

Triodowy wzmacniacz akustyczny (monoblok)

Prezentowany w tym artykule wzmacniacz lampowy jest zbudowany dość nietypowo – na triodach pracujących w stopniu końcowym. Mimo pewnych wad takiego rozwiązania prawdziwi miłośnicy muzyki docenią jednak z pewnością jego zalety.

Rekomendacje: prezentowany układ jest przeznaczony dla przynajmniej średniozaawansowanych amatorów posiadających znajomość podstaw techniki lampowej oraz odpowiednie zaplecze techniczne (oscyloskop, multimetr).



Trwająca od kilku lat moda na wzmacniacze akustyczne wysokiej jakości wykonywane w technice lampowej, skłoniła mnie do podjęcia tego bardzo interesującego tematu. Opublikowane kilka lat temu w EP opisy wzmacniaczy lampowych dotyczyły rozwiązań bazujących na stopniach końcowych wyposażonych w pentody EL34, należące do bardziej popularnych lamp stosowanych w akustyce.

Opisany w niniejszym artykule wzmacniacz oparty jest wyłącznie o triody – lampy historycznie rzecz biorąc najstarsze – posiadające szereg wad ale też i zalet szczególnie cennych z punktu widzenia jakości dźwięku. Wzmacniacze triodowe są szczególnie cenione przez „audiofilii” ze względu na piękne „ciepłe” brzmienie i bardzo głęboki bas.

Przystępując do projektowania wzmacniacza przyjąłem założenia, że będzie to wzmacniacz triodowy typu „monoblok” z przeciwobnym stopniem końcowym dostarczającym do obciążenia moc około 20 W RMS, o prostej konstrukcji, wykonanej z łatwo dostępnych materiałów i zapewniającej dobre parametry techniczne przy zachowaniu dobrej powtarzalności w amatorskich warunkach.

Prezentowany wzmacniacz może występować jako samodzielny zespół, może też służyć jako element zestawu akustycznego stereo lub wielokanałowego – oczywiście należy wtedy wykonać odpowiednią ilość wzmacniaczy w zależności od potrzeb.

Bardzo istotnym argumentem przemawiającym za samodzielnym wykonaniem wzmacniacza jest jego cena; proponowane urządzenie jest kilkukrotnie tańsze od podobnych wykonanych fabrycznie.

Opis budowy i działania

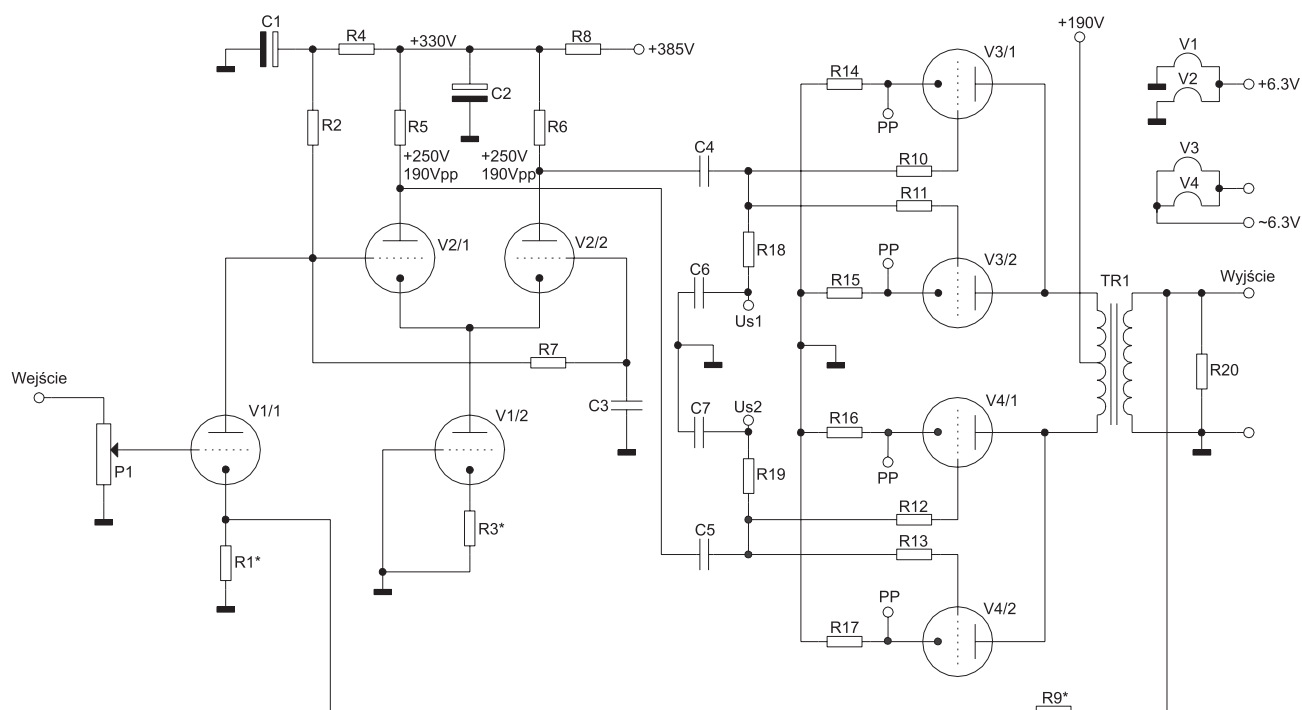
Przedstawiony w artykule wzmacniacz zbudowany jest z czterech niezależnych bloków:

- wzmacniacza wstępnego,
- inwertera fazy,
- przeciwobnego stopnia końcowego,
- zasilacza.

Schemat elektryczny wzmacniacza jest pokazany na **rys. 1**. Sygnał akustyczny z wejścia wzmacniacza poprzez potencjometr P1 zostaje podany bezpośrednio na siatkę pierwszej triody lampy V1. Wzmocniony sygnał z anody poprzez galwaniczne połączenie trafia do siatki inwertera zbudowanego na lampie V2.

PODSTAWOWE PARAMETRY

- Typ wzmacniacza: triodowy z przeciwobnym stopniem mocy („monoblok”)
- Zasilanie: z sieci 230 V
- Impedancja obciążenia: 8 Ω
- Sinusoidalna moc wyjściowa: 18 W
- Czulość dla P_{Max} : 0,6 V
- Pasmo przenoszenia (3 dB) $P_{wy}=10$ W: 7...30000 Hz
- Zniekształcenia ($P_{wy}=10$ W): mniejsze od 0,7%
- Zniekształcenia dla mocy maksymalnej: mniejsze od 1,5%



Rys. 1. Schemat elektryczny wzmacniacza

Rozwiązanie takie pozwala na rezygnację z kondensatora sprzęgającego oba stopnie wzmocnienia. Zadaniem inwertera jest dostarczenie do siatek sterujących lamp wyjściowych V3 i V4 sygnałów o tych samych amplitudach ale przesuniętych w fazie o 180 stopni. Inwerter wykonany jest w układzie symetrycznym o sprzężeniu katodowym. Pomimo swojej prostoty układ inwertera ma bardzo dobre parametry: automatycznie się równoważy, ma identyczną impedancję wyjściową obu gałęzi, charakteryzuje się małymi zniekształceniami przy stosunkowo dużym wzmocnieniu nie wykazując przy tym tendencji do wzbudzenia się. Zastosowanie zamiast rezystora katodowego źródła prądowego wykonanego na drugiej połowce lampy V1 pozwala na uzyskanie jeszcze lepszych parametrów elektrycznych układu.

Wzmacniacz wstępny oraz inwerter są wykonane na lampach 6N8S – odpowiednik 6SN7, lampy te często występują w stopniach sterujących wzmacniaczy akustycznych wysokiej jakości. Zasilanie

opisanych stopni odbywa się ze źródła napięcia około 400 V, wynika to z konieczności zapewnienia dostatecznej amplitudy napięcia sterującego triodowe stopnie końcowe (znacznie wyższej niż we wzmacniaczu ze stopniem końcowym zbudowanym na pentodach).

Wzmocnione i odwrócone w fazie sygnały poprzez kondensatory C4 i C5 trafiają do przeciwnobnego stopnia końcowego zbudowanego w oparciu o lampy V3 i V4. Są to bardzo dobre podwójne triody rosyjskie typu 6N13S będące odpowiednikami lamp 6AS7. Lampy te nie tylko mają dobre parametry ale charakteryzują się ciekawym wyglądem w stylu „wintage” przypominającym legendarne triody 300B. Stopień końcowy zasilany jest napięciem około 200 V. Ze względu na konieczność precyzyjnej regulacji prądów spoczynkowych lamp końcowych, brak strat mocy na rezystorach katodowych (około kilkunastu watów w układzie z automatyczną polaryzacją), wybrany został układ stałej polaryzacji siatek sterujących

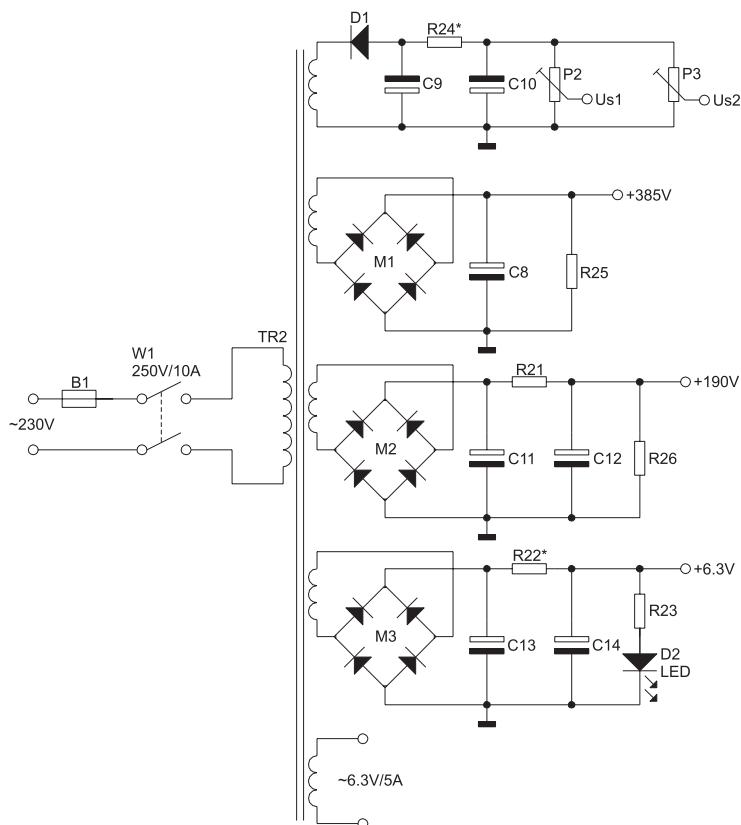
z oddzielnego źródła napięcia ujemnego. Uzyskanie prawidłowej symetrii prądów spoczynkowych jest istotne ze względu na eliminację przydźwięku 100 Hz oraz uniknięcie magnesowania się rdzenia transformatora wyjściowego, które powoduje pogorszenie odtwarzania basów przy większej mocy wyjściowej.

Wzmocniony w stopniu końcowym sygnał poprzez symetryczny transformator wyjściowy trafia do obciążenia. Zadaniem wyjściowego transformatora oprócz przeniesienia energii i złożenia obu „połówek sygnału” jest dopasowanie wysokiej impedancji wyjściowej lamp do niskiej impedancji obciążenia. Transformator wyjściowy to jeden z elementów od którego parametrów w dużym stopniu zależy jakość całego urządzenia. Dlatego zostanie poświęcone mu więcej uwagi w dalszej części artykułu.

Niskie zniekształcenia wzmacniacza zapewniają lokalne ujemne sprzężenia zwrotne w obwodach katod wszystkich lamp oraz ogólne ujemne sprzężenie zwrotne łączące wyjście z katodą lampy stopnia wstępnego. Rezystory o wartości 1 Ω w katodach lamp końcowych oprócz ujemnego sprzężenia zwrotnego pozwalają na pomiar prądu podczas uruchamiania i regulacji układu (poprzez pomiar spadku napięcia, 1 mV odpowiada 1 mA prądu lampy).

Zasilacz, którego schemat elektryczny jest przedstawiony na

Tab. 1. Parametry techniczne zasilacza (napięcia podane pod obciążeniem)		
Obwody	Napięcie	Wydajność prądowa
Anodowe stopni sterujących	+385 V	50 mA
Anodowe stopni końcowych	+190 V	300 mA
Polaryzacji stopni końcowych	-120 V	10 mA
Żarzenia stopni sterujących	+6,3 V	1,5 A
Żarzenia stopni końcowych	~6,3 V	5,5 A



Rys. 2. Schemat elektryczny zasilacza

rys. 2 wykonany jest w sposób konwencjonalny. Dostarcza on napięcie anodowych, ujemnego napięcia polaryzacji stopnia końcowego oraz napięcie żarzenia: zmiennego dla lamp końcowych i stałego dla lamp stopni wstępnych. Dokładne dane napięć i wydajności prądowe są zamieszczone w tab. 1.

Dobrą filtrację oraz „sztywność” napięcia wyjściowego zapewniają duże wartości pojemności na wyjściu układów prostowniczych. Zasilacz zabezpieczony jest przed zwarciem bezpiecznikiem topikowym. Zasilanie stopni sterujących odbywa poprzez szeregowo rezystory blokowane do masy kondensatorami. Rozwiązanie takie odseparowuje od siebie poszczególne stopnie wzmocnienia zapobiegając wzbudzeniom, a także poprawia filtrację zmniejszając przydźwięk sieci. Do dalszego obniżenia przydźwięku przyczynia się żarzenie lamp stopni sterujących prądem stałym.

Trioda w stopniu końcowym wzmacniacza

Zagadnienie to wymaga dokładniejszego przedstawienia ze względu na różnice występujące w porównaniu z pentodami pracującymi w stopniach końcowych. Triody

w stopniach końcowych charakteryzują się mniejszą sprawnością energetyczną i wymagają większych napięć sterujących, ale mają bardzo małe oporności wewnętrzne co jest korzystne ze względu na współpracę z obciążeniem o tak złożonej impedancji jaką ma układ transformator – głośnik. Cechują się również bardzo dobrą liniowością.

Szczegółowe opisanie powyższego zagadnienia wybiegałoby poza ramy niniejszego opracowania dlatego poniżej przedstawione zostaną tylko najważniejsze jego aspekty.

Nasze rozważania będą oparte o podstawowe parametry katalogowe lampy 6N13S tab. 2 i jej charakterystyki anodowe rys. 3. Możliwe będzie określenie bardzo ważnego parametru jakim jest rezystancja obciążenia lampy Ra. Jej znajomość pozwoli na określenie przekładni transformatora wyjściowego i umożliwi pełne wykorzystanie mocy lampy końcowej.

Na wykresie charakterystyk anodowych lampy 6N13S rys. 3 znajdujemy punkt A odpowiadający maksymalnemu prądowi anodowemu Ia max=130 mA i napięciu siatki pierwszej Us1=0 V; dla tego punktu napięcie na anodzie Ua min=40 V. Przez ten punkt prowadzimy styczną do hiperboli mocy

admisyjnej lampy P adm=13 W. Nachylenie narysowanej prostej wyznacza optymalną rezystancję obciążenia Określamy teraz drugi punkt leżący na prostej np. Ib=40 mA i Ub=240 V oznaczony na rysunku jako punkt B.

Przystępujemy do obliczenia rezystancji Ra zgodnie z poniższym wzorem:

$$Ra = (Ub - Ua) / (Ia - Ib)$$

$$Ra = (240 \text{ V} - 40 \text{ V}) / (130 \text{ mA} - 40 \text{ mA})$$

$$Ra \approx 2000 \Omega \text{ dla jednej triody}$$

Łącząc równolegle obie triody z lampy 6N13S przyjmuje się wartość Ra=1000 Ω.

Dla układu przeciwobnego złożonego z dwóch lamp 6N13S rezystancja między anodami Raa=2·Ra czyli Raa=2000 Ω. Literatura podaje tu wartość od 1800 Ω do 2500 Ω. Do dalszych rozważań przyjmuje się Raa=1800 Ω.

Można zadać sobie pytanie po co to liczyć skoro są gotowe tabele zawierające informacje dotyczące optymalnej rezystancji obciążenia popularnych lamp końcowych. Warto jednak znać metodę by móc ją stosować do innych typów lamp, dla których wartość ta nie jest podawana.

Transformator sieciowy i wyjściowy

Ze względu na trudność wykonania transformatorów w warunkach amatorskich wskazane jest nawinięcie ich w specjalistycznym zakładzie. Firmy zajmujące się tym posiadają specjalistyczne oprogramowanie i są w stanie precyzyjnie obliczyć każdy transformator. W związku z tym należy tylko dokładnie określić parametry techniczne będące bazą do obliczeń.

W rozwiązaniu modelowym wszystkie transformatory wykonano jako toroidalne. Wśród znawców zagadnień związanych z budową wzmacniaczy opinie są podzielone: jedni preferują transformatory wyjściowe nawinięte

Tab. 2. Wybrane parametry pojedynczej triody z lampy 6N13S, za wyjątkiem prądu i napięcia żarzenia, które dotyczą całej lampy

Napięcie żarzenia U _ż	6,3 V
Prąd żarzenia I _ż	2,5 A
Maksymalny prąd anodowy I _{a max}	130 mA
Maksymalne napięcie anodowe U _{a max}	250 V
Maksymalna moc tracona w anodzie P _{a max}	13 W
Rezystancja wewnętrzna R _{wew}	460 Ω

na kształtkach EI, inni transformatory wyjściowe nawinięte na rdzeniach toroidalnych. W moim odczuciu lepsze są transformatory toroidalne bo zapewniają mniejszy strumień rozproszenia, lepsze sprzężenie uzwojeń (lepsze pasmo przenoszenia), mniejsze gabaryty przy tej samej mocy, ale jak już wspominałem jest to sprawa do dyskusji.

Dane techniczne transformatora sieciowego:

- Napięcie zasilające stronę pierwotną $U_1=230\text{ V}$,
- Napięcia wtórne:
 - $U_2=150\text{ V}/0,3\text{ A}$
 - $U_3=260\text{ V}/50\text{ mA}$
 - $U_4=100\text{ V}/10\text{ mA}$
 - $U_5=6,3\text{ V}/5\text{ A}$
 - $U_6=6,3\text{ V}/1,2\text{ A}$

Z założeń wynika że transformator będzie miał z lekkim zapasem moc około 120 VA. Przy zamawianiu transformatora należy podkreślić, że napięcia podane są przy pełnym obciążeniu.

Dane techniczne transformatora wyjściowego:

- Maksymalna przenoszona moc $P_{wy}=30\text{ W}$
- Dolna częstotliwość sygnału przy spadku 3 dB $f_d=20\text{ Hz}$
- Górna częstotliwość sygnału przy spadku 3 dB $f_g=30\text{ kHz}$
- Oporność widziana od strony anod $R_{aa}=1800\ \Omega$
- Oporność obciążenia $R_o=4,8$ lub $15\ \Omega$
- Spoczynkowy prąd jednej lampy $I_o=80\text{ mA}$.

Pomimo znacznie mniejszej mocy transformator wyjściowy będzie miał podobne wymiary do transformatora sieciowego. Wynika to z konieczności dobrego przeniesienia niskich częstotliwości zapewnienia małych zniekształceń sygna-

łu. Przy zamawianiu transformatora należy uwzględnić fakt, że jest on przeznaczony do wzmacniacza przeciwobnoju.

Autor wykorzystał posiadany w swoich zbiorach transformator wyjściowy o mocy 50 W i przełożeniu impedancji $1500\ \Omega/8\ \Omega$. Skutkuje to nieznacznym wzrostem mocy i zniekształceń, a także możliwością lekkiego przeciążenia lamp przy maksymalnej mocy, co przy normalnym użytkowaniu wzmacniacza w warunkach domowych nie powinno mieć znaczenia.

Opis budowy mechanicznej i elektrycznej

Obudowę wzmacniacza wykonano z blachy aluminiowej o grubości 2 mm oraz płyty MDF o grubości 18 mm. Wykonano z niej konstrukcję nośną natomiast z blachy wygięto podstawę o kształcie odwróconej litery U stanowiącą element montażowy podzespołów wzmacniacza. Oba te elementy połączono za pomocą wkrętów. Taka konstrukcja dzięki swojej prostocie umożliwia łatwe wykonanie obudowy w warunkach domowych, zapewniając jednocześnie dobre parametry techniczne i mechaniczne, dużą podatność na modyfikację oraz estetykę wykonania. Do obudowy przymocowano transformatory, podstawki lampowe, łączówki i pozostałe większe elementy elektroniczne. Montaż elektryczny wykonano jako przestrzenny zachowując zasadę możliwie jak najkrótszych połączeń. Szczególną uwagę poświęcono prowadzeniu masy, która powinna być wykonana grubym przewodem i powinna być podłączona do obudowy tylko w jednym miejscu, najlepiej w pobliżu zasilacza. Należy unikać zamykania pętli masy, dlatego trzeba zwrócić szczególną uwagę na

WYKAZ ELEMENTÓW

Rezystory

(moc 2 W jeśli nie podano inaczej)

- R1: 1,3 k Ω
- R2: 150 k Ω
- R3: 300 Ω
- R4: 33 k Ω
- R5, R6: 51 k Ω
- R7: 1 M Ω
- R8: 270 Ω
- R9: 220 k Ω
- R10, R11, R12, R13: 120 Ω
- R14, R15, R16, R17: 1 Ω
- R18, R19: 110 k $\Omega/0,5\text{ W}$
- R20: 100 Ω
- R21: 10 Ω
- R22: 0,68 $\Omega/5\text{ W}$
- R23, R24: 1 k Ω
- R25: 100 k Ω
- R26: 47 k Ω

Potencjometry

- P1: 100 k Ω wykładniczy lub liniowy
- P2, P3: 47 k Ω ...100 k Ω rezystor nastawny

Kondensatory

- C1: 22 $\mu\text{F}/400\text{ V}$
- C2: 150 $\mu\text{F}/400\text{ V}$
- C3: 1 $\mu\text{F}/250\text{ V}$
- C4, C5: 0,47 $\mu\text{F}/630\text{ V}$ najlepiej poli-propylenowy
- C6, C7: 0,33 $\mu\text{F}/160\text{ V}$
- C8: 330 $\mu\text{F}/400\text{ V}$
- C9, C10: 220 $\mu\text{F}/160\text{ V}$
- C11, C12: 1200 $\mu\text{F}/200\text{ V}$
- C13: 18000 $\mu\text{F}/10\text{ V}$
- C14: 3300 $\mu\text{F}/10\text{ V}$

Lampy

- V1, V2: 6N8S
- V3, V4: 6N13S

Półprzewodniki

- D1: 1N4007
- D2: LED np. zielona o średnicy 5 mm
- M1...M3: mostki prostownicze 10 A/1000 V

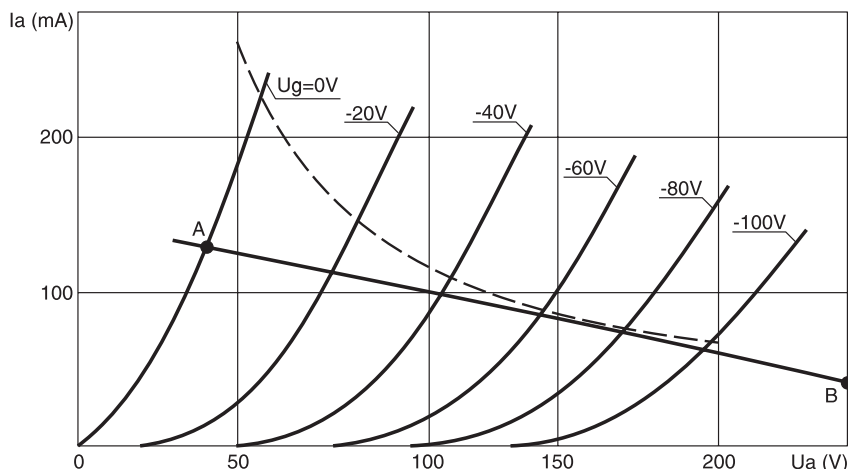
Inne

- 4 podstawki lampowe typu octal
- Transformatory TR1, TR2 wg opisu
- Bezpiecznik B1: 2 A zwłoczny
- Oprawka bezpiecznika
- Wyłącznik W1: 250 V/10 A
- Kabel sieciowy z wtyczką

dobre odizolowanie od obudowy takich elementów, jak gniazdka i kondensatory elektrolityczne. Przewody sygnałowe należy prowadzić w oddaleniu od przewodów silnoprądowych i transformatorów.

Montaż, uruchomienie, regulacja i pomiar podstawowych parametrów

Montaż i uruchomienie wzmacniacza należy wykonywać etapami. Pracę rozpoczynamy od zasila-



Rys. 3. Wykres charakterystyk anodowych lampy 6N13S (jedna trioda)

UWAGA! Ze względu na występowanie w układzie wzmacniacza wysokich napięć należy zachować szczególną ostrożność i przestrzegać przepisów BHP. Każdorazowo po wyłączeniu zasilania należy odczekać kilka minut aż do całkowitego rozładowania się kondensatorów elektrolitycznych przed przystąpieniem do dalszych prac.

cza. Po wykonaniu jego montażu, sprawdzeniu poprawności połączeń i założeniu bezpiecznika sieciowego możemy przystąpić do podłączenia zasilania 230 V.

Napięcia zmierzone przy braku obciążenia powinny być nieco większe od napięć podanych w tab. 1. Następnie przystępujemy do montażu i uruchomienia stopnia sterującego, inwertera oraz stopnia końcowego. Po wykonaniu montażu wkładamy do podstawek lampy V1 i V2, włączamy zasilanie i po nagraniu się lamp mierzymy napięcia stałe występujące na elektrodach lamp, które powinny być zgodne z napięciami podanymi na schemacie elektrycznym wzmacniacza. Ewentualną korektę napięć przeprowadzamy dobierając rezystory R1 i R3 oznaczone gwiazdką. Napięcie ujemne doprowadzane do siatek sterujących lamp końcowych ustawiamy za pomocą potencjometrów P2 i P3 na wartość około 100 V. Wyłączamy zasilanie. Do wyjścia wzmacniacza (zaciski transformatora wyjściowego) podłączamy obciążenie 8 Ω /20 W (np. 10 rezystorów 82 Ω /2 W połączonych równolegle), oscyloskop i woltomierz napięcia zmiennego; odłączamy rezystor R9 (gałąź ujemnego sprzężenia zwrotnego), wkładamy do podstawek lampy końcowe V3 i V4. Włączamy zasilanie i po nagraniu się lamp ustawiamy wstępnie za pomocą potencjometrów P2 i P3 prądy spoczynkowe lamp końcowych na wartość około 30 mA dla każdej triody (każda lampka końcowa składa się z dwóch triod) Pomiar wykonujemy mierząc spadki napięć na rezystorach R14...R17). Następnie do wejścia wzmacniacza (potencjometr P1) doprowadzamy z generatora m.cz. sygnał o częstotliwości 1 kHz i stopniowo zwiększamy jego poziom. Sinusoidalna moc na wyjściu wzmacniacza mierzona na obciążeniu powinna wynosić około 15...18 W (11...12 W na 8 Ω). Następnie po upływie około 30 minut korygujemy (bez wysterowania) prądy spoczynkowe

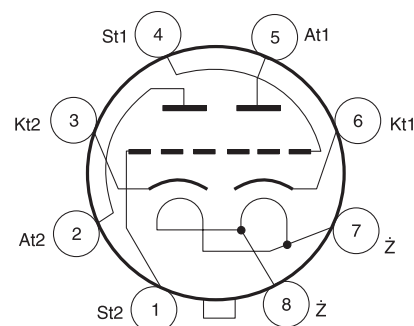
lamp końcowych na wartość około 40 mA. Ustawiony punkt pracy to klasa AB, przy której dla małych sygnałów lampka pracuje w klasie A czyli wzmacniane są obie połowki sygnału natomiast dla większych sygnałów następuje obcinanie jednej z połówek. W naszym wzmacniaczu nie jest to źródłem zniekształceń, gdyż jest to układ przeciwobny, w którym „złożenie” obu połówek sygnału następuje w transformatorze wyjściowym. Konieczna jest jednak ponowna korekcja prądów spoczynkowych, gdyż lampy 6N13S cechują się dużym dryftem prądu, który stabilizuje się dopiero po kilkudziesięciu minutach pracy. Bardzo istotną sprawą mającą wpływ na końcowe parametry wzmacniacza jest zastosowanie w stopniu końcowym lamp parowanych tzn. o bardzo zbliżonych parametrach elektrycznych. Dobór należy przeprowadzić za pomocą przyrządu do pomiaru lamp np. typu P 508. Należy tak dobrać lampy aby różnice ich podstawowych parametrów nie przekraczały 10%.

Na zakończenie należy podłączyć obwód ujemnego sprzężenia zwrotnego (rezystor R9), w przypadku wzbudzania się wzmacniacza należy zamienić ze sobą końcówki transformatora wyjściowego. Tak wykonany i wyregulowany wzmacniacz jest gotowy do pracy.

Podstawowe parametry wykonanego przez autora wzmacniacza przy zamkniętej pętli ujemnego sprzężenia zwrotnego (R9=220 k Ω) przedstawione są poniżej:

- sinusoidalna moc wyjściowa na obciążeniu 8 Ω - 18 W,
- czułość przy mocy maksymalnej - około 0,6 V,
- pasmo przenoszenia na poziomie 3 dB - 7 Hz - 30 kHz przy 10 W mocy wyjściowej,
- zniekształcenia mniejsze od 0,7% przy 10 W mocy wyjściowej,
- zniekształcenia mniejsze od 1,5% przy maksymalnej mocy sinusoidalnej.

Nieznaczne podniesienie mocy wyjściowej, zwiększenie czułości oraz zmniejszenie zniekształceń jest możliwe poprzez zastosowanie dobrze dopasowanego transformatora wyjściowego, podniesienia napięć anodowych z 385 V do około 420 V i z 190 V do około 210 V. Ta ostatnia propozycja wiąże się z zastosowaniem kondensatorów elektrolitycznych na wyższe napię-



Rys. 4. Cokół lamp 6N13S i 6N8S (oktal)

cia co jednak podnosi koszt urządzenia. Możliwa jest też budowa oszczędniejszej wersji wzmacniacza wykorzystująca przeciwobnie podłączoną tylko jedną podwójną triodę 6N13S, w tym przypadku oporność obciążenia widziana od strony anod Raa będzie wynosić 3600...5000 Ω , maksymalna sinusoidalna moc wzmacniacza może osiągnąć 7...9 W. Możliwe jest również zastosowanie jako lamp końcowych triod typu 6S41S w tym przypadku moc wzmacniacza powinna przekroczyć 20 W. Oczywiście należy wykonać stosowne obliczenia dotyczące danych do wykonania transformatora wyjściowego.

Uwagi końcowe

Wykonane przez autora dwa monobloki współpracują z odtwarzaczem płyt kompaktowych i kolumnami o mocy 80 W typu bassreflex, zapewniając bardzo przyjemne doznania dźwiękowe. Uzyskane rezultaty w pełni potwierdzają zasadność budowy wzmacniacza przynosząc zadowolenie konstruktorowi. Najlepszą rekomendacją jest to, że fabryczny tranzystorowy wzmacniacz stoi na półce i nikt go nie używa. Subiektywne porównanie pracy opisanego w artykule wzmacniacza lampowego z kilkoma typami fabrycznych wzmacniaczy półprzewodnikowych znanych firm wypada na korzyść wzmacniacza lampowego. Słuchacze szczególnie cenili sobie przyjemną i naturalną barwę dźwięku.

Podsumowując należy jednak stwierdzić, że wykonany według przedstawionego opisu wzmacniacz będzie wymagał indywidualnego podejścia wykonawcy, wynika to głównie z różnic w wykonaniu transformatorów wyjściowych oraz rozrzutu parametrów zastosowanych lamp.

Stanisław Maleczek