

Lampowy wzmacniacz Hi-Fi, część 3

Jest to ostatnia część artykułu przedstawiającego konstrukcję wzmacniacza lampowego Hi-Fi. Tym razem skupimy się na opisie montażu i uruchomienia tej, dość trudnej dla współczesnych elektroników, konstrukcji.

Żarzenie lamp

Tradycyjne zasady montażu wymagają rozpoczęcia go od poprowadzenia przewodów żarzenia lamp, ponieważ można je wtedy ułożyć bezpośrednio na chassis. Przewodom tym nadaje się zwykle postać skrętki i prowadzi możliwie daleko od wyprowadzeń siatek sterujących lamp, co minimalizuje indukowanie się przydźwięku sieci w obwodach siatkowych.

Przewody żarzenia, zasilania i inne, które należy ułożyć zanim można przystąpić do rozmieszczania listwek z oczkami lutowniczymi od spodu chassis, są pokazane na rys. 11. W tym stadium montażu należy przymocować płytkę drukowaną odwracacza fazy.

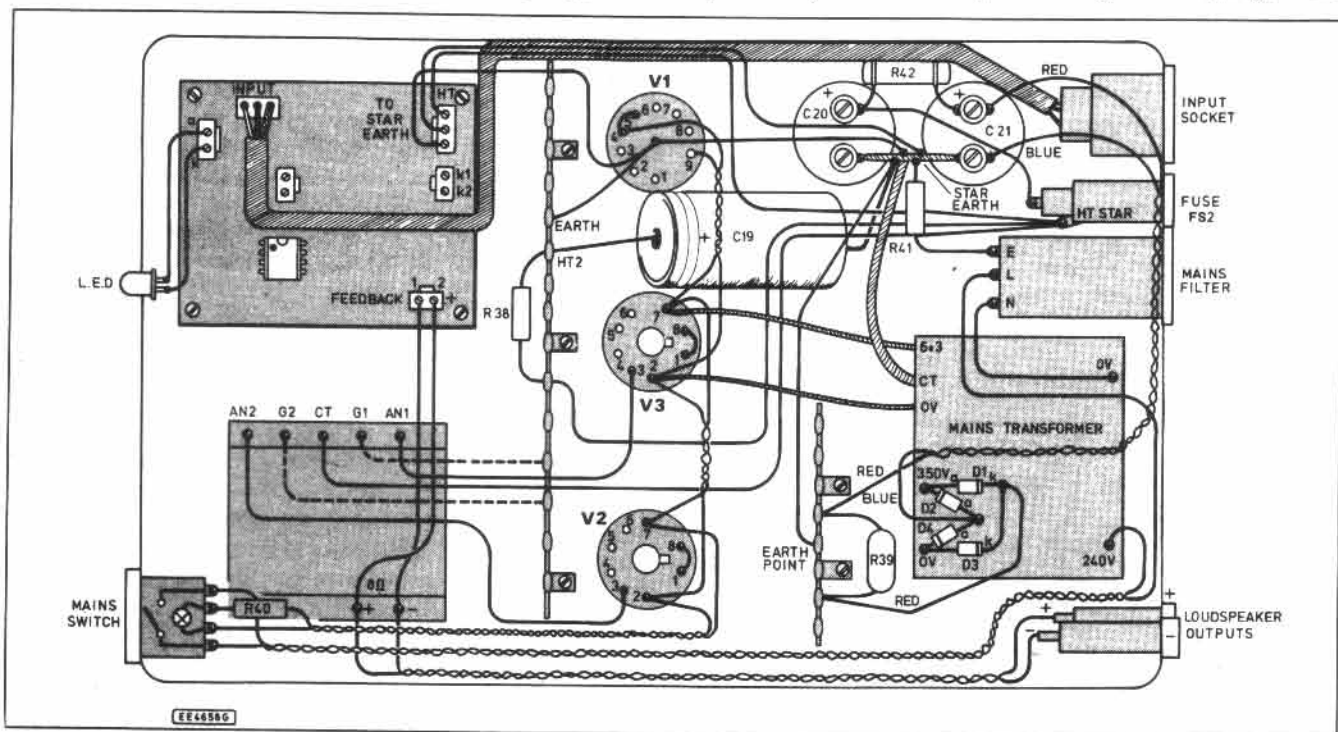
Listewki montażowe

W układzie przewidziano dwa podzespoły na listewkach montażowych, które daje się łatwo zmontować przed ich umocowaniem w chassis. Rys. 12 przedstawia sposób przygotowania potrzebnych od-

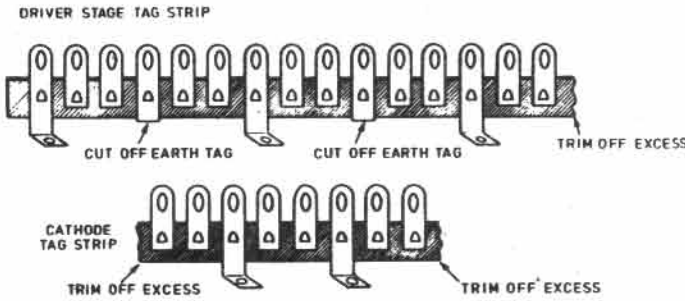
cinków z listwy o standardowej długości. Niektóre z końcówek skracają się w celu zwiększenia liczby punktów montażowych nie połączonych z masą.

Rozmieszczenie elementów na listewce montażowej wzmacniacza ilustruje rys. 13. Warto zwrócić uwagę na sposób montażu siatkowych rezystorów blokujących, które umieszcza się bezpośrednio pomiędzy listewką a podstawkami lampowymi. Przy montażu trzeba zabezpieczyć układ przed możliwością zwarcia, służą do tego silikonowe koszulki, naciągane na końcówki elementów. Jeżeli użyje się kondensatorów C15 i C17 w metalowych, nieizolowanych obudowach, należy te obudowy połączyć z siatkami, w przeciwnym bowiem wypadku wystąpiłoby na nich napięcie 200V. Przed przykręceniem zmontowanych listwek do chassis, trzeba wykonać połączenia transformatora wyjściowego.

Druga, mniejsza listewka, służy do umieszczenia elementów obwodów katodowych lamp mocy oraz rezystora ograniczającego R39.



Rys. 11 Pierwsze stadium okablowania chassis przed wmontowaniem zespołów listwek montażowych. Przewody żarzenia powinny zostać ułożone najpierw i odsunięte od wyprowadzeń siatek sterujących lamp.



Rys. 12 Przygotowanie dwóch odcinków listewki montażowej z listwy o standardowej długości.

Zmontowany ten zespół jest pokazany na rys. 14.

Ważne, aby do montażu użyć gorącej lutownicy z termostatycznie kontrolowaną temperaturą grota, jak np. Weller W60. Mała lutownica 15W nie wystarczy!

Ostateczny wygląd połączeń w chassis pokazuje rys. 15. Doprowadzenia do płytki drukowanej są wykonane za pomocą złącza Molex. Do właściwego wykonania tych połączeń są wymagane specjalne szczytce do zaciskania końcówek. Rys. 16 przedstawia montaż złącza Molex.

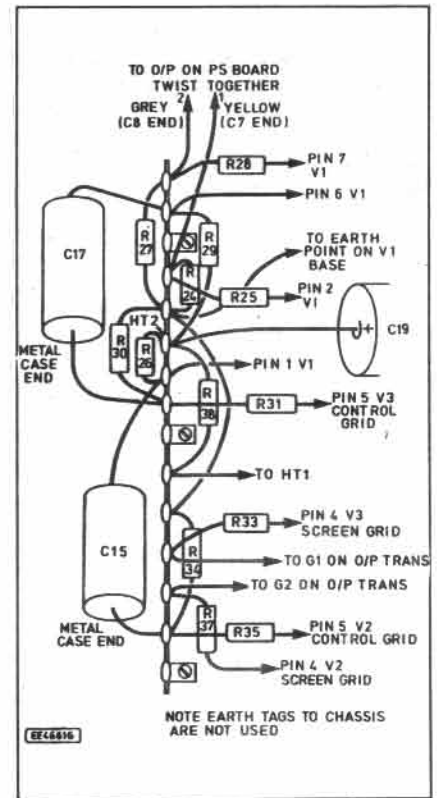
Sprawdzanie

Testowanie tego wzmacniacza za pomocą standardowej aparatury pomiarowej jest dość trudne ze względu na jego symetryczne wejścia i wyjścia. Wejście symetryczne nie stanowi problemu, zawsze można bowiem zmienić je w niesymetryczne przez połączenie z masą jednej z końcówek wejściowych. Natomiast przyłączenie oscyloskopu do wyjścia, wywołuje zwarcie jednej z końcówek wyjściowych z masą, czego skutkiem jest naruszenie równowagi sprzężenia zwrotnego, wzmacniacz nie będzie zatem dzia-

łał poprawnie, a amplituda sygnału wyjściowego zostanie znacznie zredukowana. Odłączenie uzziemienia oscyloskopu jest metodą niebezpieczną. Bezpiecznym sposobem jest zastosowanie różnicowej sondy oscyloskopu, ewentualnie transformatora izolującego.

Tak jak w przypadku wszystkich lampowych wzmacniaczy mocy, należy unikać włączania wzmacniacza bez obciążenia. Wysokonapięciowe impulsy powstające w transformatorze wyjściowym mogą bowiem wywoływać szkodliwe rozłknięcia w lampach mocy. Wzmacniacze lampowe w zasadzie są znacznie odporniejsze od półprzewodnikowych na błędy montażu, „łańcuchowe uszkodzenia” nie zdarzają się w nich bowiem tak często jak w układach półprzewodnikowych o bezpośrednim sprzężeniu.

Lepiej jednak sprawdzać wzmacniacz etapami, w rozsądnej kolejności, zamiast od razu włączyć. Pierwszą czynnością jest sprawdzenie połączeń obwodu sieciowego i żarzenia przez włączenie wzmacniacza po wyjęciu bezpiecznika obwodu anodowego, FS2. Wszystkie lampy powinny się żarzyć, a brzęczenie transformatora nie powinno



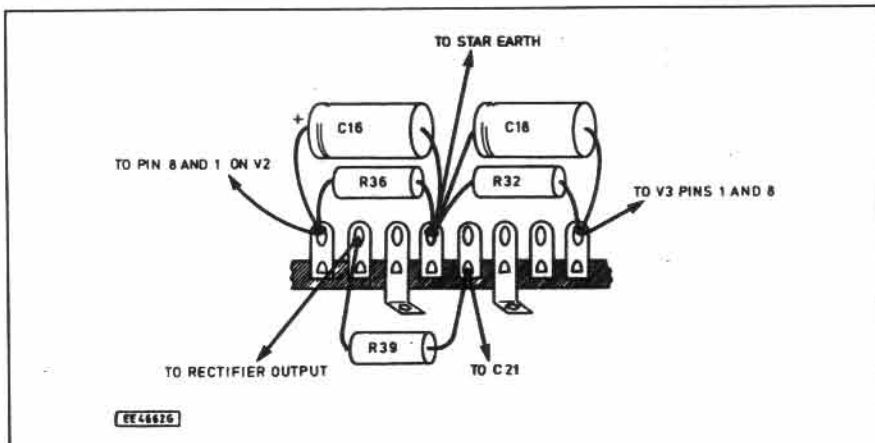
Rys. 13 Zespół listewki montażowej wzmacniacza

być słyszalne. Nie trzeba niepokoić się odgłosami cichych „tiknięć”, jakie mogą wydawać rozgrzewające się lampy.

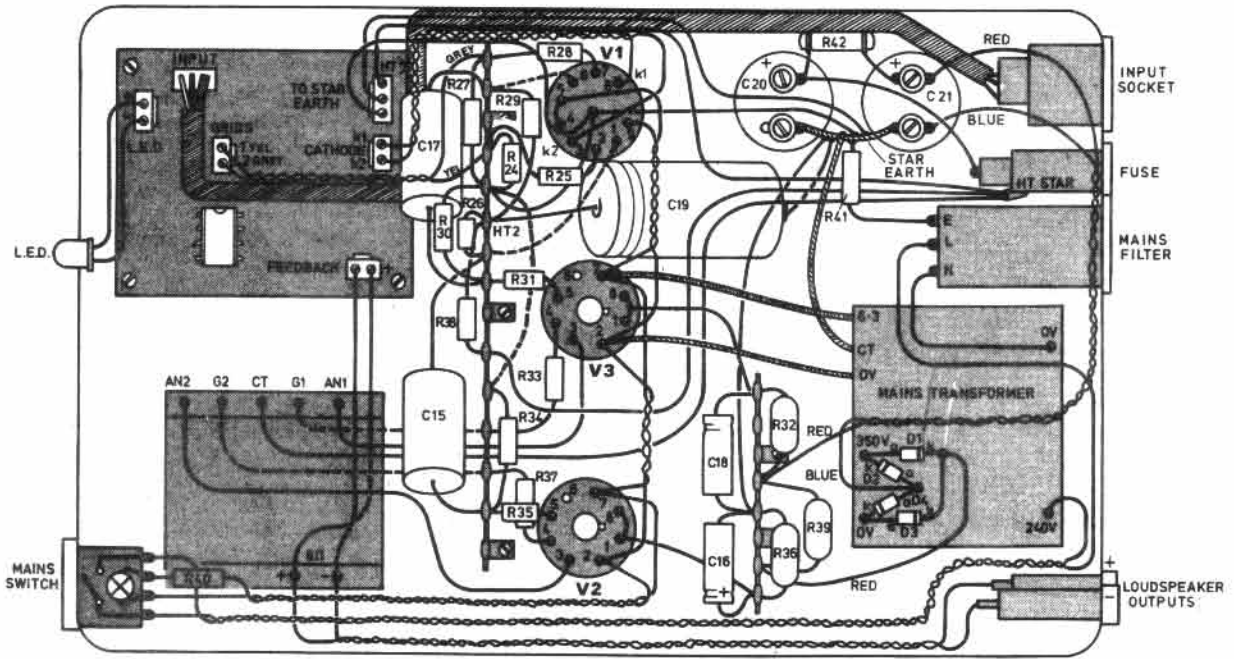
Następnie można włączyć wzmacniacz z wstawionym na miejsce bezpiecznikiem, ale po wyjęciu lampy wzmacniacza wstępnego, V1 (zmniejsza to prawdopodobieństwo oscylacji). W roli obciążenia należy użyć rezystora 8Ω, 25W. Jeżeli bezpiecznik nie zostanie stopiony, będzie można zmierzyć napięcie zasilania, które powinno wynosić 430V, oraz napięcia na rezystorach katodowych, 29V do 34V.

Dalszym krokiem jest sprawdzenie napięcia zasilania wzmacniaczy operacyjnych, 32V do 36V. Napięcia wyjściowe IC1 powinny wynosić około połowy napięcia zasilania, w przybliżeniu 16,5V.

Jeżeli wszystko jest w porządku, to można włączyć wzmacniacz z wstawioną lampą V1. Gdyby zaczął oscylovac, z transformatora głośnikowego dałoby się słyszeć brzęczenie o wysokiej częstotliwości. Typową przyczyną oscylacji jest niewłaściwa faza sprzężenia zwrotnego. Wystarczy wtedy zamienić końcówki złącza sprzężenia zwrotnego na płytce odwracacza. Na zakończenie należy jeszcze spraw-



Rys. 14 Zespół katodowej listewki montażowej i jej okablowanie



Rys. 15 Końcowe stadium okablowania chassis. Połączenia z płytką drukowaną odwracacza fazy są wykonane za pośrednictwem złącz.

dzić napięcia na anodach lampy V1 (końcówki 1 i 6), które powinno wynosić 205V.

Końcowy test trzeba przeprowadzić przy pomocy doprowadzonego do wejścia sygnału sinusoidalnego 1kHz. Podnosi się powoli jego amplitudę obserwując zniekształcenia, aż do wystąpienia czystego, symetrycznego, obcinania. Wzmacniacz powinien dostarczyć 40Vpp do obciążającego rezystora 8Ω przed wystąpieniem obcinania. Jest to równoważne mocy skutecznej 24W ($20V \text{ szczyt.} \times 0,707 = 14V \text{ skut.}$, $P = V/R = 196/8 = 24,5W$).

Zrównoważenie przeciwobne

Oto stara sztuczka do sprawdzania, czy obie połowki wzmacniacza mają to samo wzmocnienie i czy jego przeciwobne działanie jest w pełni symetryczne. Należy dobrać dwa rezystory

100kΩ, 1%, połączyć je pomiędzy anodami lamp wyjściowych, jak pokazano na rys. 17 i sprawdzić oscyloskopem napięcie. Jeżeli wzmacniacz jest zrównoważony, to napięcia obu połówek powinny się skasować. Warto wykonać tę próbę przy różnych poziomach wysterowania i przy różnych częstotliwościach. W razie stwierdzenia niesymetrii, można ją skorygować drobną zmianą oporności jednego z rezystorów anodowych V1. Niesymetrię przy górnych częstotliwościach pasma najłatwiej koryguje się kondensatorami sprzężenia zwrotnego w odwracaczu fazy.

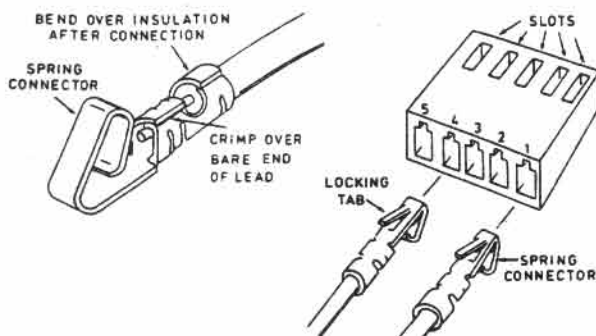
Użytkowanie

Wzmacniacze tworzą zwarte bloki o symetrycznych wejściach i niskiej impedancji, można je więc umieścić w pobliżu głośników, co pozwoli oszczędzić na kosztownych przewodach głośnikowych. Przy im-

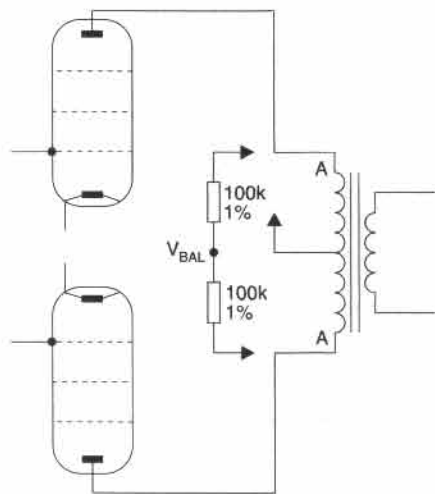
pedancji wejściowej 10kΩ, wzmacniacz nadaje się do użytku tylko z przedwzmacniaczem mogącym tę impedancję wysterować. Do standardowego użytku z odtwarzaczem płyt kompaktowych można stosować bierną sondę, której schemat jest pokazany na rys. 18.

Moc wyjściowa wzmacniacza wynosi tylko 24W, ale z powodu miękkiego obcinania zniekształcenia łatwiej dają się tolerować i jego brzmienie można by porównywać z 40W wzmacniaczem półprzewodnikowym. Dla osiągnięcia większej głośności konieczne jest użycie wysokoskutecznych głośników. Jednakże większość użytkowników wzmacniaczy lampowych jest zainteresowana jakością dźwięku przy niskiej głośności, a jest ona doskonała z głośnikami o niedużej czułości (81dB/W) LS3/5a typu „półkowego“ i przy umiarkowanej głośności. Jednym ze sposobów zwiększenia głośności bez straty jakości dźwięku jest użycie głośników LS3/5a ze wzmacniaczem lampowym wraz z aktywnym „crossover driven“ subwooferem ze wzmacniaczem półprzewodnikowym.

Wzmacniacze lampowe mogą się znacznie rozgrzewać, trzeba więc zapewnić im doskonałą wentylację. Nie należy zamykać ich w obudowie, można ewentualnie osłonić je, jeżeli to konieczne, dobrze perforowaną blaszaną kłatką.



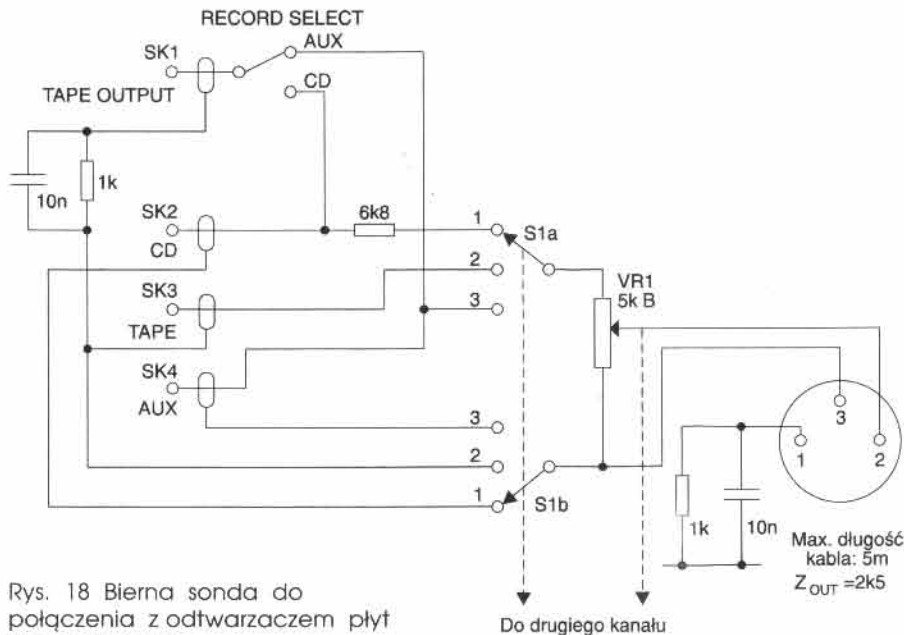
Rys. 16 Montaż złącza wyprowadzeń z płytki drukowanej.



Rys. 17 Użycie dwóch dokładnych rezystorów 100kΩ do sprawdzania symetrii układu przeciwobnego.

Ostrzeżenie

We wzmacniaczu tym występuje nie tylko napięcie sieci, ale także wysokie napięcie 450V, które może być jeszcze bardziej niebezpieczne, jest to bowiem napięcie stałe, mogące wywołać tężenie mięśni. Porażenie serca takim napięciem może wywołać migotanie przedsionków, lub sparaliżowanie oddechu, bez reani-



Rys. 18 Bierna sonda do połączenia z odtwarzaczem płyt kompaktowych.

macji prowadzące w ciągu kilku minut do śmierci.

Należy zawsze posługiwać się dobrze izolowanymi czujnikami, a przy pracy przy wyłączonym napięciu zawsze uprzednio sprawdzać napięcie na kondensatorach. Celem wykluczenia porażenia w poprzek piersi, należy zawsze, o ile to możliwe, pracować „z jedną ręką w kieszeni”.

Trzeba zwrócić uwagę, że po stopieniu bezpiecznika, LED D6 nie świeci, co znaczy, że kondensatory nie są rozładowywane i mogą długo przechowywać niebezpieczny ładunek. Będzie tak także wtedy, gdy wzmacniacz zostanie włączony z wyjętą płytką odwracacza fazy.

Dodatkowe usprawnienia

Oto kilka możliwych usprawnień układu, które mogą zainteresować eksperymentatorów.

Wyłącznik pogotowia

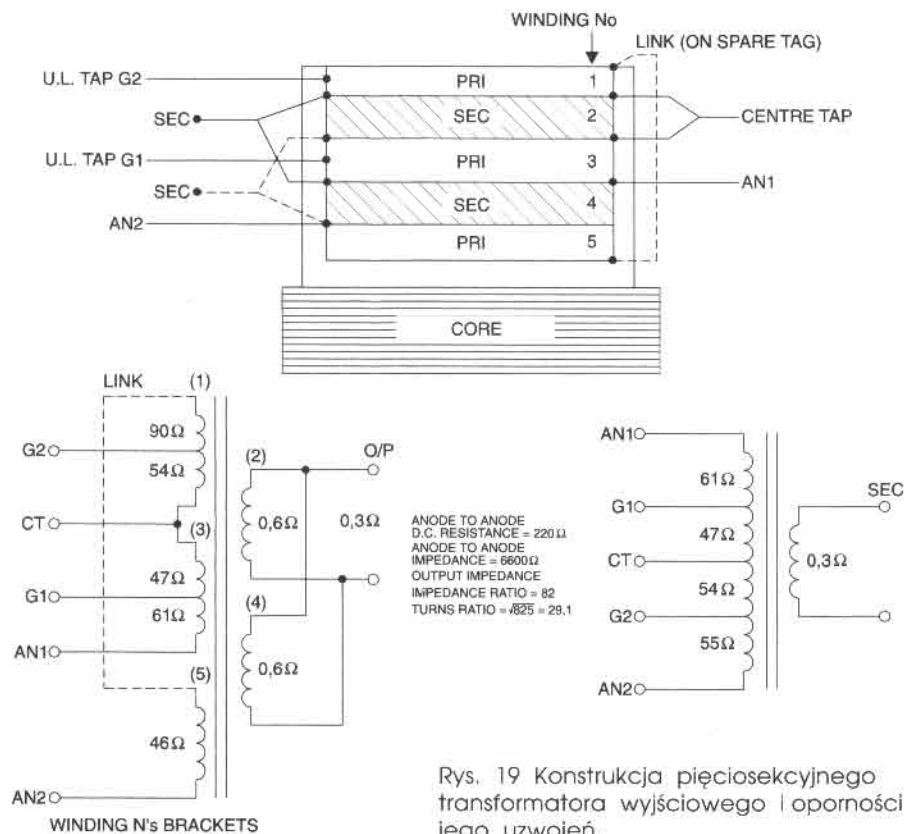
Jeżeli wzmacniacz ma być używany przez długie okresy czasu, warto wyposażyć go w wyłącznik napięcia anodowego. Umożliwia on pozostawienie podgrzewania katod lamp bez doprowadzania do nich napięcia anodowego. W razie potrzeby wzmacniacz może zostać włączony i natychmiast użyty.

Wyłącznik pogotowia przedłuża także żywotność lamp, ograniczając wydzielanie w nich mocy i zapewnia ochronę powierzchni katod, gdy napięcie anodowe jest włączane dopiero po ich rozgrzaniu.

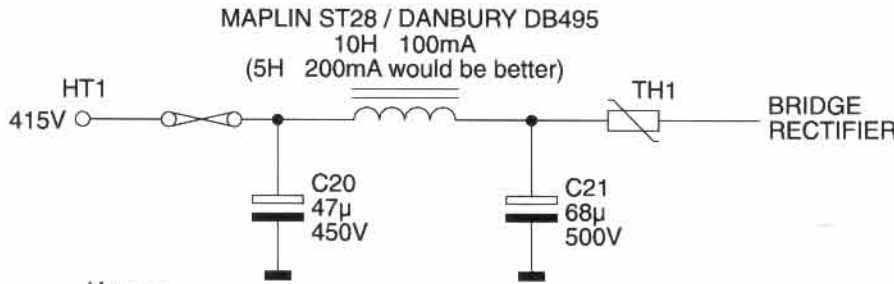
Transformatory wyjściowe

Transformatory wyjściowe są bardzo ważnymi częściami lampowych wzmacniaczy mocy i one właśnie wyznaczają ich charakterystykę częstotliwościową przy niskich częstotliwościach. Zalecany transformator nadaje się doskonale do opisanego wzmacniacza i przy cenie około 26GPB jest jednym z najtańszych. Można dostać lepsze transformatory, np. firmy Sow-

DANBURY ELECTRONICS DB425 TRANSFORMER
5-LAYER CONSTRUCTION OF OUTPUT TRANSFORMER



Rys. 19 Konstrukcja pięciosekcyjnego transformatora wyjściowego i oporności jego uzwojeń.



Uwaga:
R39 wymontować
TH1 włożyć w miejsce R39, dławik w miejsce TH1

Rys. 20 Dławikowy filtr zasilacza.

ter lub Audio Note, pozwalające osiągać większą moc w basach poniżej 40Hz, ale za co najmniej podwójną cenę.

Przyczyną wysokich cen transformatorów wyjściowych do wzmacniaczy lampowych są ich znacznie bardziej skomplikowane, niż w transformatorach sieciowych, uzwojenia. Muszą one charakteryzować się zminimalizowanymi pojemnościami i indukcyjnościami rozproszonymi, od czego zależy płaska charakterystyka częstotliwościowa.

Układ uzwojeń, zastosowany w użytym transformatorze, jest pokazany na rys. 19. Konfiguracja ta jest nazywana uzwojeniem pięciosekcyjnym, w którym uzwojenie pierwotne jest podzielone na trzy sekcje, a wtórne na dwie. W tańszych transformatorach wyjściowych stosuje się uzwojenie trójsekcyjne, których rezonans lokuje się w okolicy 25kHz, podczas gdy słumiony rezonans użytego transformatora mieści się w pobliżu 80kHz, sporo powyżej pasma audio. W niektórych bardzo drogich typach transformatorów stosuje się nawet do dziesięciu sekcji, ale powyżej pięciu korzyść z każdej dodatkowej sekcji szybko maleje.

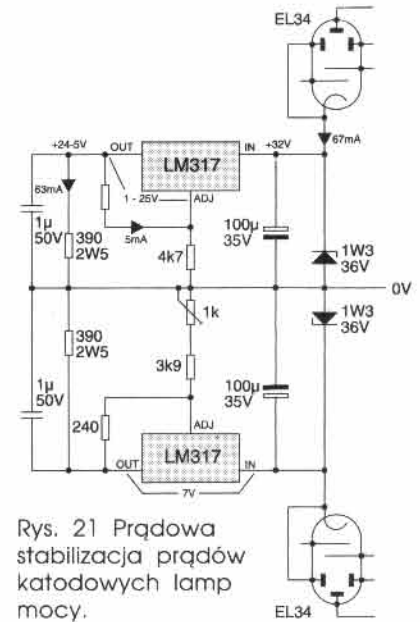
Filtr dławikowy

W celu dalszej redukcji przydźwięku sieci można spróbować stosowania filtra dławikowego. Dławik filtracyjny 10H do układów lampowych można dostać w sklepach Maplina (kod ST28F). Jest on w zasadzie przeznaczony do prądów do 100mA, ale nie jest to ograniczenie termiczne i z tego powodu można skierować przez niego całkowity prąd wzmacniacza, 140mA. Problemem jednak jest nasywanie się rdzenia, zmniejszające w pewnym stopniu indukcyjność dławika. Pomimo tego jednak filtracja jest znacznie lepsza niż w filtrze bez dławika. Schemat filtra dławikowego przedstawia rys. 20.

Stabilizacja prądu katodowego

Prądy anodowe obu lamp wyjściowych muszą być jednakowe, aby całkowicie wyeliminować przydźwięk i składową stałą strumienia magnetycznego w rdzeniu transformatora wyjściowego. Składowe zmienne sygnału obu lamp, w przeciwieństwie do składowych stałych, oczywiście nie kasują się, tylko dodają, ponieważ są w przeciwnej fazie.

Wynikiem różnicy w prądach lamp jest przydźwięk sieciowy 100Hz. Efekt ten można skorygować



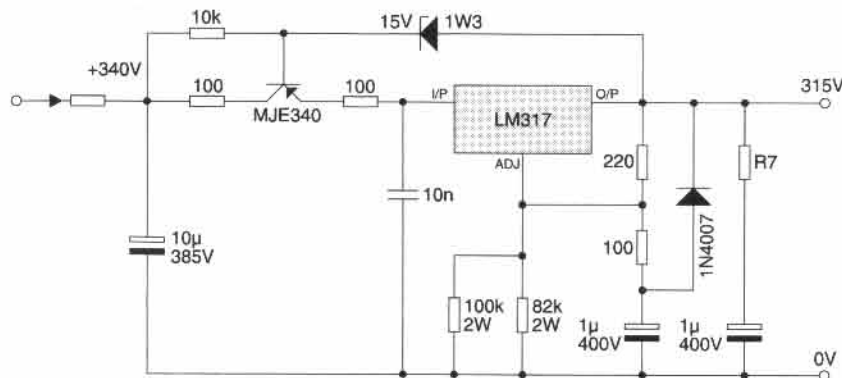
Rys. 21 Prądowa stabilizacja prądów katodowych lamp mocy.

za pomocą dobierania rezystorów katodowych, chociaż nie stanowi to problemu, ponieważ parametry lampy na ogół dotrzymują tolerancji.

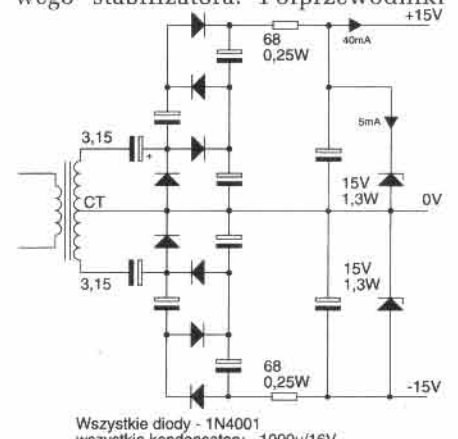
Prądy katodowe lamp można dokładnie ustalić i utrzymać przez cały czas ich użytkowania, jeżeli rezystory zastąpi się stabilizatorami prądu, które da się zmontować przy zastosowaniu zwykłych scalonych stabilizatorów napięcia. Regulacja jednego z napięć umożliwi regulację prądu, a zatem skasowanie przydźwięku. Odpowiedni układ jest pokazany na rys. 21. Trzeba zaznaczyć, że zwarcie lampy prowadzi do zniszczenia półprzewodników. Stabilizatory są chronione diodami Zenera przed zbyt dużym napięciem.

Półprzewodnikowe tłumienie tętnień

Do maksymalnego słumienia tętnień można użyć półprzewodnikowego stabilizatora. Półprzewodnikowy



Rys. 22 Proponowany układ półprzewodnikowego stabilizatora anodowego napięcia zasilającego.



Rys. 23 Zasilanie wzmacniaczy operacyjnych napięciem żarzenia

nie są jednak niezawodne w układach wysokonapięciowych i stabilizator pokazany na rys. 22 nie jest odporny na zwarcia. Jednakże stabilizowane napięcie zasilające jest korzystne dla lampowych przedwzmacniaczy.

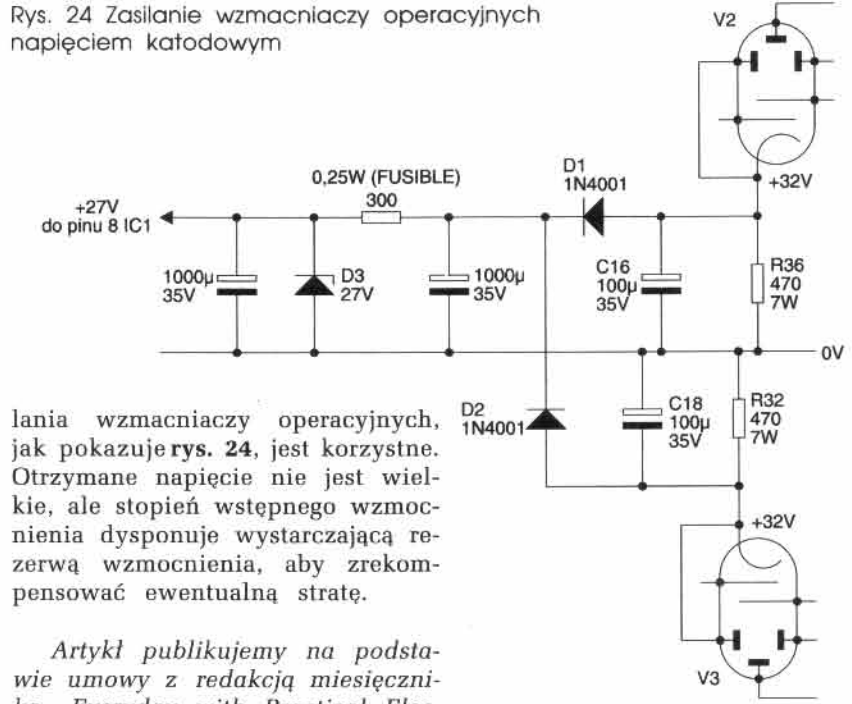
Zasilanie wzmacniaczy operacyjnych napięciem żarzenia

Pojedyncza dioda Zenera nadaje się do zasilania jednym napięciem paru wzmacniaczy operacyjnych. Jeżeli jednak potrzeby są większe, na przykład dla przedwzmacniacza, lepszym rozwiązaniem będzie użycie do tego celu napięcia żarzenia. Stosowny układ potrajacza napięcia, dostarczający dwóch symetrycznych napięć pokazuje rys. 23.

Zasilanie wzmacniaczy operacyjnych napięciem katodowym

Zmniejszenie strat mocy w rezystorach katodowych lamp mocy i przeznaczenie jej części do zasilania

Rys. 24 Zasilanie wzmacniaczy operacyjnych napięciem katodowym



lania wzmacniaczy operacyjnych, jak pokazuje rys. 24, jest korzystne. Otrzymane napięcie nie jest wielkie, ale stopień wstępnego wzmocnienia dysponuje wystarczającą rezerwą wzmocnienia, aby zrekomensować ewentualną stratę.

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