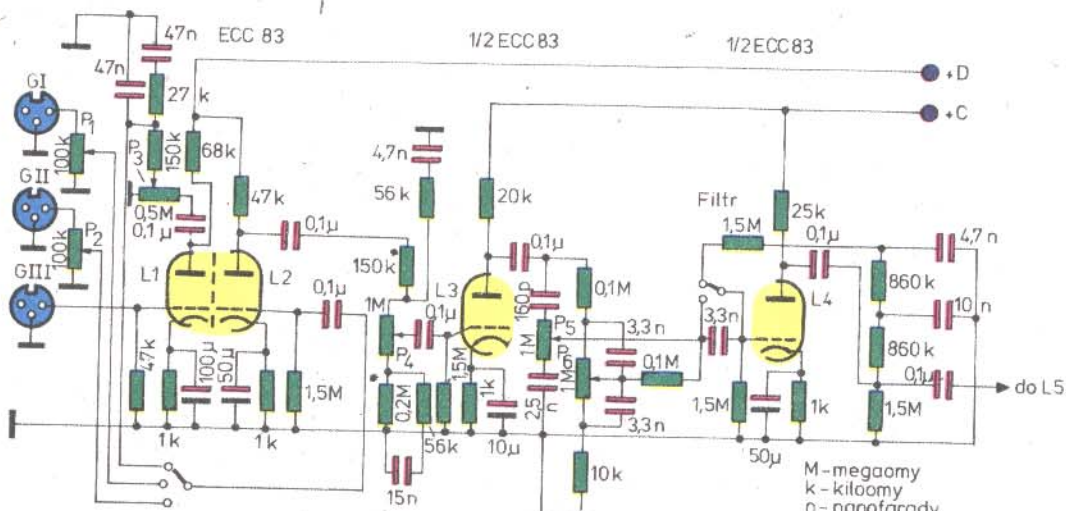
Aby zwiększyć odporność stopni wejściowych wzmacniacza na efekt mikrofonowania, celowe będzie wykonanie elastycznego zamocowania podstawki lampy L1 - L2 oraz nałożenie na balon tej lampy cylindra ekranującego wykonanego z blachy i połączenie go z masą przedwzmacniacza. Tego rodzaju nakładka ekranująca zabezpiecza w znacznym stopniu lampę przed zakłóceniami zewnętrznymi.

Przyłączone do zacisku potencjometru P_6 (regulacja niskich tonów) kondensatory filtrujące o pojemności $3,3 \text{ nF}$ i 33 nF przyczyniają się do spadku charakterystyki częstotliwościowej wzmacniacza w zakresie niższych częstotliwości akustycznych. Pozostałe stopnie wzmocnienia stanowią układy typowe dla tych urządzeń, warto tylko zwrócić uwagę na to, że stopień sterujący wzmacniacz mocy (L 5) otrzymuje dość silne sprzężenie zwrotne z transformatora wyjściowego, wskutek czego część prądu katodowego płynie przez potencjometr P_7 i transformator wyjściowy (rys. 6).

Ponieważ lampy końcowe powinny otrzymywać napięcia możliwie jak najbardziej symetryczne, tolerancja oporników katodowych i oporu uzwojenia w obwodzie anodowym lamp nie powinna być większa niż 1%. Na oporniki katodowe mogą być użyte wyselekcjonowane oporniki drutowe (znajdujące się w handlu), bądź też zaopatrzone w suwak umożliwiający dobranie jednakowych rezystancji, a co za tym idzie, i jednakowych prądów katodowych lamp końcowych.

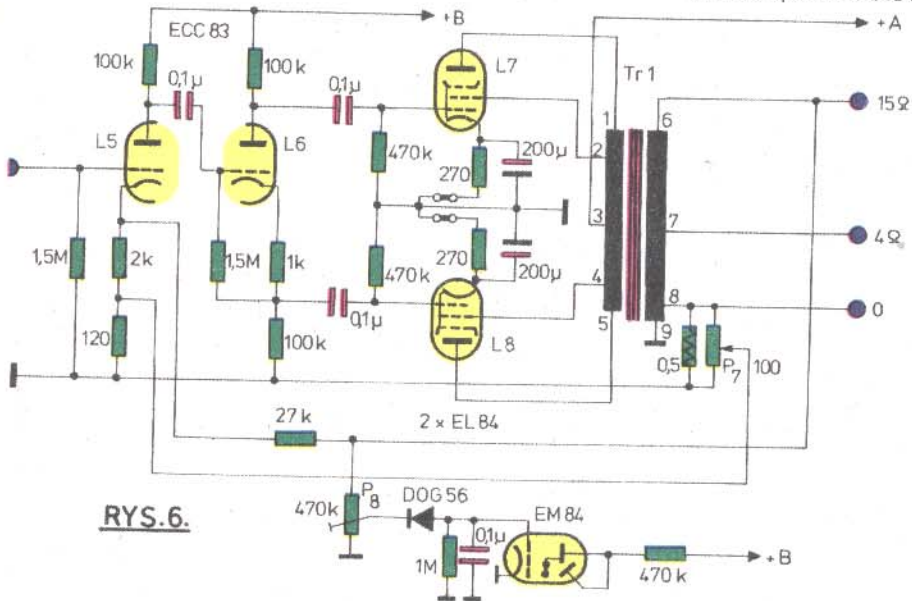
W celu ułatwienia doboru oporników we wzmacniaczu zainstalowane zostały gniazdzka „pomiarowe” (po dwa dla każdej lampy), umożliwiające przyłączenie do nich miliamperomierza i bardzo dokładne ustawienie wg jego wskazań prądów katodowych, które dla lamp typu EL 34 powinny wynosić po 60 mA.

Po wyrównaniu prądów gniazda zwiiera się izolowanymi z zewnątrz palczkami, których pod za-

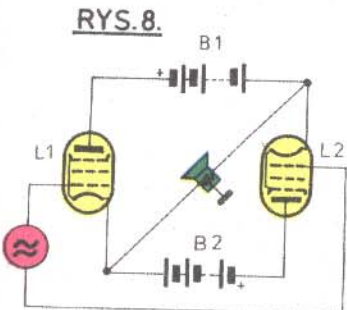


• wartości dobierane

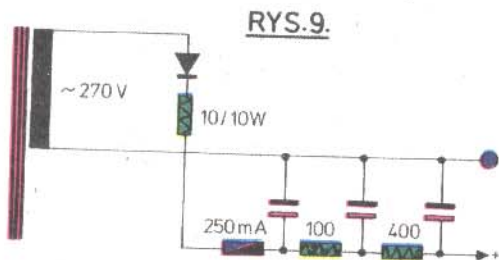
RYS.5.



RYS.6.



RYS.8.



RYS.9.

dnym pozorem nie wolno wyjmować przy włączeniu napięcia sieciowym. W niektórych układach wzmacniaczy spotyka się miliamperomierze wbudowane na stałe do chassis, które są przełączane specjalnym przełącznikiem raz do obwodu katodowego jednej lampy, a drugi raz do obwodu katodowego drugiej lampy.

W końcowym stopniu wzmacniacza, którego schemat został przedstawiony na rys. 6, zrezygnowano z układu przeciwobnego w klasie B ze względu na występowanie dość znacznych zniekształceń przy stosunkowo niewielkich mocach: W normalnych warunkach eksploatacyjnych moce prezentowanych wzmacniaczy są w zupełności wystarczające do prawidłowego nagłośnienia nawet dużych sal i z tego powodu wybrano układ AB z niezależnymi opornikami katodowymi dla każdej lampy (2×270 omów).

Podczas montażu wzmacniacza może powstać pewna niejasność, dotycząca wspomnianego układu ultraliniowego w stopniu mocy, i z tego powodu wymagane jest krótkie wyjaśnienie. Jeżeli do siatek osłonowych (S_2) pentod końcowych (EL 84 lub EL 34) zostaną przyłączone odczepy wykonane w pierwotnym uzwojeniu transformatora Tr 1, to istnieje możliwość otrzymania układu pośredniego między stopniem zbudowanym na triodach i pentodach.

Przy określonej ilości zwojów, od których zostały wykonane odczepy (najkorzystniej na 1/5 względnie 1/4 ilości zwojów każdej połówki pierwotnego uzwojenia transformatora Tr 1), zniekształcenia w porównaniu ze zwykłym układem bez tych odczepów zostają zmniejszone mniej więcej o połowę, przy czym i moc wyjściowa ulegnie w tym przypadku zmniejszeniu o około 10%. Jak wynika ze schematu przedstawionego na rys. 6, część napięcia wyjściowego została doprowadzona do siatek osłonowych pentod jako napięcie sprzężenia zwrotnego, przyczyniającego się do poprawy liniowego przebiegu charakterystyki częstotliwości oraz istotnego zmniejszenia zniekształceń.

Po wtórnej stronie transformatora wyjściowego znajdują się oporniki sprzężenia dodatnio-ujemnego.

Do potencjometru P_7 o rezystancji 100 omów doprowadzone zostało napięcie dodatniego sprzężenia zwrotnego z lampy L 5 i przez odpowiednie ustawienie ślizgacza tego potencjometru można uzyskać podniesienie tonów niskich, lecz gdyby okazało się przy tej regulacji, że wzmacniacz wpada w jakieś niepożądane oscylacje, potencjometrem P_7 należy nieco zmniejszyć sprzężenie. Zaproponowany układ przyczynia się również do spłaszczenia krzywej własnego rezonansu głośnika.

W przewidywaniu, że „basy” mogą powodować przesterowania wzmacniacza (w przypadku zbyt dużych amplitud), jako element kontrolny zastosowano optyczny wskaźnik poziomuysterowania wzmacniacza na lampie EM 84.

Do wycechowania tego wskaźnika pożądane byłoby użycie generatora m.cz. i oscyloskopu. W takim przypadku, po uruchomieniu wzmacniacza, do jego wejścia doprowadza się z generatora odpowiednie napięcie o częstotliwości 40 Hz, podczas gdy do wyjścia wzmacniacza przyłącza się oscyloskop. Podwyższając amplitudę sygnału obserwujemy ekran oscyloskopu, a w momencie wystąpienia na nim zniekształceń krzywej oznaczamy na pokrętle potencjometru maksymalny zakres ysterowania wzmacniacza, regulując jednocześnie potencjometrem P_8 długość świecących pasków lampy EM 84, aż do całkowitego zetknięcia się. Ostateczną próbę wzmacniacza przeprowadzamy odtwarzając nagranie z płyty lub taśmy z muzyką fortepianową, kontrabasem lub perkusją, orientując się w poprawności pracy wzmacniacza z równoczesnym obserwowaniem poziomuysterowania. Jeśli wykonawca nie będzie mógł używać generatora i oscyloskopu, to pozostaje tylko sprawdzenie wzmacniacza na słuch przy jednoczesnej obserwacji lampy EM 84.

Transformator wyjściowy (Tr 1) wzmacniacza jest elementem jednym z najtrudniejszych do wykonania.

Jego uzwojenia pierwotne (1-2-3-4-5) muszą być idealnie symetryczne, zarówno pod względem liczby zwojów, jak też pojemności uzwojenia. W związku z tym korpus cewki transformatora należy przedzielić w połowie dodatkową płytką izolacyjną i po jednej stronie nawinąć połowę uzwojenia (1-2-3), a po drugiej stronie resztę uzwojenia pierwotnego (3-4-5). Natomiast uzwojenia wtórne (6-7-8-9) trzeba rozłożyć równomiernie po obydwu stronach cewki.

Rdzeń transformatora powinien mieć przekrój nie mniejszy niż 9-10 cm².

Uzwojenia pierwotne nawiniemy drutem miedzianym izolowanym emalią o średnicy 0,25 mm.

Uzwojenie 1-2 ma 300 zwojów, uzwojenia 2-3 i 3-4 mają po 1300 zwojów, a uzwojenie 4-5 znów 300 zwojów. Natomiast uzwojenia wtórne nawiniemy drutem o średnicy 0,9 - 1 mm. Uzwojenie 6-7 ma 200 zwojów, uzwojenie 7-8 już tylko 70 zwojów i na koniec uzwojenie 8-9 składa się z 6 zwojów.

Gotową cewkę należy bardzo dokładnie zaizolować ceratką olejową, by uniknąć zwarc z rdzeniem transformatora.

Czytelnikom, którym nie wystarczy pod względem mocy wzmacniacz 15-watowy, można zapropono-

nować wykonanie uproszczonego wzmacniacza o nieco większej mocy, tj. 20 W, którego schemat został przedstawiony na rys. 7. Budowa wzmacniacza o jeszcze większych mocach w warunkach amatorskich wymaga dużego doświadczenia, operowania wysokimi napięciami, stosowania specjalnych podstawek lampowych i, co najważniejsze, odpowiedniego sprzętu pomiarowego, przy dużych nakładach finansowych.

Wzmacniacz 20 W może zaspokoić wymagania przeważającej liczby wykonawców, może nagłośnić duże pomieszczenia przy niewielkich zniekształceniach.

Na rys. 7 przedstawiony został układ wzmacniacza 20 W w układzie PPP, zapewniający przenoszenie częstotliwości od 16 do 16 000 Hz przy współczynniku zniekształceń nie większym niż 1 %. W proponowanym układzie przedwzmacniacz stanowi tylko jedna lampa typu ECC 83 oznaczona na schemacie jako L 1 i L 2, przy czym podobnie jak w przypadku wzmacniacza 15 W, wejście wzmacniacza mocy jest beztransformatorowe, co znacznie upraszcza budowę i obniża koszt. Schemat ten został opisany w kilku zachodnich czasopismach technicznych („Radio Electronic”, „Funkschau”) jako przykład prostego i zarazem poprawnego rozwiązania.

Stopień końcowy tego wzmacniacza PPP tworzy rodzaj mostka (rys. 8), w którym lampy końcowe są dla napięć zmiennych usytuowane przeciwsośnie (w porównaniu ze zwykłym układem przeciwsobnym), a dla napięć anodowych – szeregowo. W wyniku równoległego połączenia opór wewnętrzny stopnia końcowego zostaje zmniejszony do 1/4 wartości układu normalnego, co w przypadku dwóch lamp typu EL 34 daje 900 omów.

Umożliwia to więc zastosowanie w układzie transformatora z niewielką liczbą zwojów, a wskutek tego, że nie przepływa przez niego składowa prądu stałego, jest on transformatorem oszczędnościowym, umożliwiającym zmniejszenie przekrojów drutów nawojowych i rdzenia transformatora. Przewidziane połączenie środka uzwojenia z masą układu zapewnia dobrą symetrię wyjścia względem masy.

Oprócz prostoty wykonania transformator tego typu odznacza się dużą sprawnością. Oba bieguny części sieciowej nie są tu połączone z masą, lecz z punktami „potencjału akustycznego” (zewnętrzne zaciski uzwojenia transformatora wyjściowego A i C).

Jednak w technice, podobnie jak i w naturze, nic nie ma za darmo i prostota wykonania transformato-

ra wyjściowego jest okupiona koniecznością zastosowania podwójnego układu zasilającego, co w efekcie, po bliższym zapoznaniu się ze schematem, nie wydaje się trudne do zrozumienia. W układzie tym oba uzwojenia anodowe transformatora sieciowego znajdują się na tym samym rdzeniu, lecz nie mają wspólnego odczepu środkowego, łączonego zwykle z masą układu.

Układ prostownika-zasilacza sprowadza się więc do jednopółkolkowego prostowania z dwoma uzwojeniami anodowymi, z których każde dostarcza napięcia 270 V, i dwoma uzwojeniami żarzenia lamp prostowniczych, w przypadku ich zastosowania w układzie, a także uzwojenia żarzenia pozostałych lamp wzmacniacza (patrz rys. 4b w pierwszej części artykułu – poprzedni numer „MT”).

Przy montażu należy dopilnować, aby żaden z elementów obu zasilaczy nie był połączony z masą układu, jeśli nie zostało to wyraźnie zaznaczone na schemacie ideowym. Specjalną uwagę zwracamy tu na kondensatory elektrolityczne, które muszą być umieszczone na podkładkach izolacyjnych.

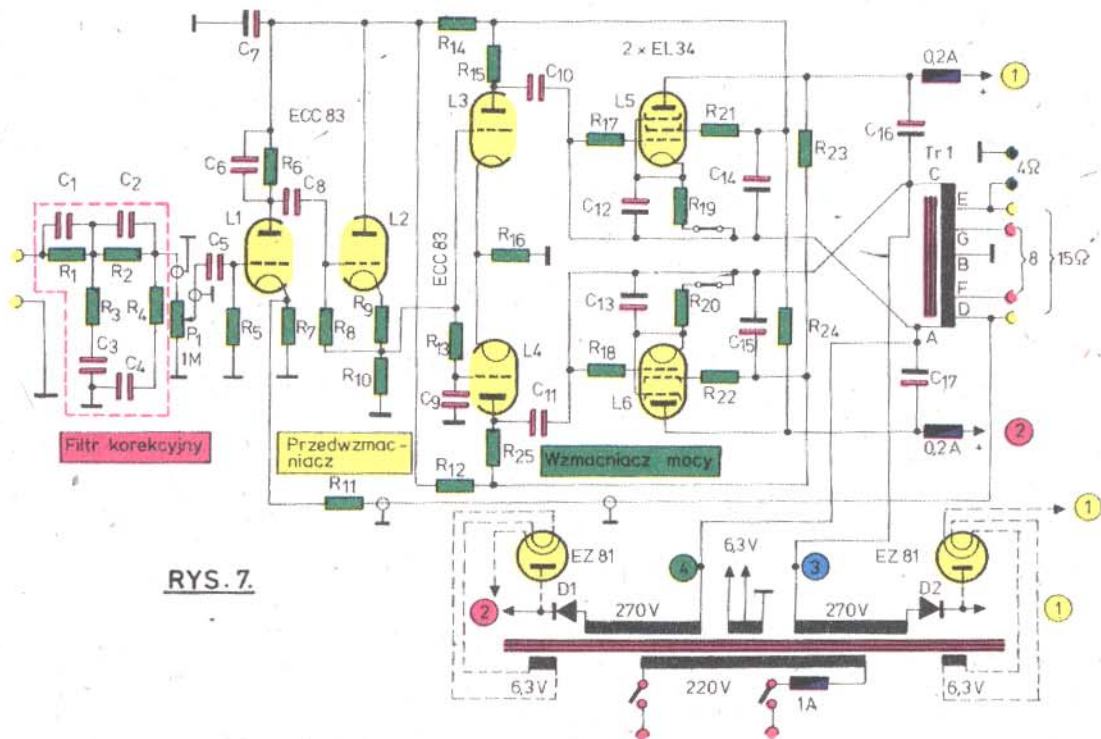
Należy przy tym pamiętać, że między metalową obudową kondensatora i chassis wzmacniacza będą występowały dość wysokie napięcia. Gdyby okazało się, że przy proponowanych wartościach kondensatorów elektrolitycznych występowałby we wzmacniaczu zbyt duży przydźwięk, można bardziej rozbudować część filtrującą zasilacza (rys. 9).

Montaż wzmacniacza najlepiej będzie zacząć od końca, tj. od stopnia mocy. Stopnie przedwzmacniacza pracują tutaj w zwykłym układzie, przy czym lampa L 4, dzięki wspólnemu opornikowi (R_{16}) z lampą L 3 jest wysterowana przeciwsośnie. Ta odwracająca fazę lampa połączona jest w tzw. układzie ze wspólną siatką. Siatka ta jest zwarta do masy (dla częstotliwości akust.) kondensatorem C_9 .

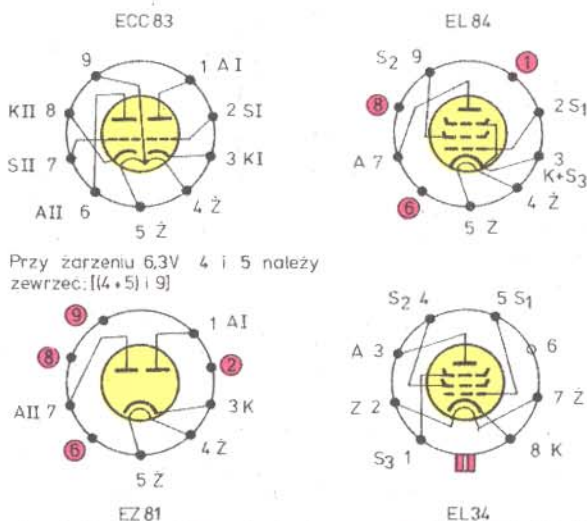
Stopnie przedwzmacniacza i odwracania fazy pracują w pełni symetrycznie, gdyż oporność obciążenia lampy L 4 jest większa o 10 % niż oporność obciążenia lampy L 3.

Ponieważ oporniki 200 i 220 kiloomów o tolerancji 1% (R_{15} i R_{25}) będzie trudno wybrać wśród zwykłych oporników sprzedawanych w sklepach (tolerancja ich wynosi 10 i 20%), można do tego celu użyć potencjometrów montażowych, np. 250 kiloomów, które ustawia się bardzo dokładnie na jakimś mostku lub omomierzu, a następnie unieruchamia ślizgacz lakierem.

Czułość wzmacniacza na siatce lampy L 3 wynosi równo 2 V, a więc trochę za mało w przypadku sterowania wzmacniacza napięciem wyjściowym 0,5 – 2 V. Z tego powodu przewidziano dodatkowe



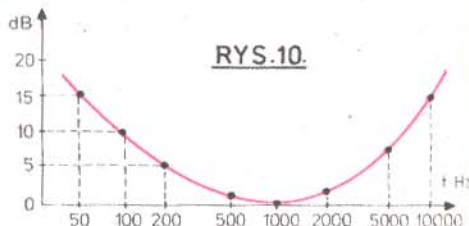
RYS. 7.



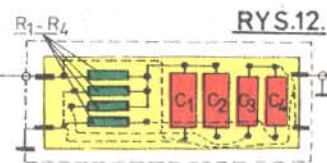
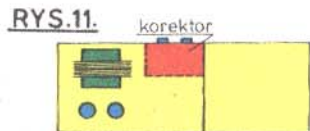
Przy żarzeniu 6,3V 4 i 5 należy zewrzeć: [(4+5) | 9]

Do elektrod znajdujących się w czerwonych kółkach, nie należy lutować żadnych elementów.

RYS.13.



RYS.10.



RYS.12.

Wykaz elementów wzmacniacza z rys. 7

Oporniki

- $R_1, R_2 - 10 \text{ k}\Omega/0,25 \text{ W}$
 $R_3, R_4 - 4,7 \text{ k}\Omega/0,25 \text{ W}$
 $R_5, R_6, R_{13} - 1 \text{ M}\Omega/0,25 \text{ W}$
 $R_6 - 200 \text{ k}\Omega/0,5 \text{ W}$
 $R_7, R_{23}, R_{24} - 2,2 \text{ k}\Omega/2 \text{ W}$
 $R_8 - 3 \text{ k}\Omega/0,5 \text{ W}$
 $R_{10} - 30 \text{ k}\Omega/0,5 \text{ W}$
 $R_{11} - 47 \text{ k}\Omega/0,25 \text{ W}$
 $R_{12}, R_{14}, R_{16} - 47 \text{ k}\Omega/1 \text{ W}$
 $R_{15} - 200 \text{ k}\Omega/0,5 \text{ W} - 1\%$
 $R_{17}, R_{18} - 1 \text{ k}\Omega/0,25 \text{ W}$
 $R_{19}, R_{20} - 270 \Omega/12 \text{ W} - 1\%$, drutowe
 $R_{21}, R_{22} - 100 \Omega/2 \text{ W} - 1\%$, drutowe
 $R_{25} - 220 \text{ k}\Omega/0,5 \text{ W} - 1\%$

Kondensatory

- $C_1, C_2 - 4,7 \text{ nF}$
 $C_3, C_4, C_{10}, C_{11} - 0,1 \mu\text{F}$
 $C_5, C_8 - 20 \text{ nF}$
 $C_6 - 100 \text{ pF}$
 $C_7 - 4-8 \mu\text{F}/350 \text{ V}$
 $C_9 - 1 \text{ nF}$
 $C_{12}, C_{13} - 250 \mu\text{F}/25 \text{ V}$
 $C_{14}, C_{15}, C_{16}, C_{17} - 50 \mu\text{F}/450 \text{ V}$
 Kondensatory, których napięcia pracy nie podano, powinny być przewidziane na 630 V.

stopnie wzmocnienia na lampach L 1 i L 2, stanowiące rodzaj przedwzmacniacza m.cz. Napięcie anodowe dla tych lamp jest pobierane symetrycznie z obu zasilaczy równocześnie, przez oporniki R_{12} i R_{14} . Lampa L 2 pracuje jako wtórnik katodowy, to znaczy ze współczynnikiem wzmocnienia równym jedności.

Zakłada się, że zakres częstotliwości przenoszonych przez wzmacniacz Hi-Fi powinien przekraczać w górę i w dół zakres słyszalności człowieka i w związku z tym w takim wzmacniaczu może zachodzić niekorzystne zjawisko przenoszenia i wzmacniania częstotliwości, które są zupełnie niezauważalne słuchowo.

Niebezpieczeństwo to istnieje nie tylko w zakresie ultradźwięków, ale i przy zupełnie niskich częstotliwościach – poniżej 20 Hz.

W przypadku wzmacniacza typu PPP problem ten jest łatwy do rozwiązania. Siatka lampy L 4 jest połączona z masą przez kondensator C_9 , którego pojemność wynosi zwykle 0,1 do 0,22 μF . Zmniejszenie pojemności tego kondensatora do 100 pF tworzy silne sprzężenie zwrotne dla tonów najniższych, powodujące np., że częstotliwość 50 Hz (zupełnie dobrze słyszalna) jest wytłumiona tylko o 10%, co jest słuchowo niezauważalne, natomiast przy $f = 20 \text{ Hz}$ tłumienie osiąga już wartość 50% i rośnie jeszcze bardziej przy tonach najniższych tak, że są one praktycznie nie przenoszone.

Wzmacniacz został zaopatrzony we wstępny korektor dający w efekcie charakterystykę częstotliwościową taką, jak przedstawiona na rys. 10, a miejsce jego zamocowania we wzmacniaczu zostało pokazane na rys. 11.

Ponieważ korektor jest szczególnie podatny na zakłócenia, powinien być dokładnie ekranowany przez umieszczenie go w szczelnie zamkniętym blaszanym pudełku z jak najmniejszą liczbą otworów dla przewodów.

Czułość wejścia wynosi 1 V przy 1000 Hz i rośnie przy częstotliwościach granicznych, odpowiednio do krzywej przedstawionej na rys. 10.

We wzmacniaczu modelowym cały korektor został zmontowany na płycie „drukowanej” (rys. 12) i umieszczony w blaszanym pudełku. W skład korektora wchodziły kondensatory C_1, C_2, C_3 i C_4 oraz oporniki R_1, R_2, R_3 i R_4 . Może okazać się również potrzebne zaekranowanie kondensatorów C_5 i C_8 oraz oporników R_5, R_7 i R_{11} .

Transformator wyjściowy (Tr 1) w układzie oszczędnościowym PPP jest symetryczny i ma odczep w środku uzwojenia pierwotnego (900 omów) oraz wyjścia: 4 omów, 8 omów (7,5 omów) oraz 15 omów, co umożliwia przyłączanie różnorodnych głośników. Liczba zwojów w poszczególnych sekcjach uzwojenia transformatora została podana w tabelce.

Sekcja uzwojenia	Stopnie końcowe	
	2 x EL 84	2 x EL 34
AD i CE DF i EG FB i GD	po 620 zw. \varnothing 0,3 mm po 20 zw. \varnothing 0,9 mm po 60 zw. \varnothing 0,9 mm	po 566 zw. \varnothing 0,3 mm po 24 zw. \varnothing 0,9 mm po 60 zw. \varnothing 0,9 mm

Rdzeń transformatora w obu przypadkach jest jednakowy i jego przekrój wynosi 9-10 cm^2 . Należy przy tym pamiętać, że zastosowanie lamp EL 84 prowadzi do obniżenia mocy wzmacniacza do 13-15 watów i powoduje konieczność zmiany oporników katodowych na 140-omowe (zamiast 270 omów).

Układ połączeń cokołów lampowych przedstawiony został na rys. 13, ponieważ lampa ECC 83 jest przystosowana do żarzenia zarówno napięciem 6,3 V, jak i 12,6 V (ma dwa włókna grzejne, które można łączyć szeregowo lub równolegle), więc dla mniejszego napięcia żarzenia należy w podstawce lampowej zewrzeć nóżki 4 i 5, które łącznie ze wspólnym wyprowadzeniem grzejników tworzą równoległy układ żarzenia włókien grzejnych lampy.

Inż. Jerzy Brdulak