



Lampowy wzmacniacz stereofoniczny

**AVT
5327**

Single ended, bez globalnej pętli sprzężenia zwrotnego

Wzmacniacze lampowe cieszą się ogromną popularnością. Opisana w artykule konstrukcja jest specyficznym, a jednocześnie najbardziej purystycznym przedstawicielem gatunku. We wzmacniaczu wykorzystano tylko triody, zarówno w stopniach napięciowych jak i w końcówce mocy. Wzmacniacz nie ma globalnej pętli sprzężenia zwrotnego, a rozwiązaniami zastosowanymi w torze audio przypomina konstrukcje z lat trzydziestych ubiegłego stulecia.

Rekomendacje: łatwy w budowie wzmacniacz lampowy, który pomimo prostoty konstrukcji ma dźwięk najwyższej jakości pozwalając cieszyć się „lampowym brzmieniem” muzyki.

We wzmacniaczu zastosowano po dwie lampy na kanał. W stopniu wzmocnienia napięciowego pracuje popularna, podwójna trioda małej mocy 6H8C, a w stopniu mocy bezpośrednio żarzona trioda 6C4C. Zastosowane lampy są rosyjskimi odpowiednikami lamp amerykańskich 6C4C jest odpowiednikiem 6B4G (ewentualnie 6A3, która jest ma te same parametry, ale inny cokol) oraz 6H8C – 6SN7. Wygląd lamp oraz rozmieszczenie ich wyprowadzeń lamp pokazano na rysunku 1.

Taka obsada lamp umożliwia wykonanie niezbyt skomplikowanego elektrycznie wzmacniacza o mocy około 2,5 W pracującego w układzie SE tj. z pojedynczym elementem wzmacniającym (niestety, skrót SE nie doczekał się sensownego polskiego tłumaczenia).

Konstrukcyjnie wzmacniacz podzielono na dwa bloki: wzmacniacza wstępnego, którego zadaniem jest wzmocnienie sygnału audio do poziomu wymaganego do wystrojenia lamp mocy oraz zasilacza. Schemat

AVT-5327 w ofercie AVT:
AVT-5327A – płytka drukowana

Podstawowe informacje:

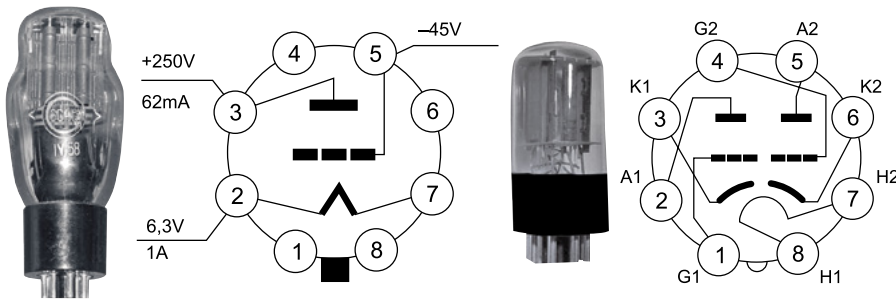
- Konstrukcja wyłącznie na triodach, bez globalnej pętli sprzężenia zwrotnego.
- Niewielka liczba komponentów, łatwa konstrukcja wzorowana na wzmacniaczach z lat 30.
- Zasilacz z komponentów półprzewodnikowych.
- Elementy montowane na chassis, płytkach zasilacza i wzmacniacza.
- Zasilanie 230 V AC/100 VA.
- Moc wyjściowa ok. 2×2,5 W/8 Ω.

Dodatkowe materiały na CD/FTP:

- <ftp://ep.com.pl>, user: 15031, pass: 40nep417
- wzory płytek PCB
 - karty katalogowe i noty aplikacyjne elementów oznaczonych w Wykazie elementów kolorem czerwonym

Projekty pokrewne na CD/FTP:

- (wymienione artykuły są w całości dostępne na CD)
- AVT-5289 Stereofoniczny wzmacniacz lampowy 2×10W dla każdego (EP 5/2011)
 - AVT-5267 Lampowy potencjometr siły głosu (EP 12/2010)
 - AVT-5254 Wzmacniacz lampowy dla każdego (EP 09/2010)
 - AVT-5142 Wzmacniacz lampowy dla nielampowców (EP 8-9/2008)
 - AVT-2754 Stereofoniczny wzmacniacz lampowy (EdW 6-7/2005)
 - AVT-455 Wzmacniacz lampowy z PCL86 (EP 2/2005)
 - AVT-2772 Lampowy wzmacniacz gitarowy (EdW 1/2005)

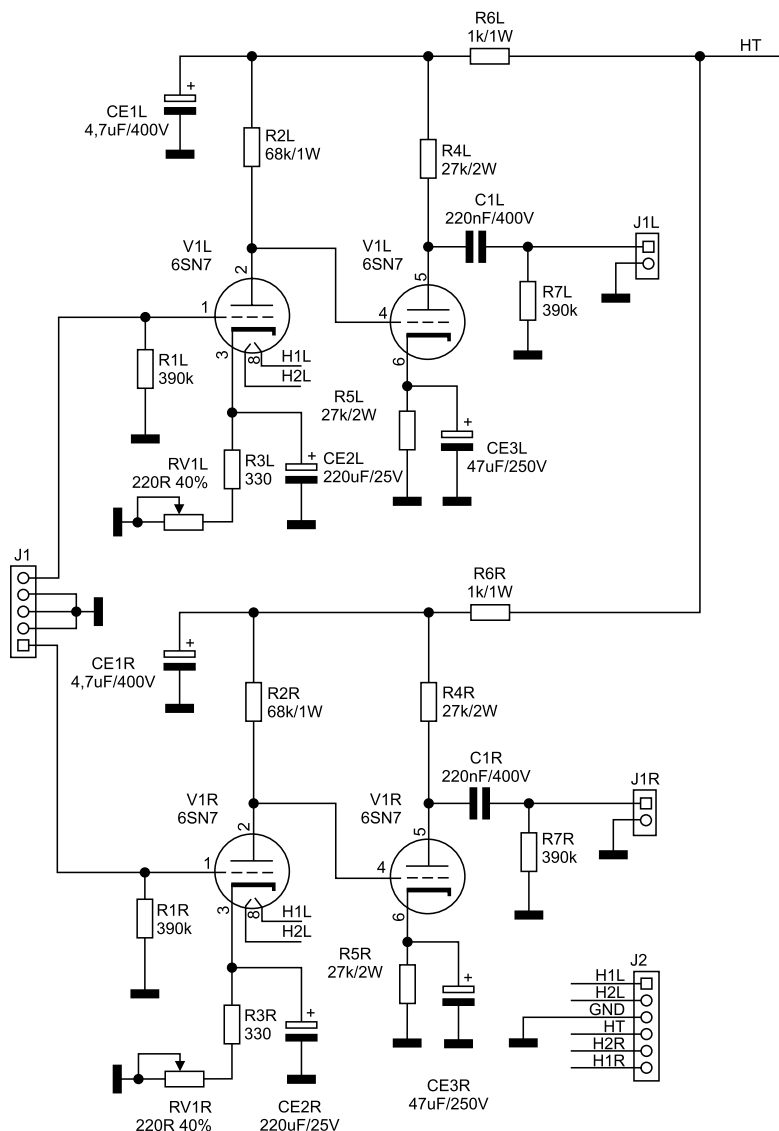


Rysunek 1. Lampy 6C4C i 6H8C oraz rozmieszczenie ich wyprowadzeń

ideoowy wzmacniacza wstępnego zamieszczono na **rysunku 2**. Elementy kanału lewego mają oznaczenia zakończone literą L, natomiast kanału prawego literą R. Elementy wspólne obu kanałów nie mają dodatkowych oznaczeń.

Sygnał wejściowy z gniazda CON1/2, poprzez przełącznik wejść S1, jest doprowadzony do potencjometru regulacji głośności RV1L/R, a stąd do płytki złącza J1 wzmacniacza wstępnego. Dalej, bez kondensatora separującego składową stałą (praktycznie wszystkie urządzenia mają separację, więc nie ma sensu jej powielać) na siatkę sterującą

triody V1L. Pracuje ona w układzie polaryzacji automatycznej, do wytworzenia ujemnego napięcia na siatce sterującej jest wykorzystywany spadek napięcia, który wywołuje przepływ prądu anodowego przez rezystor katodowy R3L+RV1L. Aby uzyskać jak największe wzmocnienie stopnia dla składowej zmiennej, zestaw R3L+RV1L jest zbocznikowany kondensatorem elektrolitycznym CE2L. Powoduje to zmniejszenie lokalnego sprzężenia zwrotnego, jakie powstaje po zastosowaniu rezystora katodowego. Rezystor R6L z kondensatorem CE1L zapewnia dodatkową filtrację zasilania stopni wzmac-



Rysunek 2. Schemat ideowy wzmacniacza wstępnego

niających. Wzmocniony w pierwszym stopniu sygnał wysterowuje drugą triodę lampy V1L pracującej w identycznym układzie. Z drugiego stopnia, poprzez kondensator separujący C1L, jest sterowana jest lampa końcowa V2L. W obwód anody lampy V2L jest włączony transformator głośnikowy dopasowujący wysoką impedancję obciążenia z jaką pracuje lampa, do niskiej impedancji współczesnych głośników. W modelu jest to transformator $R_a=2,5 \text{ k}\Omega/R_{obc}=8 \Omega$, ale nic nie stoi na przeszkodzie, aby zamówić inny transformator dopasowany do posiadanych głośników. Można też wykorzystać dowolny inny transformator o $R_a=2,5\text{-}3 \text{ k}\Omega$.

Paradoksem układów lampowych bywa, to że sam wzmacniacz ma prostą topologię, w przeciwieństwie do układów zasilania. Szczególnie jest to widoczne we wzmacniaczach SE, gdzie jest konieczne dostarczenie napięcia anodowego o minimalnym poziomie przydzźwięku, a przy braku sprzężenia zwrotnego zmniejszającego poziom zakłóceń, wymagania są jeszcze wyższe.

W klasycznych układach z ubiegłego stulecia problem odpowiedniej filtracji rozwiązywano stosowaniem wielostopniowych układów filtracji LC opartych o kondensatory elektrolityczne o dostępnej wtedy pojemności rzędu 10...47 μF oraz dławików o indukcyjności kilku-kilkudziesięciu Henry'ów. Dławik pomimo prostej konstrukcji jest elementem kłopotliwym w użyciu, nie tylko ze względu na koszt i wymiary, ale przede wszystkim na generowane pole rozproszenia, które może indukować się w transformatorach wyjściowych powodując słyszalny przydzźwięk sieciowy. Uniknięcie wpływu rozproszonego pola wymaga stosowania ekranów magnetycznych lub oddalania i odpowiedniego rozmieszczenia elementów indukcyjnych. **Współcześnie z bardzo dobrym skutkiem, dławik może zostać wyeliminowany przez układ aktywnej filtracji zasilania oparty o tranzystor MOSFET.**

Drugim źródłem problemów jest obwód żarzenia. W modelu zastosowano lampę 6C4C, która jest żarzona bezpośrednio, tzn. katodą jest w niej skrętka grzejna. Taki spo-

REKLAMA

WWW.STM32.EU

Mikrokontrolery

STM32

Aplikacje i ćwiczenia w języku C

nowa książka
Wydawnictwa BTC
www.stm32.eu



sób żarzenia wymaga dobrego symetryzowanego przemiennego źródła żarzenia, aby przydźwięk przenikający z grzejnika nie stał się sygnałem użytecznym. Konieczne jest stosowanie potencjometrów symetryzujących o sporej mocy (dzisiaj trudnodostępne) i każdorazowa regulacja poziomu przydźwięku po wymianie lamp mocy. Taki sposób żarzenia praktycznie sprawdza się przy zastosowaniu lamp 2A3, które są odpowiednikami 6C4C, ale o napięciu żarzenia 2,5 V i prądzie żarzenia 2,5 A. W wypadku 6C4C żarzonej z 6,3 V/1 A po wielu próbach praktycznych można stwierdzić, że znacznie łatwiej uniknąć przydźwięku, gdy zasila się grzejnik odfiltrowanym napięciem stałym. Można wtedy także zrezygnować z regulowanej symetryzacji zastępując ją stałym dzielnikiem rezystorowym. Schemat zasilacza przedstawia **rysunek 3**.

Jak wspomniano, napięcia żarzenia lamp są prostowane przez diody Schotky'ego D1x...D4x, filtrowane przez CE2x oraz symetryzowane przez rezystory R1x/R2x. Duża pojemność kondensatora CE2 oprócz poprawy filtracji zapewnia łagodne narastanie napięcia żarzenia eliminując rozbłyski grzejnika podczas załączania. Rezystor R3x wraz z kondensatorem CE1x stanowi obwód polaryzacji automatycznej lampy mocy. Warto zadbać, aby CE1x nie był elementem „przypadkowym” z niepewnego źródła, gdyż ma on bezpośredni wpływ na jakość wzmacniacza. Polecam kondensatory renomowanych firm, najlepiej w wykonaniu klimatycznym 105°C, gdyż w konstrukcjach lampowych przeważnie utrzymuje się wysoka temperatura. Rezystor R3x ze względu na traconą na nim moc wymaga dodatkowego chłodzenia i jest umieszczony na wspólnym radiatorze z tranzystorem Q1. Ze względu na polaryzację automatyczną konieczne było odseparowanie obwodów żarzenia lamp dla każdego kanału.

Zasilacz napięcia anodowego jest wspólny i składa się z mostka prostowniczego na szybkich diodach D1...D4 typu UF4007, kondensatorów filtrujących CE1/CE2 oraz obwodu filtracji aktywnej z tranzystorem Q1 typu STW18NK80Z. Kondensator CE3 zapewnia łagodny start zasilacza anodowego eliminując konieczność opóźnianego załączania napięcia anodowego. Ze względu na wydzielane ciepło tranzystor Q1 jest montowany na radiatorze.

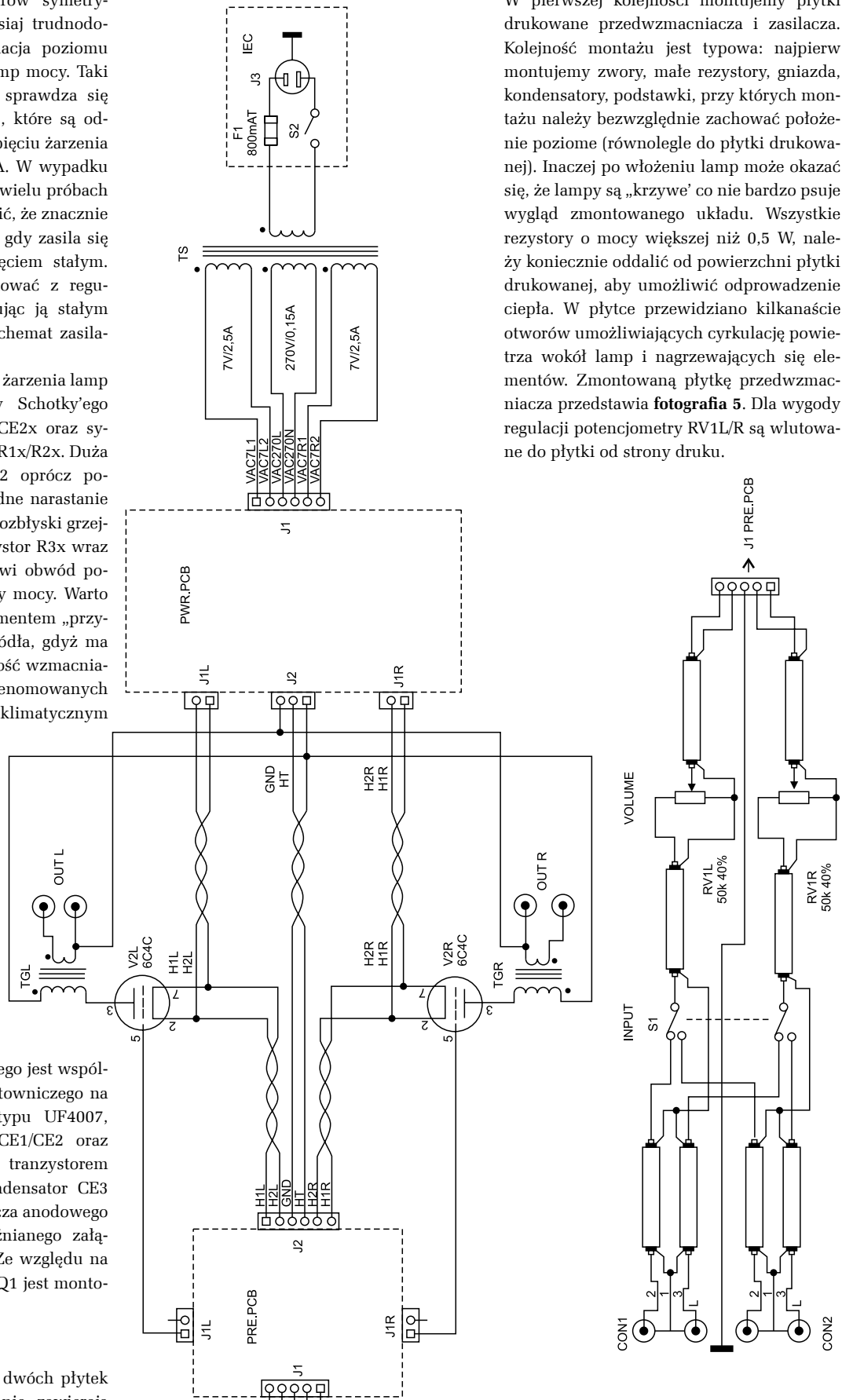
Montaż wzmacniacza

Wzmacniacz składa się z dwóch płytek drukowanych, które jednak nie zawierają wszystkich jego elementów. Ze względu

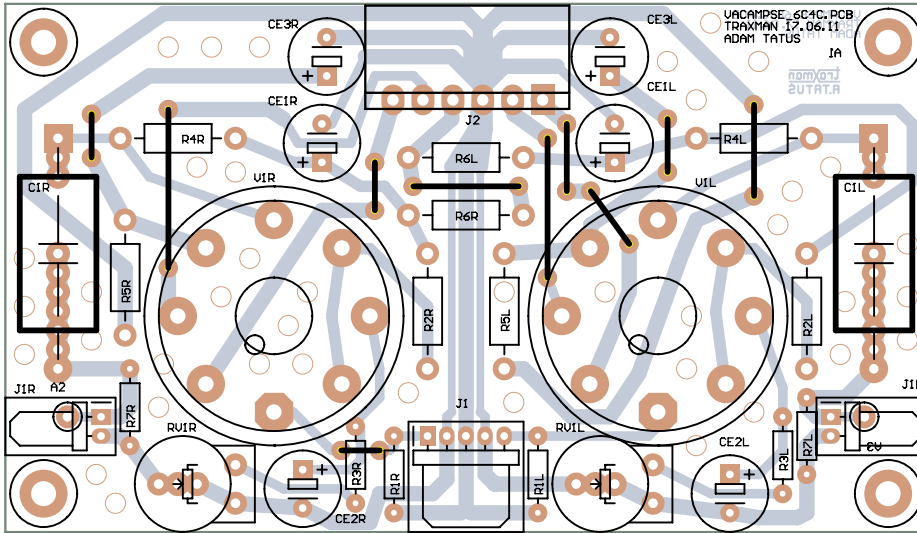
mechanicznych oraz z uwagi na wysokie temperatury lamp, elementy, takie jak: transformatory głośnikowe, transformator zasilający, podstawki lamp, lampy i gniazda

połączeniowe montowane są poza płytkami drukowanymi. Schemat montażowy pokazano na **rysunku 4**.

Montaż należy podzielić na dwa etapy. W pierwszej kolejności montujemy płytki drukowane przedwzmacniacza i zasilacza. Kolejność montażu jest typowa: najpierw montujemy zwory, małe rezystory, gniazda, kondensatory, podstawki, przy których montażu należy bezwzględnie zachować położenie poziome (równoległe do płytki drukowanej). Inaczej po włożeniu lamp może okazać się, że lampy są „krzywe” co nie bardzo psuje wygląd zmontowanego układu. Wszystkie rezystory o mocy większej niż 0,5 W, należy koniecznie oddalić od powierzchni płytki drukowanej, aby umożliwić odprowadzenie ciepła. W płytce przewidziano kilkanaście otworów umożliwiających cyrkulację powietrza wokół lamp i nagrzewających się elementów. Zmontowaną płytkę przedwzmacniacza przedstawia **fotografia 5**. Dla wygody regulacji potencjometry RV1L/R są wlotowane do płytki od strony druku.



Rysunek 3. Schemat montażowy wzmacniacza



Rysunek 4. Schemat montażowy przedwzmacniacza

Po kontroli wizualnej montażu i upewnieniu się, że nie ma zwarców oraz prawidłowym rozmieszczeniu elementów można przystąpić do montażu płytki zasilacza. Jego schemat montażowy pokazano na **rysunku 6**. Tutaj podobnie: montujemy wszystkie elementy „niskie”, później złącza i diody prostownicze MBR ze zwróceniem uwagi, aby nie stykały się wkładkami radiatorowymi. Do płytki na tym etapie nie montujemy tranzystora Q1 i rezystorów R3R/R3L. Jesz-

cze raz dokładnie sprawdzamy jakość montażu. W układach lampowych istnieje duże prawdopodobieństwo, że przy zwarcu lub innym błędzie montażowym, ze względu na wysokie napięcia i prądy, straty będą spore (tzn. kosztowne). Zmontowaną wstępnie płytkę zasilacza pokazano na **fotografii 7**.

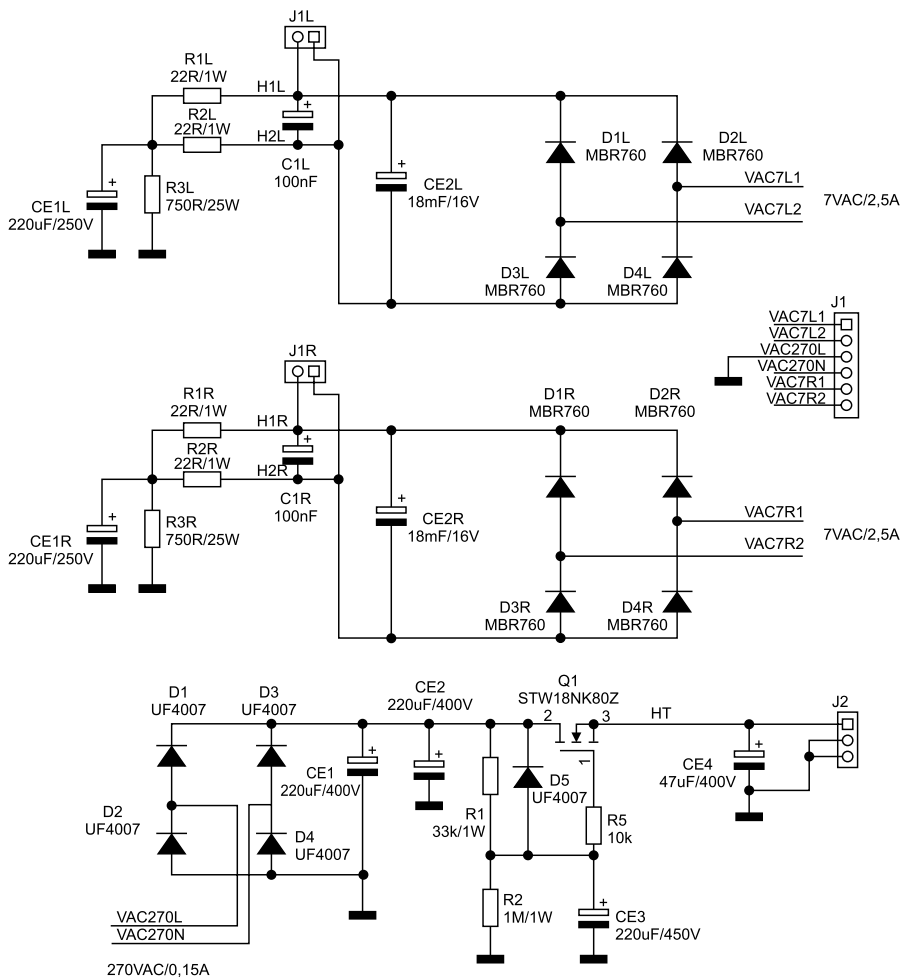
Drugim etapem montażu jest przygotowanie obudowy i rozmieszczenie w niej wszystkich elementów. W modelu obudowa składa się z dwóch blach górnej pełniące

rolę płyty montażowej, na której spoczywają wszystkie elementy wzmacniacza oraz dolnej – osłonowej, zakrywającej obwody elektryczne wzmacniacza. Obie blachy wspierają się na ramce wykonanej z płyty MDF/HDF i oklejonej naturalnym forniem. Propozycję wykonania płyty montażowej pokazano na **rysunku 8**.

Blacha osłonowa jest ma te same wymiary, jednak wykonano w niej jedynie otwory wentylacyjne w okolicy lamp i zasilacza. Uwaga: w zależności od posiadanych transformatorów, osłon i gniazd lamp konieczne może okazać się wykonanie korekt otworowania. Po wykonaniu otworów blachę należy zabezpieczyć antykorozyjnie najlepiej przez malowanie proszkowe.

Jeżeli blacha jest gotowa należy przystąpić do montażu końcowego. W pierwszej kolejności montujemy na 5 mm dystansach M4 podstawki lamp „kluczem” w kierunku frontu obudowy. Następnie montujemy słupki dystansowe M3 o długości 20 mm w miejscu otworów mocujących płytkę przedwzmacniacza. Kolejno montujemy słupki dystansowe M3 o długości 10 mm w miejscu otworów mocujących płytkę zasilacza,

montujemy gniazda, potencjometr i przełącznik wejść. Do połączenia ekranów wykorzystałem małą łączówkę, co ułatwia „opanowanie” sytuacji. Teraz montujemy transformatory głośnikowe, śrubę M5×60 mocującą transformator zasilający. Przykręcamy go (od strony transformatorów głośnikowych) nie zapominając o gumowej podkładce pod toroid i metalowej płytce pod nakrętkę. Przewody uzwojeń wtórnych przewlekamy pod spód wzmacniacza i zaciskamy we wtyku KK396_6PIN zgodnie ze schematem. Na przewodach uzwojenia pierwotnego zaciskamy konektory 6,3 mm oraz przygotowujemy osłonę transformatora z wyciętym otworem pod zespolone gniazdo IEC. Do przewodu ochronnego transformatora dolutowujemy 20 cm odcinek przewodu ochronnego w żółto-zielonej izolacji, który przeprowadzamy pod obudowę mocując go do blachy obudowy. Montujemy osłonę w skorygowanych do jej rozmiarów otwo-



Rysunek 5. Schemat ideowy zasilacza

REKLAMA

WWW.STM32.EU

Internetowy



klub STM32



**Wykaz elementów
Wzmacniacz**

Rezystory:

R1L, R1R, R7L, R7R: 390 kΩ (R0.4, metalizowany)
 R2L, R2R: 68 kΩ/1 W (R0.6, metalizowany)
 R3L, R3R: 330 Ω (R0.4, metalizowany)
 R4L, R4R, R5L, R5R: 27 kΩ/2 W (R0.6, metalizowany)
 R6L, R6R: 1 kΩ/1 W (R0.6, metalizowany)
 RV1L, RV1R: 220 Ω (potencjometr montażowy, poziomy)

Kondensatory:

C1L, C1R: 220 nF/400 V (CSCR300x100; MKSE, MKP lub podobny)
 CE1L, CE1R: 4,7 μF/400 V
 CE2L, CE2R: 220 μF/25 V
 CE3L, CE3R: 47 μF/250 V

Inne:

J1: Złącze KK 254 poziome, kompletne
 J2: Złącze KK 396 poziome, kompletne
 J1L, J1R: Złącze KK 254 poziome, kompletne
 V1L, V1R: Lampa 6SN7/6H8C z podstawką do druku

Zasilacz

Rezystory:

R1: 33 kΩ/1 W (R0.5, metalizowany)
 R2: 1 MΩ/1 W (R0.5, metalizowany)
 R5: 10 kΩ (R0.4, metalizowany)
 R1L, R1R, R2L, R2R: 22 Ω/1 W (R0.6, metalizowany)
 R3L, R3R: 750 Ω/25 W (TO-220R, Caddock MP930 1%)

Kondensatory:

C1L, C1R: 100 nF (SMD 1206)
 CE1, CE2: 220 μF/400 V (kondensator elektrolityczny SNAPIN 30 mm, 105°C)
 CE3: 220 μF/450 V (kondensator elektrolityczny SNAPIN 30 mm, 105°C)
 CE4: 47 μF/400 V (kondensator elektrolityczny SNAPIN 20 mm, 105°C)
 CE1L, CE1R: 220 μF/250 V (kondensator elektrolityczny SNAPIN 20 mm, 105°C)
 CE2L, CE2R: 18 mF/16 V (kondensator elektrolityczny SNAPIN 30 mm, 105°C)

Półprzewodniki:

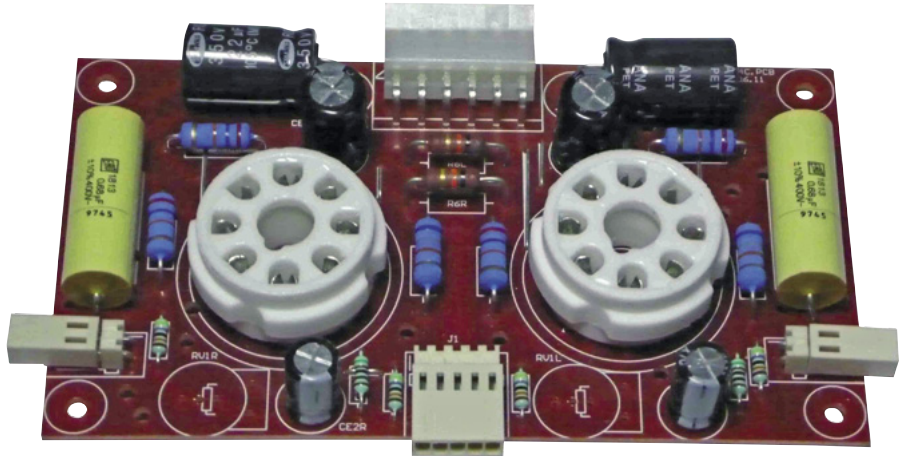
D1...D5: UF4007
 D1L...D4L, D1R...D4R: MBR760 (TO-220)
 Q1: STW18NK80Z (TO-247)

Inne:

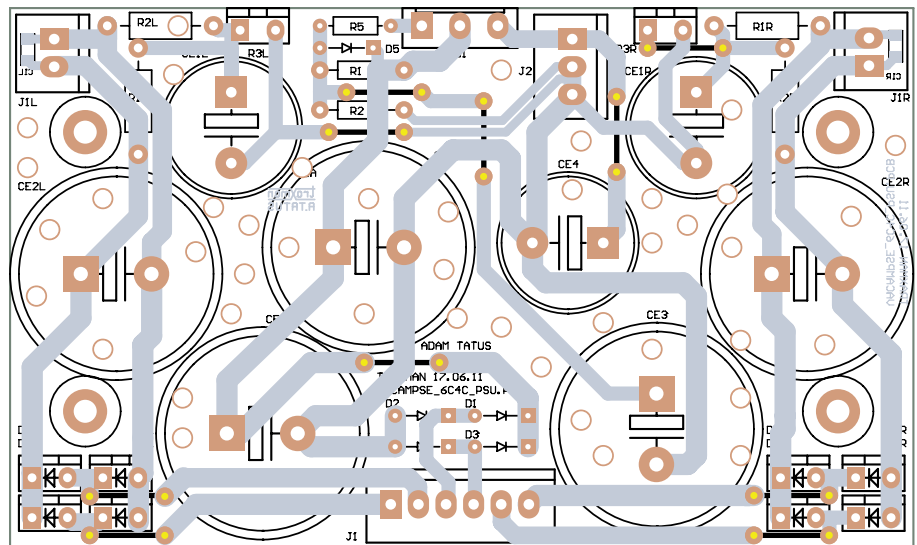
J1: Złącze KK 396 pionowe, kompletne
 J2: Złącze KK 396 pionowe, kompletne
 J1L, J1R: Złącze KK 396 pionowe, kompletne

Pozostałe: (montowane poza płytkami)

IEC: Gniazdo IEC zespolone z wyłącznikiem i oprawą bezpiecznika
 V2L/R: Lampy 6C4C z podstawkami octal do obudowy
 CON1/R: Gniazda RCA komplet
 S1: Przełącznik dwupozycyjny, dwusekcyjny, dźwignikowy
 RV1L/R: Potencjometr stereofoniczny 2×50 kΩ (logarytmiczny)
 Gniazda głośnikowe (komplet)
 TGL/TGR: Transformator głośnikowy (Ra=2,5/3 kΩ, Roc zależnie od wymagań, Pwy 5 W, Ia=60 mA)
 TS: Transformator sieciowy toroidalny (100 VA; 2×7 V/2,5 A; 270 V/0,15 A; wersja audio)



Fotografia 5. Zmontowana płytka przedwzmacniacza

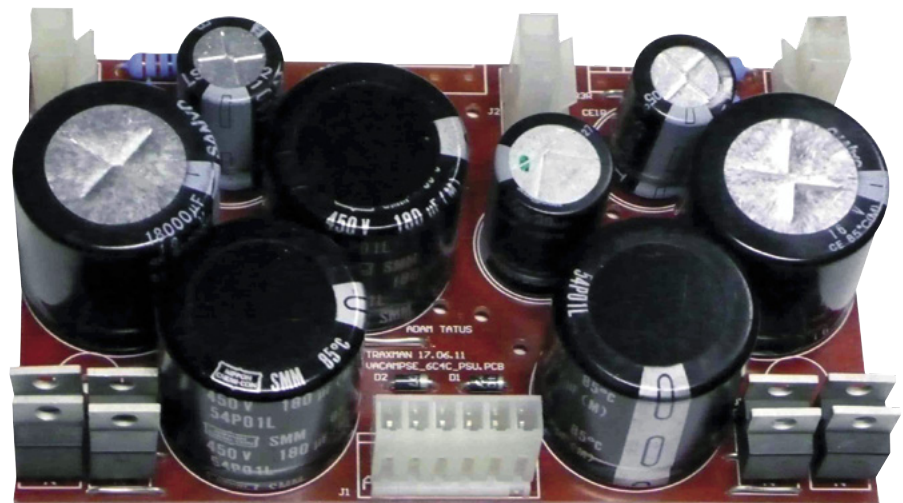


Rysunek 6. Schemat montażowy zasilacza

rach, okablowujemy gniazdo IEC zgodnie ze schematem i ze zwróceniem uwagi na niezawodne połączenia przewodów ochronnych z wyprowadzeniem gniazda IEC.

Przygotowujemy kawałek kątownika aluminiowego o wymiarach 20 mm×40 mm×2 mm. Będzie on pełnił funkcję radiatora. Do jego mocowania do obudowy wykorzystujemy otwory i śruby

transformatorów głośnikowych. Po zamontowaniu go w obudowie i dopasowaniu do otworów osłony transformatora montujemy wstępnie płytkę zasilacza i trasujemy otwory mocujące pod rezystory R3L/R3R i tranzystor Q1. Po wykonaniu otworów w kątowniku, wlotujemy rezystory R3L/R i tranzystor Q1, przymierzamy i korygujemy ich położenie unikając niepotrzebnych



Fotografia 7. Wstępnie zmontowana płytka zasilacza

Na CD: karty katalogowe i noty aplikacyjne elementów oznaczonych w wykazie elementów kolorem czerwonym

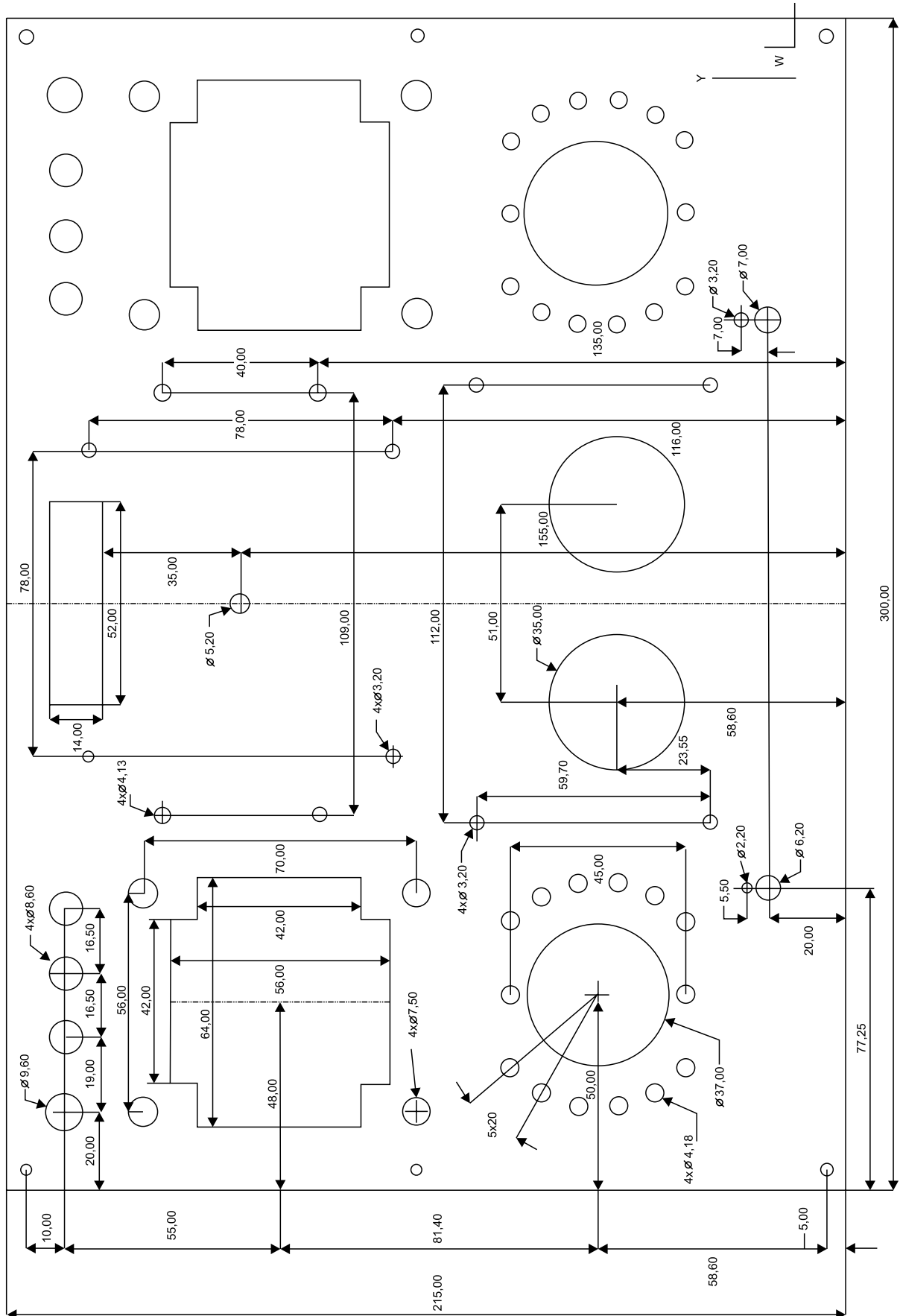


naprężeń. Przed montażem płytki zasilacza, pokrywamy powierzchnie styku komponentów z radiatorem pastą termoprzewodzącą a pod tranzystor Q1 dodatkowo stosujemy podkładkę izolacyjną.

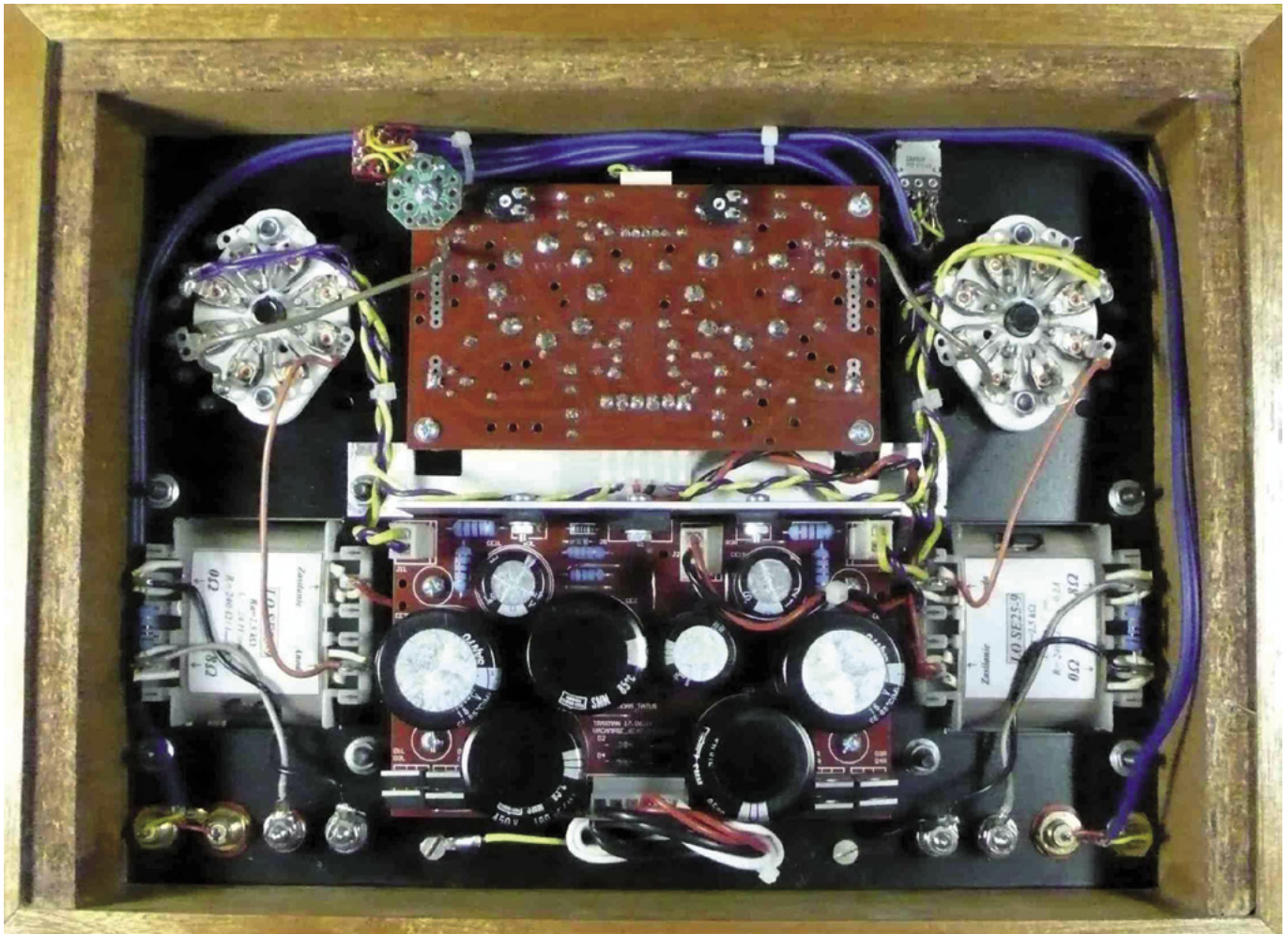
Montujemy płytkę przedwzmacniacza i wykonujemy okablowanie zgodnie z rys. 4. pamiętając o odpowiedniej izolacji przewodów napięcia anodowego i przekroju przewodów żarzenia, przewody sygnałowe

muszą być ekranowane, przewody żarzenia muszą być skręcone w celu minimalizacji pola rozproszenia.

Zmontowany, przygotowany do uruchomienia wzmacniacz pokazano na **fotografii 9**.



Rysunek 8. Otworowanie blachy montażowej



Fotografia 9. Zmontowany, przygotowany do uruchomienia wzmacniacz

UWAGA: we wzmacniaczu występują wysokie niebezpieczne dla życia napięcia oraz wysoka temperatura, dlatego uruchamianie należy przeprowadzić z zachowaniem szczególnej ostrożności.

Uruchomienie

Poprawnie zmontowany wzmacniacz w zasadzie nie wymaga uruchamiania. Przed pierwszym włączeniem, potencjometry regulacji głośności ustawiamy w położeniu środkowym i nie wkładamy lamp w podstawki. Jeżeli dysponujemy autotransformatorem, to warto użyć go podczas uruchamiania stopniowo zwiększając napięcie zasilania aż do wartości znamionowej. We wzmacniaczu powinno występować napięcie żarzenia o wartości ok. 7 V DC mierzone bezpośrednio pomiędzy doprowadzeniami 2 i 7 podstawek

lamp mocy oraz napięcie anodowe o wartości 300...320 V DC mierzone na wyprowadzeniach transformatorów głośnikowych względem masy. Jeżeli nic nie budzi naszych wątpliwości, możemy wzmacniacz wyłączyć i odczekać do zaniku napięć zasilających.

Przed montażem lamp w podstawkach warto sprawdzić ich sprawność i dobrać w pary, aby nie powstały rozbieżności pomiędzy kanałami. Różnice emisji i nachyleń charakterystyk nie powinny przekraczać 5%.

Podłączamy sztuczne obciążenie 8 Ω/5 W do wyjść wzmacniacza, ustawiamy potencjometr głośności na minimum. Ponownie złączamy wzmacniacz z zainstalowanymi lampami i sprawdzamy obecność napięć żarzenia (6,3 V DC ±10%), anodowego 290...320 V DC oraz napięć na katodach V2L/R względem masy (powinny one

zawierać się w przedziale 45 V ±10%). Po ok. 30-minutowym rozgrzaniu wzmacniacza ponownie sprawdzamy napięcia. Jeżeli wszystko jest w porządku, możemy wzmacniacz uznać za uruchomiony. Jeżeli mamy analizator zniekształceń lub kartę muzyczną PC z odpowiednim oprogramowaniem, możemy potencjometrami w RV1L/R ustawić najniższy poziom zniekształceń nieliniowych. Można również spróbować ocenić poziom zniekształceń za pomocą oscyloskopu, chociaż raczej jest to metoda zgrubna i może jedynie służyć do oceny poprawności kształtu sygnału wyjściowego. Teraz pozostaje już tylko dołączyć wzmacniacz do docelowego zestawu audio i cieszyć się „brzmieniem lampowym”.

**Adam Tatuś
status@op.pl**

REKLAMA

AVT513 Zegar z dwukanałowym termometrem

AVT513 B
Zestaw do samodzielnego montażu
CENA: 88,00 PLN

AVT513 F
Panel czołowy
CENA: 12,00 PLN

www.sklep.avt.pl

AVT513 C
Zestaw zmontowany i uruchomiony
CENA: 140,00 PLN