

Wzmacniacz lampowy Hi Fi, część 2

Druga część artykułu o wzmacniaczu lampowym przybliży konstrukcję stopnia wyjściowego mocy, sposób wykonania chassis, omówione zostały także metody doboru elementów i ich wpływ na pracę wzmacniacza.

Stopień wyjściowy

Para lamp EL34 w ultraliniowej konfiguracji Mullarda zapewnia z otwartą pętlą sprzężenia moc około 20W przy poziomie zniekształceń 0.8%. Lampy pracują w klasie A do poziomu mocy około 15W, a w pewnym zakresie także w klasie B - taka „mieszana“ klasa nosi nazwę klasy AB1.

Maksymalna moc dostarczana do obciążenia 8Ω bez obcinania wynosi 24W. Potencjał katody EL84 wynosi około 32V, więc aby popłynął prąd siatki, amplituda napięcia sterującego musi przekroczyć tę wartość. Prąd siatki może być niebezpieczny, ponieważ powoduje ładowanie kondensatorów sprzęgających, których rozładowanie jest długotrwałe ze względu na znaczne wartości stałych czasowych, co w konsekwencji może powodować przesuwanie się punktu pracy. Jeśli wzmacniacz jest sterowany krótkotrwałymi sygnałami o wysokim poziomie, efekty przesuwania punktu pracy słychać w kolumnach głośnikowych.

Aby zapobiec niestabilności, zastosowano rezystory blokujące R35 i R31 w obwodach siatek sterujących. Rezystory R34 i R30 utrzymują zerowy potencjał tych siatek.

Linearyzujące odczepy transformatora wyjściowego połączone są przez rezystory R37 i R33 z siatkami hamującymi. Rezystory te zapewniają liniowość przy dużychysterowaniach, zapobiegają także wzbudzeniu układu.

Polaryzacja

W rezystorach katodowych R32 i R36 tracona jest znaczna moc. Powstaje na nich napięcie polaryzujące siatkę ujemnie względem katody. W niektórych układach stosuje się oddzielne źródło ujemnego napięcia zasilania siatki, które zapewnia uzyskanie wyższych mocy dostarczanych w sposób ciągły. Polaryzacja bez opornika katodowego może być niebezpieczna - jeśli nastąpi zanik napięcia siatki, przez lampy i transformator popłynie

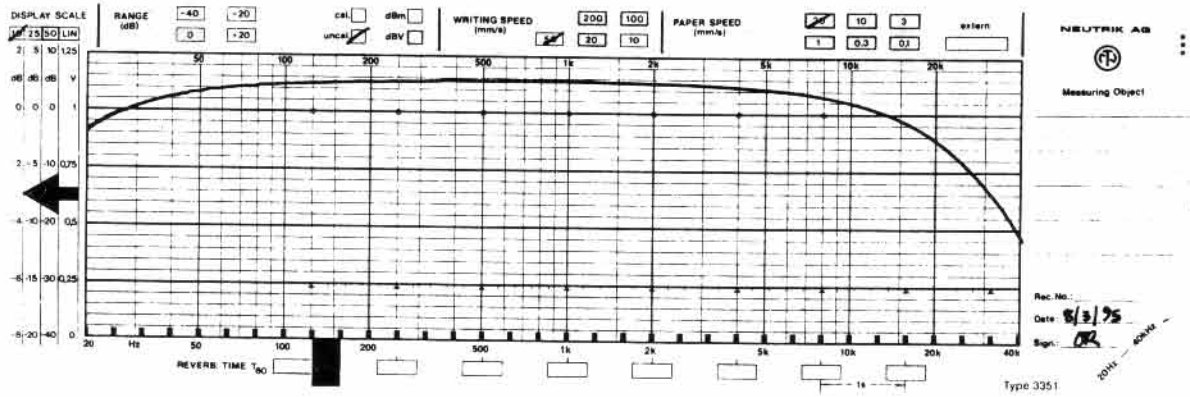
ogromny prąd, który może uszkodzić te elementy. Aby zlikwidować lokalne ujemne sprzężenie zwrotne, rezystory katodowe są zablokowane kondensatorami elektrolitycznymi C16 i C18.

Ujemne sprzężenie zwrotne

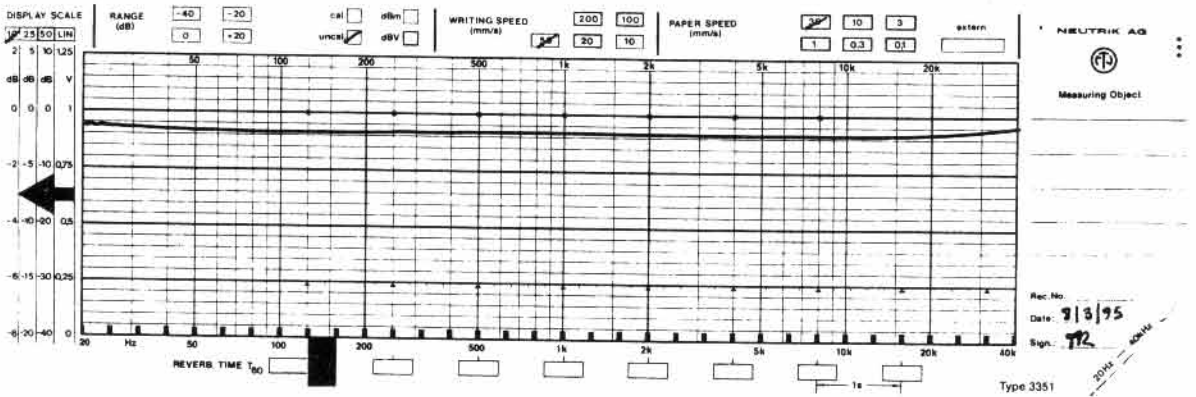
Ujemne sprzężenie zwrotne na poziomie około 20dB zapewnia poszerzenie pasma, ograniczenie zniekształceń do poniżej 0.1%, oraz ograniczenie skutków rozbieżności parametrów lamp. Sygnał sprzężenia brany jest z wtórnego uzwojenia transformatora wyjściowego i podawany symetrycznie na rezystory katodowe R12 i R16 stopnia sterującego, które nie są zablokowane pojemnościami. Objęcie pętlą sprzężenia wzmacniaczy operacyjnych nie jest korzystne, ponieważ wzmocnienie w otwartej pętli byłoby zbyt duże, co może powodować obcinanie sygnału.

Głębokość sprzężenia zwrotnego ustalają rezystory R14 i R18, z dodatkowymi elementami RC R13, C10 i R17, C12, poprawiającymi charakterystykę dla niskich częstotliwości (opcjonalne!). Wypadkowa rezystancja sprzęgająca nie powinna być niższa niż $1k\Omega$, ponieważ grozi to niestabilnością w zakresie niskich częstotliwości. Kompensacja częstotliwościowa w zakresie wyższych częstotliwości została uznana za zbędną, ale przewidziano możliwość jej wprowadzenia - na płycie są miejsca pod elementy R14, C10, R17 i C12. Elementy C22 i R43 umożliwiają podbicie charakterystyki w zakresie wysokich częstotliwości. Jest to tak rzadko spotykane wymaganie, że nie przewidziano otworów w płycie pod te elementy i należy je przylutować do końcówek rezystorów R14 i R18.

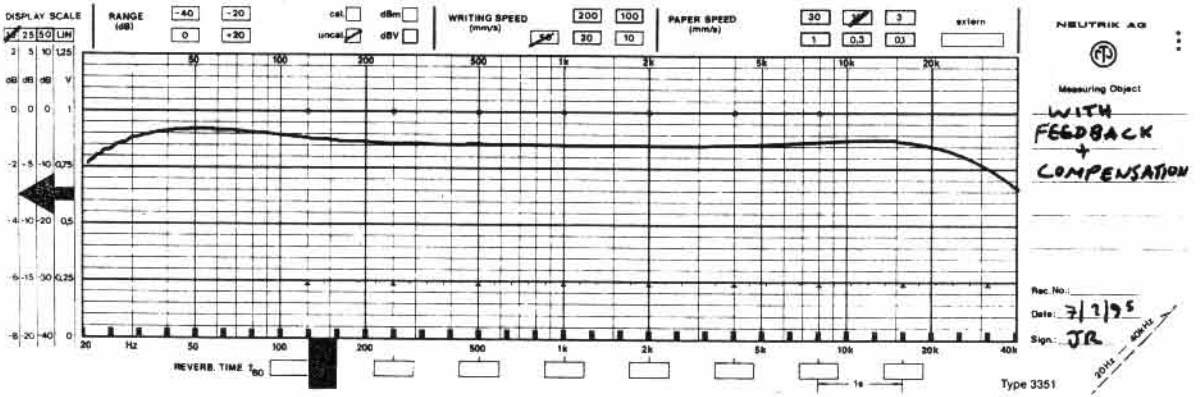
Charakterystyka częstotliwościowa wzmacniacza pokazana na **rys. 5** wykazuje spadek o -1dB dla częstotliwości 30Hz i 15kHz. Charakterystyką z zamkniętą pętlą sprzężenia jest płaska w pasmie 20Hz - 20kHz (**rys. 6**).



Rys.5. Odpowiedź częstotliwościowa wzmacniacza z otwartą pętlą, 15W, 8Ω.



Rys.6. Odpowiedź częstotliwościowa wzmacniacza z zamkniętą pętlą i kompensacją charakterystyki w zakresie niskich częstotliwości, 15W, 8Ω.



Rys.7. Odpowiedź częstotliwościowa wzmacniacza z otwartą pętlą i korekcją charakterystyki na końcach pasma.

Układ sprzężenia zwrotnego umożliwia modyfikację charakterystyki częstotliwościowej kompensując niedostatki zestawów głośnikowych. Na rys. 7 przedstawiono charakterystykę z podbiciem w okolicy 50Hz i 12kHz, przydatnym w przypadku małych kolumn głośnikowych. W tym celu zastosowano jako C10 i C12 kondensatory o pojemności 470nF, natomiast C22 i R43 miały wartości 6.8nF i 1.6kΩ. Aby uniknąć nadmiernego podbicia w zakresie najniższych częstotliwości obniżono pojemności kondensatorów sprzęgających C1 i C4 do 1μF.

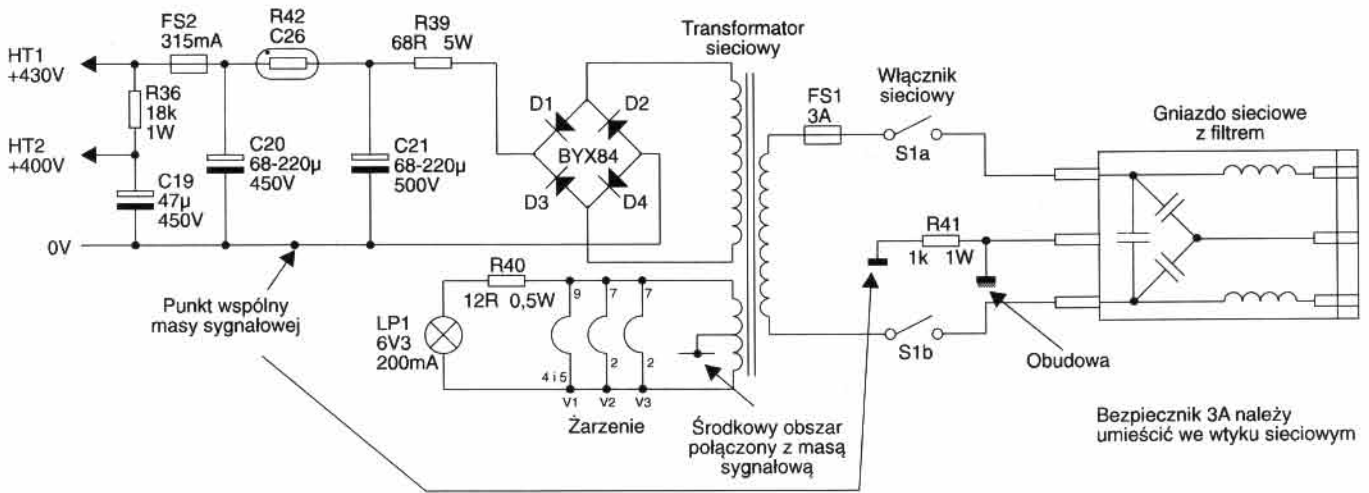
Zasilacz

Pełny układ zasilacza, zbudowanego z użyciem transformatora do zasilania lamp dużej mocy wg. Maplina przedstawia rys. 8. W oryginalnej wersji transformator ten wykorzystywano do zasilania dwóch kanałów stereo. Zdaniem twórcy przedstawionego w artykule projektu transformator ten byłby zbyt przeciążony, by mógł niezawodnie funkcjonować przez dłuższy czas. Z tego powodu każdy kanał wzmacniacza powinien być zasilany z własnego transformatora.

W zasilaczach wzmacniaczy lam-

powych zazwyczaj wykorzystywano prostowniki lampowe i dławiki. Ze względów ekonomiczno-energetyczno-niezawodnościowych zrezygnowano tu z prostownika lampowego na rzecz półprzewodnikowego mostka diodowego. Ten ostatni wymaga także prostszego transformatora sieciowego niż prostownik z podwójnymi diodami próżniowymi.

Jest jednakże pewien problem występujący w przypadku półprzewodnikowych prostowników - są one bardzo szybkie. Prostownik lampowy rozgrzewa się powoli i podawanie wysokiego napięcia do ukła-



Rys.8. Schemat elektryczny zasilacza wzmacniacza.

du następuje stopniowo. Chroni to kondensatory przed destrukcyjnymi skokami napięcia (w konsekwencji uderzeniami prądu) i zapobiega zużyciu nierozgrzanej katody przy pełnym napięciu anodowym, czego długoczasowym skutkiem jest spadek emisji.

Aby ograniczyć problem zużycia katody, zastosowano element R42, będący specjalnym rodzajem termistora, którego rezystancja jest wysoka w niskiej temperaturze i spada z jej wzrostem. Jest to termistor CZ6, którego „zimna” rezystancja wynosi 4kΩ i spada do 300Ω ze wzrostem temperatury.

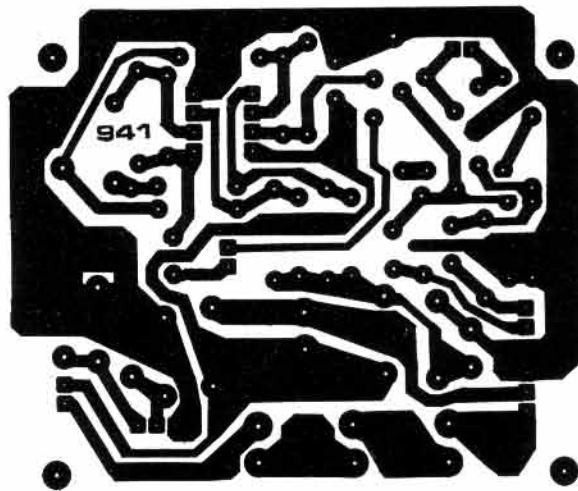
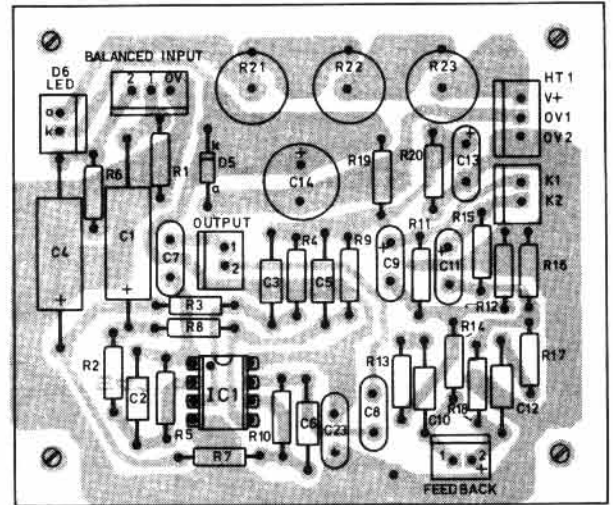
Termistor R42 stanowi element filtrujący, natomiast rezystor R39 zabezpiecza pierwszy kondensator wygładzający i prostownik przed przeciążeniem występującym po włączeniu zasilania. Napięcie robocze kondensatora C21 musi wynosić 500V, ponieważ napięcie na wyjściu prostownika po włączeniu zasilacza sięga około 480V.

Ze względów bezpieczeństwa obudowa jest uziemiona bezpośrednio, tzn. połączona z masą siecią, natomiast masa sygnałowa połączona jest z masą sieci przez rezystor R41, co zapobiega powstaniu pętli prądowych w linii masy zasilania. Punkt wspólny masy wzmacniacza wykonany jest z grubego, pocynowanego drutu miedzianego łączącego ujemne wyprowadzenia kondensatorów C20 i C21. Aby uniknąć impulsowych prądów ładujących kondensatory, powodujących niepożądane dźwięki, wyjście prostownika jest połączone bezpośrednio z kondensatorem C21. Elementy R38 i C19 zapewniają dalsze wygładzanie i odsprężanie

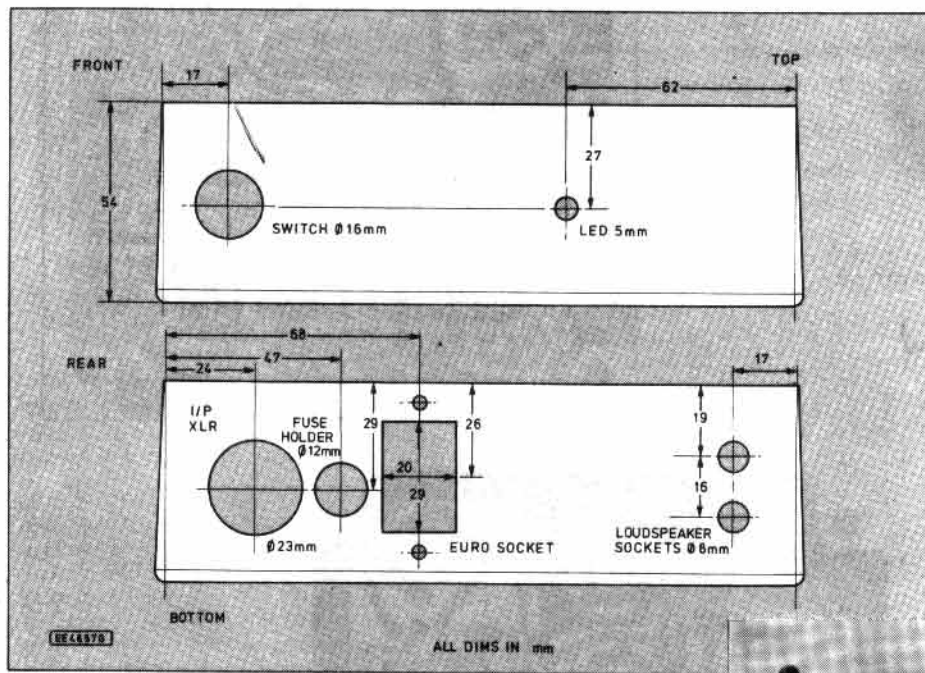
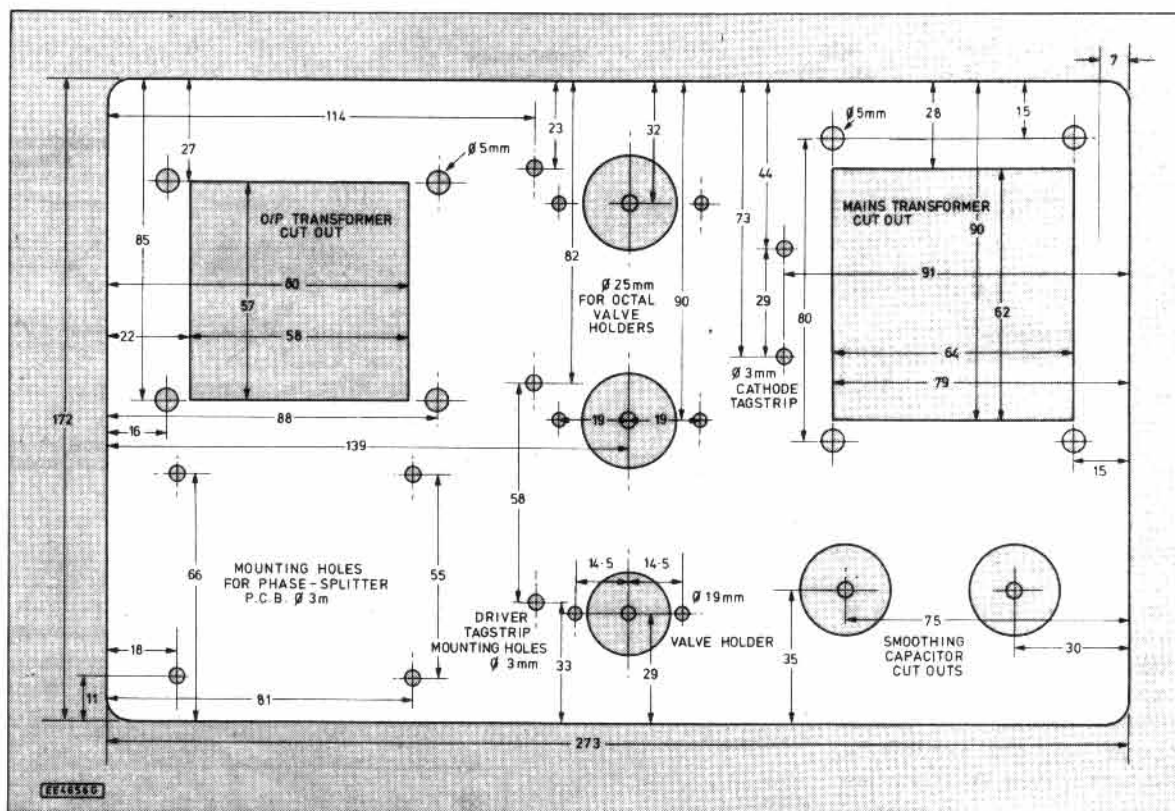
napięcia zasilającego stopień sterujący. Ponieważ pobór prądu tego stopnia wynosi tylko 1.8mA, napięcie to może zostać wykorzystane do

zasilania zewnętrznych przedwzmacniaczy, po stosownym obniżeniu wartości rezystancji R38.

Uzwojenie wtórne transformato-



Rys.9. Płytki odwracacza fazy - rozmieszczenie elementów i mozaika ścieżek druku.



Rys.10. Chassis - wymiary, rozmieszczenie elementów i otworów - widok z góry, z przodu i z tyłu.

ra żarzenia ma uziemiony środkowy odczep, co ogranicza przydźwięk sieciowy.

Uzyskanie stosunkowo niskiego napięcia 33V - 36V z 430V napięcia zasilania jest dosyć kłopotliwe, ponieważ należy zredukować napięcie o 400V. Oznacza to około 5W mocy strat w rezystorze redukcyjnym, co byłoby nie do przyjęcia w układzie półprzewodnikowym o wysokiej

sprawności, ale we wzmacniaczu, w którym straty stopnia wyjściowego wynoszą około 75W przestaje to być istotne.

Rezystor redukujący napięcie spełnia dwie dodatkowe funkcje. Umożliwia rozładowanie kondensatorów zasilacza wysokiego napięcia, eliminując niebezpieczeństwo porażenia. Umieszczenie szeregowo z tym rezystorem diody LED daje

włączenia wskaźnik zasilania, wskazujący także stan naładowania kondensatorów zasilacza. Rezystor redukcyjny składa się z trzech rezystorów 10kΩ, 2W połączonych szeregowo. Można także zastosować pojedynczy rezystor drutowy. Bardziej niezawodne rozwiązanie stanowi rezystor przymocowany do chassis, co zapewnia odpowiednie odprowadzanie ciepła.

Diody Zenera D5 stabilizuje napięcie zasilania, a kondensator C14 stanowi filtr tętnień i szumów diody. Potencjał odniesienia dla układów ze wzmacniaczami operacyjnymi utworzony jest przez dzielnik oporowy R19-R20. C13 jest kondensatorem odprężającym.

Dobór elementów

W układach lampowych podzespoły poddawane są znacznym obciążeniom termicznym. Kondensatory elektrolityczne mogą wysychać, co w szczególności dotyczy niewielkich pojemności stosowanych do blokowania katod i kondensatorów sprzęgających, ponieważ w ich przypadku stosunek powierzchni do objętości jest duży.

Kondensatory blokujące katody można zastąpić kondensatorami tantalowymi lub lepszymi od nich aluminiowymi.

Rezystory anodowe pracują pod dużym napięciem, w związku

WYKAZ ELEMENTÓW

Rezystory

(0.25W, 1%, metalizowane)

R1, R4, R5, R6, R9, R10 - 100kΩ

R2, R3, R7, R8, R19, R20 - 22kΩ

R11, R15 - 2kΩ

R12, R16 - 200Ω

R13, R17 - 4.3kΩ

R14, R18 - 1.2kΩ

R43 - 1.2kΩ (opcjonalny)

(0.5W, 1%, metalizowane, pełnowymiarowe)

R24, R27 - 1MΩ

R25, R28, R31, R35 - 2.2kΩ

R26, R29 - 220kΩ

R30, R34 - 680kΩ

R40 - 12Ω

(1W, 5% węglowe warstwowe lub 2% FP1 z tlenków metali)

R33, R37, R41 - 1kΩ

R38 - 18kΩ

(2W, 5% węglowe warstwowe lub 2% FP2 z tlenków metali)

R21, R22, R23 - 10kΩ (można zastąpić pojedynczym rezystorem drutowym 33kΩ)

R32, R36 - 470Ω

R39 - 68Ω

R42 - CZ6 (termistor - patrz tekst)

Kondensatory

C1, C4 - 47μF/20V, tantalowe

C2, C3, C5, C6 - 10pF,

polistyrenowe, 2.5%

C7, C8 - 470nF, poliestrowe, 10%,

C9, C11 - 33μF/10V, tantalowe lub aluminiowe

C10, C12 - 2.2μF/63V, poliestrowe, 20%

C13 - 4.7μF/25V, tantalowy

C14 - 1000μF/35V, elektrolityczny

C15, C17 - 470nF/400V,

poliwęglanowe lub polipropylenowe, 10%, Wima MKB3 (patrz tekst)

C16, C18 - 68mF/40V, aluminiowe (typ 123)

C19 - 47μF/450V

C20 - 68μ-220μF/450V

C21 - 68μ-220μF/500V

C22 - 6.8nF, poliestrowy

(opcjonalnie)

C23 - 330nF, poliestrowy

Lampy

V1 - ECC83

V2, V3 - EL84

Elementy półprzewodnikowe

D1-D4 - BYX84 lub 1N4007, 1000V/1A

D5 - 36V, 33V/400mW dioda

Zenera

D6 - czerwona dioda LED, 5mm

IC1 - NE5532N

Różne

T1 - transformator wyjściowy, impedancja uzwojenia pierwotnego między anodami 6.6kΩ

T2 - transformator sieciowy 240V, napięcie wtórne 350V, 250mA, uzwojenie obwodu żarzenia 6.3-7.5V

SK1 - gniazdo sieciowe z filtrem

S1 - włącznik sieciowy dwubiegunowy dwupozycyjny ze wskaźnikiem

FS1 - bezpiecznik 3A z gniazdem

FS2 - bezpiecznik 315mA

z gniazdem odlew 273mm*172mm*51mm (chassis)

podstawka 8-nóżkowa DIL

cokół lampy B9A

cokół oktalowy 2x

podwójny kabel ekranowany 250mm

śruby, podkładki i nakrętki M4 8x

śruby, podkładki i nakrętki M3 9x

z czym rezystory o niewielkich rozmiarach (seria metalizowanych rezystorów 0.6W ogólnego przeznaczenia firmy Maplin) mogą nie być dostatecznie niezawodne. Stosować należy pełnorozmiarowe przemysłowe rezystory metalizowane 0.5W.

Tanie lampy z Europy wschodniej zazwyczaj spisują się dobrze, czego nie można powiedzieć o lampach pochodzących z Chin. Stosowanie oryginalnych elementów firmy Mullard jest po prostu nieekonomiczne. Lampa EL34B jest nieco lepsza od EL34S.

Wykonanie

Wzmacniacz w przeważającej części montowany jest na tradycyjnym chassis, ponieważ ciepło traczone w lampach mocy mogłoby doprowadzić do przepalenia laminatu. Na płycie drukowanej montowany jest natomiast odwracacz fazy i elementy pętli sprzężenia. Rozmieszczenie elementów i mozaikę druku płytki przedstawia rys. 9. Montaż należy rozpocząć od rezystorów, a zakończyć na elementach półprzewodnikowych, dbając o prawidłowe wlutowanie elementów polaryzowanych. Rezystory redukujące napięcie R21, R22 i R23 należy przylutować pionowo. Ograniczy to naprężenia

oddziaływające na punkty lutownicze, powstające w wyniku wzrostu temperatury. Rezystory te powinny być odsunięte od powierzchni płytki i oddzielone od niej przy pomocy podkładek ceramicznych. Złącza płytki powinny być wlutowane zgodnie z rys. 9. Sposób wykonania połączeń przedstawiony zostanie w następnej części.

Do wykonania chassis należy użyć odlewu ciśnieniowego, który ma zaokrąglone brzożki i łatwo w nim wykonać otwory. Nie należy używać płyty stalowej, ponieważ spowoduje to rozproszenie pola magnetycznego wytwarzanego przez transformator sieciowy. Rys. 10 zawiera niezbędne do wykonania chassis dane, które optymalizowano pod względem łatwości okablowania, minimalizacji przydźwięku i pasożytniczych sprzężeń. Podstawowym warunkiem ograniczenia przydźwięku jest jak najdalsze odsunięcie od siebie transformatorów i ustawienie wzajemne ich rdzeni pod kątem prostym. Drugi warunek to ulokowanie płytki odwracacza fazy jak najdalej od transformatora sieciowego.

Kondensatory wygładzające znajdują się daleko od grzejących lamp stopnia wyjściowego, a kable we-

jęciowe i wyjściowe są poprowadzone po przeciwnych stronach obudowy. Ponieważ ze względów estetycznych dobrze jest umieścić wszystkie wyprowadzenia na płycie tylnej obudowy, kabel wejściowy powinien być ekranowany, ponieważ biegnie w pobliżu kondensatorów zasilacza.

Trzecią część artykułu opublikujemy w EP 12/95

Jake Rothman

Artykuł publikujemy na podstawie umowy z redakcją miesięcznika "Everyday with Practical Electronics".