

kit
2772
AVT

Lampowy wzmacniacz gitarowy



Gitara akustyczna to wspaniały instrument. Chętnie używana przez wielu muzyków, spisa się doskonale dopóty, dopóki muzycy grają w niewielkim składzie. Na tle większego zespołu jej dźwięk jest zbyt cichy, zagłuszany przez trąbki, saksofon czy perkusję. By wzmocnić jej brzmienie, eksperymentowano z metalowymi obudowami, czy wreszcie, gdy w latach trzydziestych ub. w. pojawiły się wzmacniacze lampowe, próbowano wzmocnić jej dźwięk za pomocą mikrofonu. Niestety dawało to niezbyt zachęcające efekty ze względu na sprzężenia mikrofonu przy głośniejszym graniu. Przełom nastąpił w latach czterdziestych, gdy mikrofon zastąpiono prostym układem cewki nawiniętej wokół magnesu, która przetwarzała nie drgania pudła rezonansowego, lecz drgania metalowej struny wprost na sygnał elektryczny. Sygnał mógł być łatwo wzmocniony za pomocą wzmacniacza lampowego i głośników. Takie rozwiązanie upraszcza także budowę samej gitary,

bowiem do wytwarzania dźwięku nie potrzeba pudła rezonansowego, wystarczy zwyczajna deska. Jako pierwszy z takimi gitarami eksperymentował Les Paul, którego uważa się za wynalazcę gitary elektrycznej. W latach 50. ubiegłego wieku firma Gibson rozpoczęła produkcję takich gitar sygnowanych nazwiskiem Les Paul. Prawie równocześnie eksperymenty z gitarą elektryczną rozpoczął Leo Fender. Firmy Gibson i Fender na wiele lat zdominowały rynek gitar elektrycznych.

W latach sześćdziesiątych ub. w. pojawiły się zespoły rockowe, które do akompaniowania stosowały gitarę elektryczną. The Beatles, The Rolling Stones, The Kinks to chyba najbardziej znane z nich. Ale gitara elektryczna to nie tylko rock, to także blues, którego wymagania to mocny, soczysty dźwięk gitary. Aby zapewnić takie właśnie brzmienie gitary, potrzeba odpowiedniego wzmacniacza. To specyficzne zapotrzebowanie spowodowało karierę najsłynniejszych chyba wzmacniaczy gitarowych – wzmacniaczy Marshall.

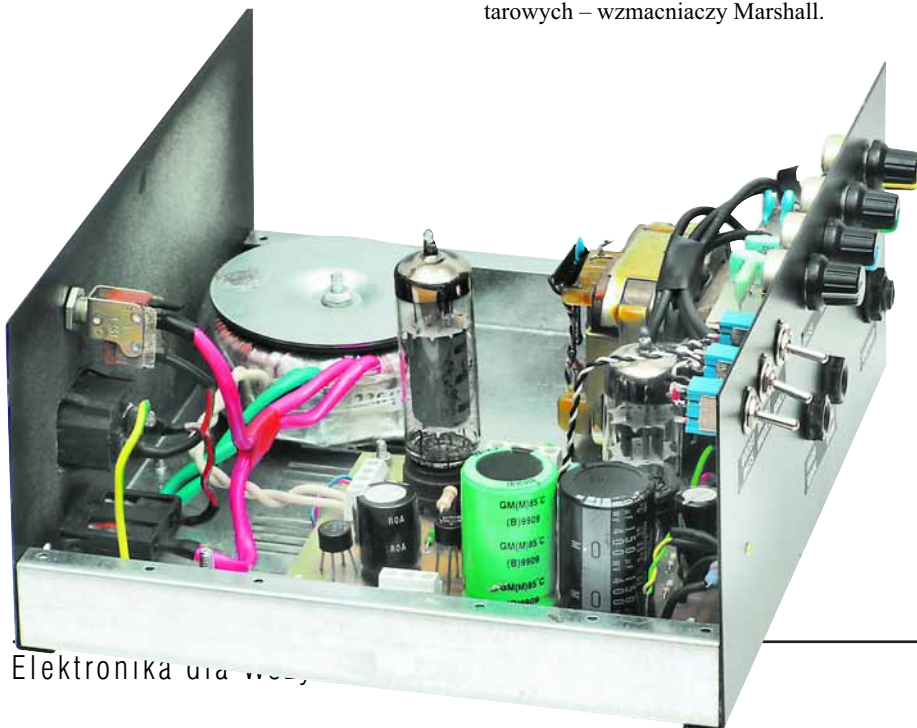
Anglik Jim Marshall, nauczyciel muzyki, na początku lat 60. XX wieku w swoim sklepie z instrumentami muzycznymi zajął się sprzedażą gitar „Fender” i „Gibson”. Za namową swoich kolegów muzyków zlecił zbudowanie wzmacniacza do gitary, który spełniałby ich wymagania. Tak więc pod koniec 1962 roku, powstał oparty na konstrukcji Leo Fendera - „Bassman”, legendarny dziś, 45-watowy wzmacniacz JTM-45.

Jim Marshall założył firmę Marshall Amplification, której produkty przebojem zdobyły rynek. Powstawały kolejne projekty wzmacniaczy, a świat muzyczny zaakceptował je bez zastrzeżeń. Wzmacniacze Marshalla bowiem grały czysto, mięsisto i do tego bardzo głośno. Można na nich było uzyskać znakomite efekty przesterowania, które do perfekcji wykorzystywali rockmani. Gitara, dotąd instrument „słabowity”, nabrała mocy i dźwięczała mocno na tle zespołu.

Drugim punktem zwrotnym w historii lampowców była wizyta w Anglii Jimi Hendriksa. Zachwycony brzmieniem wzmacniaczy Marshalla korzystał z nich do końca swojej krótkiej kariery wirtuoza gitary elektrycznej. Dzięki niemu i jego eksperymentom z brzmieniem, świat pokochał gitarę elektryczną i „piecyki” lampowe.

Mimo upływu lat Marshall nadal stanowi swoisty wzorzec gitarowego brzmienia, a produkty firmy cieszą się niesłabnącą popularnością.

Dziś wiele firm produkuje doskonałe wzmacniacze gitarowe, nie tylko lampowe, ale też oparte na elementach półprzewodnikowych. Każda firma ma w swojej ofercie kilka modeli różniących się nie tylko mocą czy konstrukcją, ale i charakterem brzmienia. Wiele z nich „wypromowało” własny charakter brzmienia, który doświadczeni muzycy rozpoznają bez problemu. Marshall, Fender, Dumble, Hiwatt, Vox, Gibson czy Mesa Engineering to



firmy legendy, mające własnych wiernych użytkowników i entuzjastów gitarowego brzmienia.

Mimo wszechwładnej elektroniki opartej na półprzewodnikach, wzmacniacze lampowe nie odeszły do lamusa, lecz nadal mają licznych wielbicieli, którzy za żadne skarby nie zamienią lampowego „piecyka”, na najdoskonalej nawet brzmiący wzmacniacz tranzystorowy.

Entuzjastom gitary elektrycznej chciałbym przedstawić prosty i tani lampowy wzmacniacz gitarowy. Posiada kilka regulatorów, dzięki którym można zmienić brzmienie. Wprawdzie niewielka moc, ok. 5W, nie pozwoli nagłośnić koncertu rockowego na stadionie, ale jest wystarczająca (aż nadto) do ćwiczeń w domu, czy nawet do nagłośnienia większego pomieszczenia.

Wzmacniacz ten budowany w dziesiątkach wersji, najbardziej znany jest pod nazwą „AX84”.

Opis układu

Schemat ideowy wzmacniacza pokazany został na **rysunku 1**.

Czym różnią się lampowe wzmacniacze gitarowe od lampowych wzmacniaczy Hi-Fi? Patrząc pobieżnie na schematy – niczym. Ale gdy analizujemy je dokładniej, widać różnice. Inaczej dobrane wartości elementów powodują, że wzmacniacz gitarowy zupełnie inaczej „obchodzi” się z podawanym sygnałem.

Wzmacniacz Hi-Fi z założenia powinien wzmacniać podawany sygnał z maksymalną wiernością, nie dodając nic - lub prawie nic - do wzmacnianego sygnału. Jednym słowem, powinien być całkowicie „przezroczysty”.

Wzmacniacz gitarowy natomiast, wręcz przeciwnie, jest „generatorem” olbrzymich zniekształceń dźwięku. Jest korektorem sygnału podanego przez gitarę na jego wejście, do maksimum wykorzystującym nieliniowość elementów wzmacniających – tranzystorów czy lamp.

Jedną z ważniejszych części wzmacniacza gitarowego jest przedwzmacniacz. Rozbudowany przedwzmacniacz ma wejścia o różnej czułości (Low Gain, High Gain), regulatory barwy dźwięku i głośności, dodatkowe prze-

łączniki wyrazistości (Bright, Brilliance), możliwość podłączenia i regulacji różnych efektów, jak pogłos sprężynowy czy tremolo. W przedwzmacniaczu właśnie zachodzi wstępne kształtowanie charakterystyki częstotliwości, wzbogacanie sygnału w dodatkowe przebiegi harmoniczne i kompresja sygnału. Także tworzenie „sustainu”, czyli pozornego podtrzymania dźwięku należy do zadań przedwzmacniacza.

Odpowiednio „wykreowany” w przedwzmacniaczu dźwięk podawany jest na wzmacniacz mocy, gdzie dodatkowo jeszcze jest zniekształcany (przesterowany) w transformatorze głośnikowym. I wszystko po to, aby uzyskać ten jeden, niepowtarzalny dźwięk gitary elektrycznej, który powinien mocno i wyraziście brzmieć na tle zespołu muzycznego.

Przedwzmacniacz

Przedwzmacniacz oparty jest na konstrukcjach J. Fendera z kanałem typu „Clean” (czysty). W przedwzmacniaczu pracuje jedna, podwójna trioda, ECC83 lub ECC81. Ich odpowiednikami są amerykańskie 12AX7 lub 12AT7.

Posiada dwa wejścia („Low gain, High gain”) o różnej czułości, prosty, trzypunktowy regulator barwy dźwięku (Treble, Middle, Bass) oraz regulator głośności (Volume). Za pomocą przełącznika W1 szybko „podbijamy” bas, natomiast przełącznik W2 wzbogaca tony średnie. Wyłącznikiem W3 włączamy wyrazistość dźwięku (Brilliance).

Regulatory są zmontowane na oddzielnej płytce, co na schemacie zaznaczone jest kolorem szarym.

Wzmacniacz mocy

Po wstępnym wzmocnieniu i korekcji, sygnał przez kondensator C11 podawany jest na siatkę pierwszą pentody mocy. Jest nią EL84, popularna i łatwo dostępna pentoda średniej mocy. Jej często tańszym odpowiednikiem jest rosyjska lampa 6P14P. Pentoda pracuje w klasie A, a jej obciążeniem jest transformator głośnikowy, którego wyjście zasilą kolumnę głośnikową.

Ważną rzeczą jest, aby odpowiednio ustalić prąd katodowy pentody. Jego wartość powin-

na być jak największa, ale taka, by nie przekroczyć mocy strat na anodzie lampy - dla EL 84 jest to 12W. Wartość prądu katodowego dla określonej lampy zależy od dwóch parametrów: napięcia zasilającego lampy i od ujemnego napięcia na siatce S1. Jeżeli napięcie zasilające nie zmienia się, to wartość prądu katodowego ustalamy za pomocą zmiany ujemnego napięcia na siatce S1. Jak uzyskać napięcie ujemne na siatce? Dość prosto. Siatkę można zasilac z dodatkowej baterii lub lepiej z dodatkowego uzwojenia transformatora sieciowego i prostownika. Jeszcze prostszym sposobem jest zastosowanie tzw. automatycznego przedbiegania siatki (autobias, cathode bias), czyli po prostu zastosowanie odpowiedniej wartości rezystora w obwodzie katody lampy (na schemacie R18 i R19) i połączenie siatki S1 z masą za pomocą rezystora o dużej wartości (na schemacie R16 i R17). Jest to układ powszechnie stosowany.

W naszym przypadku wartość ujemnego napięcia siatki będzie zależała od sumy wartości rezystorów R18 i R19. Im mniejsza wartość tych rezystorów, tym większy będzie spadek napięcia na nich, czyli jednocześnie niższe napięcie siatki względem katody.

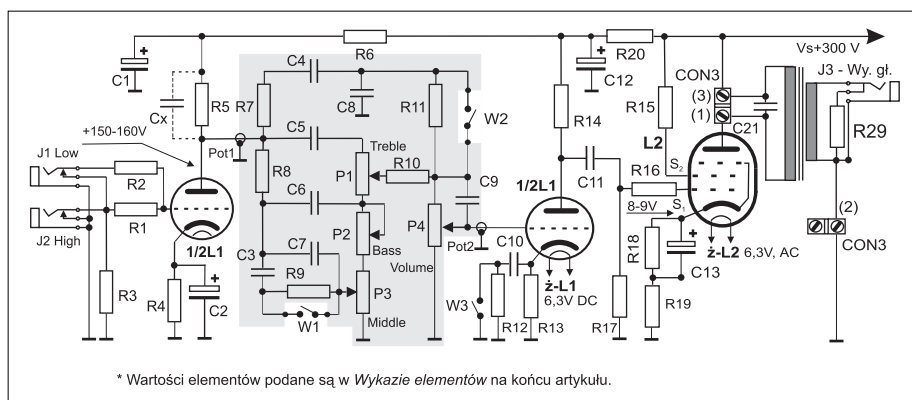
Ponieważ lampy mogą być zasilane różnymi napięciami, należy zawsze ustalić prąd katodowy tak, by jego wartość nie spowodowała przekroczenia dopuszczalnej mocy strat. Liczymy to wg wzoru $P=U \cdot I$, gdzie I to prąd katodowy, a U to spadek napięcia na lampie, mierzony pomiędzy nóżkami 3 i 7 pentody EL84. Na przykład przy napięciu 250V na anodzie lampy (nóżka 7) prąd płynący przez katodę lampy nie powinien przekraczać 53,5mA. Ponieważ prąd katodowy jest sumą dwóch prądów, anodowego i siatki drugiej (S2), prąd płynący przez anodę nie powinien przekraczać 48mA, a przez siatkę S2 – 5,5mA (stąd te 53,5mA płynące przez katodę). Wartość prądu siatki S2 ustalamy za pomocą rezystora R15.

Przy innych napięciach zasilania prądy powinny być proporcjonalnie mniejsze lub większe.

Typowe wartości napięć zasilających, prądów katodowych i anodowych można znaleźć w katalogach lamp, np. na stronie <http://www.mif.pg.gda.pl/homepages/frank/index.html>.

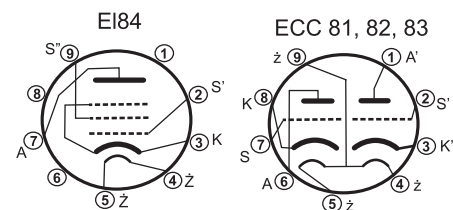
We wzmacniaczach gitarowych lampy pracują z reguły na maksimum swoich możliwości, stąd należy liczyć się z krótszym okresem

Rys. 1 Schemat ideowy



* Wartości elementów podane są w Wykazie elementów na końcu artykułu.

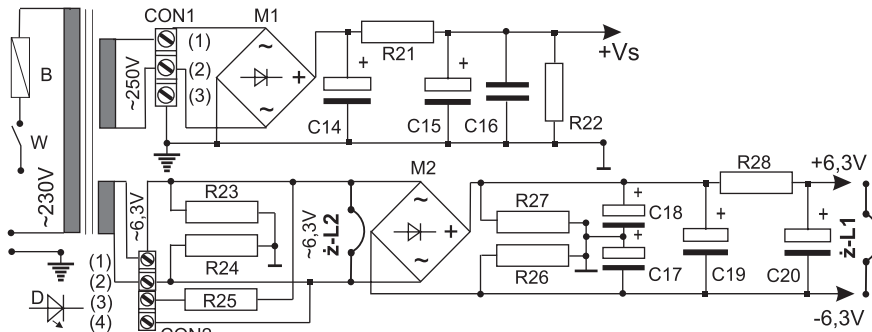
Rys. 2



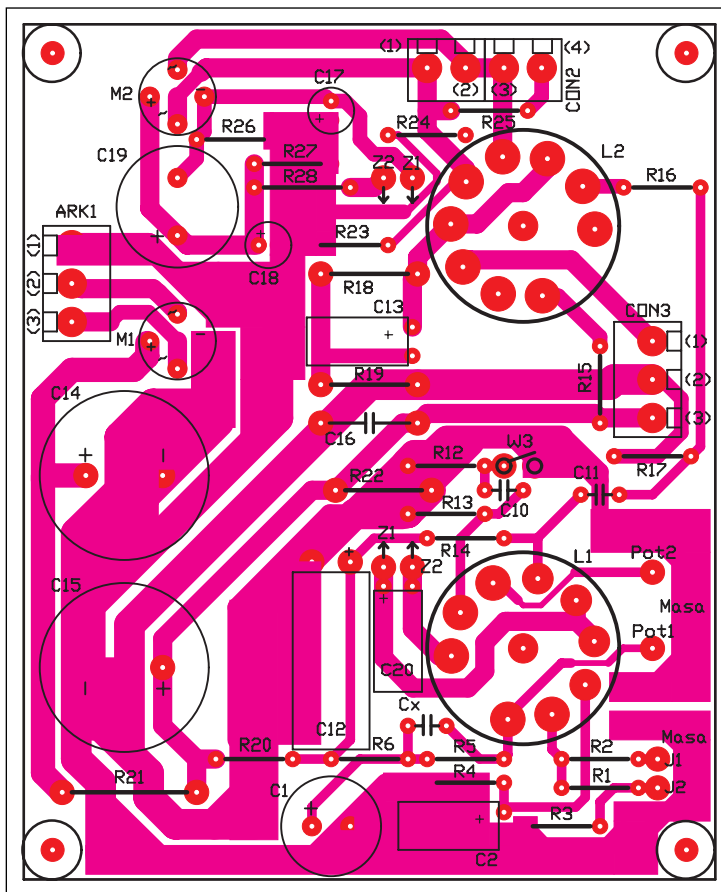
ich użytkowania. Dla zmniejszenia prawdopodobieństwa uszkodzenia lamp mocy można zmniejszyć nieco ich prądy katodowe.

Wyprowadzenia lamp pokazane zostały na rysunku 2.

Rys. 3

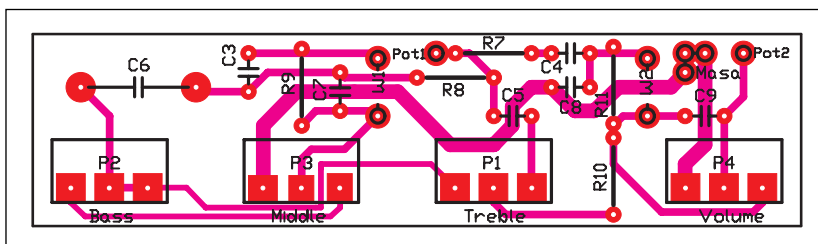


* Wartości elementów podane są w Wykazie elementów na końcu artykułu.



Rys. 4 Schemat montażowy

Rys. 5 Schemat montażowy



Transformator głośnikowy

W układzie modelowym zastosowany został popularny, łatwo dostępny 5-watowy transformator głośnikowy ze starego telewizora lampowego - TG 5-46-666. Można stosować też TG5-38-666, TG5-53-666. Także popularne TG2,5-1-666, TG2,5-2-666, TG2,5-47-666

o nieco mniejszej mocy (2,5W) mogą być wykorzystane. Ze względu na mniejszą moc, rdzeń szybciej się nasycy, więc i barwa dźwięku może być nieco inna. Można wypróbować oba typy transformatorów i wybrać bardziej odpowiadający.

Bezpośrednio do końcówek w transformatorze głośnikowym przyłutowany jest kondensator C20 o wartości 470pF-1 nF. Ze względu na wysokie napięcie samoindukcji powinien mieć wysokie napięcie pracy (1000V lub więcej). W transformatorach TG5 - 46 i 53 wyjścia 3 i 4 to uzwojenie anodowe, 5 i 6 jest wyjściem głośnikowym, natomiast 7 i 8 służą do zasilania słuchawek. Nieco inaczej jest w przypadku TG2,5-1-666 - wyjścia 1 i 4 to uzwojenie anodowe, natomiast głośniki zasilamy z wyjść 3-5.

Wszystkie transformatory mają wyjście o impedancji 5Ω, w zasadzie więc można nimi zasilac kolumny tak 4Ω, jak i 8Ω.

Ale uwaga, wzmacniacz gitarowy pracuje z reguły ma maksymalnym wzmocnieniu, generując spore zniekształcenia i dużą amplitudę sygnału. Dlatego podłączenie „domowych” kolumn Hi-Fi kończy się zwykle uszkodzeniem głośników. Proponuję użycie profesjonalnych kolumn głośnikowych, przeznaczonych do gitary elektrycznej, lub stosowanie takich głośników, które nie wywołają bankructwa domowego budżetu w przypadku ich uszkodzenia, a także zalecam grę z rozsądną głośnością.

Można w jednej obudowie ze wzmacniaczem zainstalować szerokopasmowy, pojedynczy głośnik, dzięki czemu będziemy mieli zgrabny zestaw typu „Combo”.

Zasilanie

Na rysunku 3 zaprezentowany został schemat ideowy zasilacza. Jak widać, zasilacz jest typowy. Transformator zasilający o mocy 40-50VA, powinien dawać napięcie anodowe 230-250V/0,07A i napięcie żarzenia 6,3V/1,2A. Można go nawinąć samemu lub zamówić u producenta. Wiele zakładów produkuje transformatory na dowolne napięcia, często bez dopłaty w stosunku do standardowej oferty, z wysyłką do klienta. Szczegóły należy uzgadniać telefonicznie lub e-mailem.

Także w wielu sklepach z częściami elektronicznymi można zamówić transformator o dowolnych parametrach.

Listę producentów transformatorów można znaleźć na stronie <http://audiokatalog.republika.pl/producenci-kompon.htm>.

Napięcie anodowe prostowane jest za pomocą mostka prostowniczego M1. Kondensatory C14-C16 i rezystor R29 tworzą filtr, rezystor R22 rozładowuje kondensatory wysokonapięciowe po wyłączeniu zasilania.

Trochę bardziej skomplikowany jest układ żarzenia. Pentoda mocy żarzona jest prądem przemiennym 6,3V, symetryzowanym do masy za pomocą rezystorów R23, R24.

Niestety, w pierwotnym modelu zasilanie lampy przedwzmacniacza prądem zmiennym powodowało zakłócenia słyszalne w postaci trzeszczenia w głośnikach, widoczne na ekranie oscyloskopu w postaci szpilek o częstotliwości 100Hz. Środkiem zaradczym na to stało się żarzenie lampy prądem stałym. Stąd w układzie żarzenia drugi mostek prostowniczy (M2), rezystory symetryzujące (R27, R28) i kondensatory filtru (C17, C18, C19).

Zwróć uwagę na sposób lutowania kondensatora C17 - w tym wypadku plusem do masy!

Rezystor R28 (ułamek oma do kilku omów, 2W) służy do ewentualnego obniżenia napięcia do wymaganych $6,3V \pm 5\%$. Jeśli napięcie wyprostowane mieści się w granicach tolerancji, rezystor R28 i kondensator C19 nie będą potrzebne. R28 wtedy zastępujemy zworą.

Rezystor R25 i zaciski (3), (4) złącza CON 2 służą do zasilania diody elektroluminescencyjnej, sygnalizującej pracę wzmacniacza. Można zmienić nieco wartość tego rezystora, by odpowiednio wyregulować jasność świecenia diody.

Montaż i uruchomienie

Wzmacniacz zbudowany został na dwóch płytkach drukowanych. Na głównej (rysunek 4), z lampami, mieści się także prostownik i filtr zasilacza.

Na drugiej (rysunek 5) przylutowane są potencjometry i układ regulacji barwy dźwięku. Potencjometry przylutowane są do płytki tak, by można było je przykręcić do obudowy wzmacniacza.

Obudowa

Obudowa powinna być metalowa, podłączona do masy i uziemiona. Jej wysokość powinna wynosić nie mniej niż 10cm tak, aby lampy zmieściły się wewnątrz. Można kupić gotową obudowę z blachy np. o wymiarach 190x170 x100 mm lub wykonać ją samodzielnie. Zalecam użycie większej obudowy niż podana, można wtedy łatwiej rozplanować montaż elementów (większa odległość od zakłócającego transformatora zasilającego), poprawi się także chłodzenie.

Gdy planujemy umieścić wzmacniacz w obudowie głośnika (Combo), musimy zaplanować coś w rodzaju „chassis”, do którego przymocujemy transformatory zasilający i głośnikowy oraz płytkę z lampami.

Ponieważ lampy wydzielają spore ilości ciepła, pamiętajmy o prawidłowej wentylacji.

Montaż

Wzmacniacz ma duże wzmocnienie, dlatego by w głośnikach nie były słyszalne zakłócenia, brum sieciowy czy nadmierne szумы, bardzo ważną rolę odgrywa prawidłowy montaż. Transformator zasilający wytwarza wokół siebie pole magnetyczne, które wpływa na pracę znajdujących się elementów. Dotyczy to szczególnie transformatora głośnikowego,

w którym może indukować się napięcie o częstotliwości 50Hz słyszalne potem w głośniku. Dlatego należy go odsunąć od transformatora zasilającego i ustawić tak, by wzajemne oddziaływanie było jak najmniejsze. Montując elementy na płytce głównej, należy pamiętać o połączeniu skrętką punktów Z1-Z1 i Z2-Z2.

Prowadzenie masy

Prawidłowe prowadzenie masy jest jedną z najważniejszych umiejętności konstruktora. Źle prowadzone obwody masy powodują, że w głośnikach słychać przydźwięk sieciowy i jego harmoniczne, znacznie zwiększają się szумы i inne zakłócenia, wzmacniacz staje się niestabilny, może się nawet wzbudzać. Nie pomagają wtedy żadne dodatkowe kondensatory w filtrze zasilacza, cudowne kabelki czy tp. wynalazki.

Podam kilka wskazówek, które pomogą Wam prawidłowo dokonać połączenia.

Wszelkie przewody, w których płyną słabe sygnały, prowadzimy kablami ekranowanymi, lecz ekran w miarę możliwości powinien być uziemiony jednostronnie. Masy (np. między dwoma płytkami) łączymy oddzielnymi przewodami.

Wyłączniki W1, W2, W3 łączymy z płytką za pomocą skrętki, chociaż lepszym rozwiązaniem jest użycie podwójnego przewodu z ekranem (jak to jest np. w kablu mikrofonowym), który uziemiamy jednostronnie. By nie tworzyć pętli masy gniazda wejściowe i wyjściowe (tutaj typu „jack”) powinny być odizolowane od metalowej obudowy. Należy więc kupić gniazda z obudową plastikową, a nie metalową.

Z kolei obudowy potencjometrów powinny mieć elektryczny kontakt z metalową obudową. Jeżeli obudowa składa się z kilku skręcanych ze sobą części, należy zapewnić pomiędzy tymi elementami elektryczny kontakt, np., ścierając farbę w miejscu skręcania śrubami.

Kable od transformatora głośnikowego do wyjścia głośnikowego J3 mogą być prowadzone w formie skrętki, czyli pary mocno skręconych przewodów. W skrętce indukujące się zakłócenia znoszą się wzajemnie. Także w formie skrętki powinny być prowadzone kable zasilające napięcie anodowe i żarzenia. Tutaj z kolei, zakłócenia powodowane przez przewody są mniejsze.

Kable, w których płyną duże prądy, powinny być oddalone od kabli słaboprądowych i innych czułych elementów wzmacniacza.

Sprężenie zwrotne

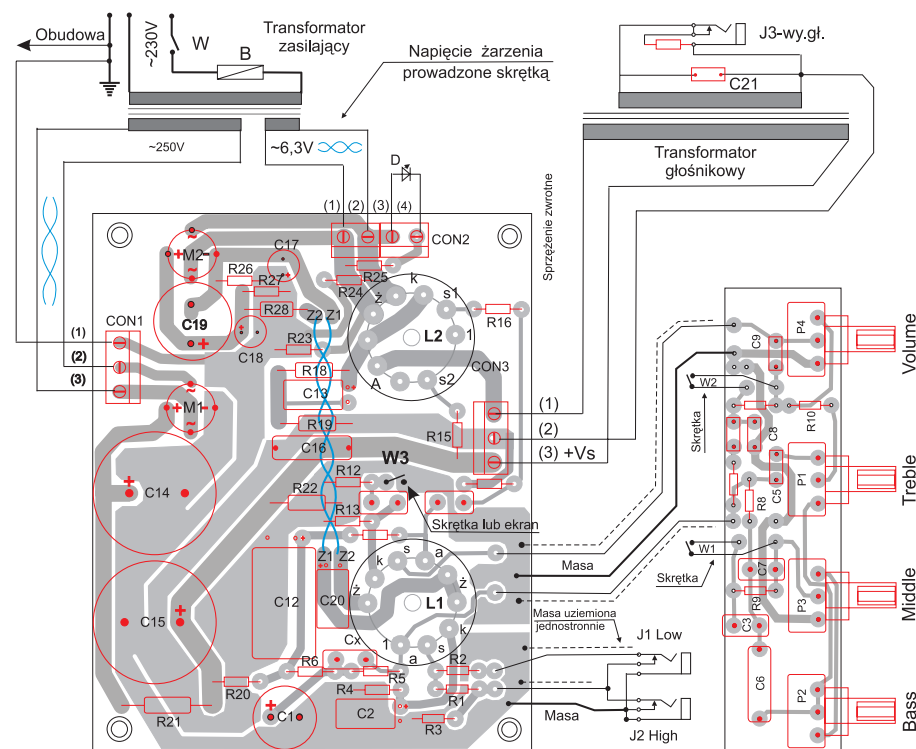
Sprężenie zwrotne jest niewielkie i obejmuje tylko jeden stopień – wzmacniacz mocy. Powstaje ono na rezystorze R19 i jest zależne od jego wartości – im większa wartość R19, tym większy stopień sprężenia. Ale ponieważ suma wartości rezystorów R18 i R19 musi być niezmienna, to jeśli zwiększamy wartość R19 o odpowiednią wartość, musimy zmniejszyć R18.

Jedno z wyjść transformatora głośnikowego uziemiamy, zgodnie z rysunkiem 6.

Możliwe modyfikacje

Każdy gitarzysta chciałby dopasować brzmienie gitary do własnych potrzeb i wyobrażeń. Stąd firmy produkujące zarówno gitary elek-

Rys. 6



tryczne, jak i wzmacniacze, oferują wiele modeli, które oprócz tego, że mają duże możliwości regulacji, to często różnią się charakterem brzmienia. Także ten prosty wzmacniacz ma możliwość dalszego „upgrade’u”, dzięki któremu uzyskamy nieco inny charakter brzmienia.

W przedwzmacniaczu może pracować podwójna trioda ECC83 lub ECC81. Ze względu na różne charakterystyki, lampy te będą się nieco różniły brzmieniem, warto więc kupić obie i wybrać bardziej nam odpowiadającą opcję. Lampa ECC81 ma mniejsze wzmocnienie, wzmacniacz będzie więc grał nieco ciszej.

O zastosowaniu różnych transformatorów głośnikowych wspominałem wyżej.

Pewnej korekty brzmienia można dokonać lutując – lub nie – kondensator Cx. Kondensator Cx bocznikuje rezystor anodowy R5, ograniczając wzmocnienie wyższych częstotliwości. Należy go dobrać doświadczalnie. Użyteczny zakres wartości to 100pF – 1nF/250V. Dla wygody należy przylutować do płytki drukowanej kołki montażowe (odcinki drutu) i dopiero do nich lutować kolejno kondensatory o różnych wartościach, tak by uzyskać oczekiwane brzmienie.

Znaczną możliwość modyfikacji uzyskamy zmieniając wartości rezystora katodowego R4 i kondensatora C2. Zwiększając wartość rezys-

tora R4 np. do wartości 2,7kΩ i zmniejszając znacznie pojemność kondensatora C2 do 470nF – 1μF osłabiamy wzmocnienie układu, szczególnie w zakresie niższych częstotliwości, otrzymując dźwięk nieco przybrudzony (Crunch, Lead).



Bezpieczeństwo

We wzmacniaczu lampowym występują wysokie napięcia. Dlatego podczas projektowania i budowy urządzenia musimy zachować pewne procedury, które zapewnią bezpieczeństwo nie tylko podczas prób i testów, ale i w czasie jego późniejszego użytkowania.

Największe zagrożenie niesie obwód zasilania prądem sieciowym. Dlatego przewody zasilające, transformator, gniazda, wyłączniki itp. powinny być dobrej jakości, dostosowane do pracy przy napięciu 230V (dobrze, gdy

mają znak CE). Miejsca połączeń powinny być dokładnie izolowane. Najlepiej, jeśli zasilanie sieciowe tworzy oddzielny, odpowiednio izolowany obwód, oddalony od pozostałych elementów układu.

Montaż i wszelkie przeróbki wykonujemy ZAWSZE po wyjęciu wtyczki z gniazdka sieciowego.

Dotknięcie urządzenia pod wysokim napięciem nie jest groźne pod jednym warunkiem - nie będzie przepływu prądu. Stąd doświadczeni elektrycy tak pracują z urządzeniami pod napięciem, by ciało nie tworzyło obwodu zamkniętego. Jednym słowem, pracują „z jedną ręką w kieszeni”.

Przed uruchomieniem urządzenia należy sprawdzić prawidłowość lutowania kondensatorów elektrolitycznych (plus do plusa, minus do minusa). Odwrotne wlutowanie kończy się najczęściej wybuchem kondensatora. Zwróć uwagę na sposób lutowania kondensatora C17 - w tym wypadku plusem do masy!

Urządzeń nieprzetestowanych w dłuższym okresie nie należy pozostawiać włączonych bez opieki.

Metalowa obudowa urządzenia powinna być uziemiona, kabel zasilający i gniazdko sieciowe powinny mieć sprawny obwód uziemienia.

Bądź ostrożny! Zawsze pracuj uważnie i z wyobraźnią. We wzmacniaczu występują wysokie napięcia. Wszelkich regulacji dokonuj przy wyłączonym zasilaniu i po rozładowaniu kondensatorów wysokonapięciowych. Lampy i niektóre rezystory rozgrzewają się do wysokiej temperatury. Łatwo o poparzenie. Osoby niepełnoletnie i niedoświadczone mogą wykonać opisany układ wyłącznie pod opieką wykwalifikowanych opiekunów (nauczycieli).

Wykaz elementów

Przedwzmacniacz

R1,R2	68kΩ
R3,R7,R9	1MΩ
R4,R16	1kΩ
R5,R14	100kΩ
R6	10kΩ
R8	82kΩ
R10	220kΩ
R11	3,3MΩ
R12	47kΩ
R13	4,7kΩ
R15	1k-2kΩ
R17	470kΩ
R18	180-200Ω/0,5-1W
R19	25-30Ω/0,5W
(suma wartości rezystorów R18 i R19 wpływa na wartość prądu katodowego lampy L2)	
R20	10kΩ (dobrac tak, by uzyskać odpowiednie napięcie)
R29	5-8Ω/3-5W
P1	220kΩ
P2	470kΩ/log (opcjonalnie 220kΩ)
P3	22kΩ (opcjonalnie 10kΩ)
P4	470k-1MΩ/log
C1,C12	22μF/400V
C2	22μF/25V
C3	33nF/250V
C4	470pF/250V
C5	250pF/250V
C6	100nF/250V
C7	22nF/250V
C8	470pF/250V
C9	220pF/63V
C10	47nF/63V

C11	22nF/250V
C13	100μF/25V
C21	470pF-1nF/1kV
L1	ECC83 lub 81
J1-J3	gniazda typu „duży jack” mono
W1-W3	wyłącznik

Zasilacz

M1,M2	mostek prostowniczy 1,5A/600V
Transformator sieciowy	230V/250V – 0,05A, 6,3V-1A
R21	200-500W/2-3W (dobrac tak, by otrzymać odpowiednie napięcie anodowe)
R22	250kΩ/0,5W
R23,R24	100Ω
R25	800Ω-1,5kΩ (dobrac tak, by dioda odpowiednio jasno świeciła – max 20mA prądu)
R26,R27	150Ω
R28	ułamek Ω (lub zwora); dobrac tak, by napięcie żarzenia wynosiło 6,3V ±5%.
C14	220μF/400V
C15	100μF/400V
C16	100nF/400V
C17,C18	50μF/16V
C19	4700μF/16V
C20	100μF/16V (niekonieczny, gdy nie stosuje się R28)
D	LED
TG	transformator głośnikowy typu TG5- 46-666, TG5-53-666 lub TG2,5-666
Złącza CON	do druku, np. typu CZM.
B	Bezpiecznik w oprawie, 250V/0,5A
W	wyłącznik 250V/1A
Gniazdo sieciowe typu IEC, z bezpiecznikiem.	
Typowa obudowa blaszana o wym. 190x170x100 mm lub wg własnego pomysłu. Zalecana większa.	

Płytką drukowaną jest dostępna w sieci handlowej AVT jako kit szkolny AVT-2772.

Stanisław Chrząszcz