



Triodowy wzmacniacz słuchawkowy OTL

Wzmacniacze lampowe OTL (Output Transformer Less), czyli niezawierające transformatora wyjściowego, od dawna wzbudzają duże zainteresowanie. Niestety, zbudowanie lampowego wzmacniacza mocy OTL nie jest łatwe. Lampy bowiem mają dużą impedancję wewnętrzną, niski prąd anodowy i muszą być zasilane wysokim napięciem. Natomiast współczesne głośniki odwrotnie: wymagają dużego prądu przy stosunkowo niewielkim napięciu oraz mają niską, a nawet bardzo niską impedancję (np. 2 omy). Wszystko to tworzy barierę trudną do pokonania. Owszem, budowane są lampowe wzmacniacze o mocy wyjściowej co najmniej kilku watów bez transformatora wyjściowego (OTL), gdzie łączy się równolegle ze sobą kilka lamp o stosunkowo niskiej impedancji i dużym prądzie anodowym, ale okupione jest to wieloma kompromisami. **Zdecydowanie łatwiej jest zbudować słuchawkowy wzmacniacz lampowy OTL**, bo impedancja słuchawek jest większa niż głośników (nawet 300 czy 600 omów), a moc potrzebna do zasilania słuchawek jest niewielka w porównaniu z kolumnami głośnikowymi.

Od pomysłu do konkretów. Ten słuchawkowy wzmacniacz OTL budowałem powoli. Sprawdziałem działanie różnych wersji głównie z ciekawości, bowiem do dyspozycji mam kilka wzmacniaczy słuchawkowych: tych zbudowanych na półprzewodnikach i hybrydy lampowo-tranzystorowe w różnych wersjach. O hybrydzie pisałem w EdW 1/2010. Hybryda, zbudowana na dobrych elementach, brzmi zaskakująco dobrze, jak na tak prosty i tani wzmacniacz. W kolejnych jej wersjach poprawiłem zasilanie i stosowałem elementy dobrej jakości znanych producentów. Kusiło mnie jednak sprawdzenie, jak zabrzmiał, w porównaniu z innymi wzmacniaczami, całkowicie lampowy wzmacniacz słuchawkowy. W artykule opisane są dwie wersje. **Uwaga! Fotografii i schematy montażowe dotyczą wersji II.**

W założeniach wzmacniacz ma pracować w czystej klasie A, w układzie SE (czyli Single Ended), bez transformatorów wyjściowych. Ma być bardzo prosty



i składać się tylko z dwóch stopni – przedwzmacniacza i wzmacniacza mocy, zbudowanych na triodach. Budowałem kilka próbnych układów, z różnymi rozwiązaniami konstrukcyjnymi, ale ostatecznie stanęło na dwóch wersjach, różniących się tylko przedwzmacniaczem.

Wersja I

Schemat pierwszej, mniej złożonej wersji dwustopniowego wzmacniacza (jeden kanał) pokazuje **rysunek 1**. Pierwszy stopień, wzmacniający napięcie, zbudowano na połowie triody L1. Drugi stopień to wzmacniacz prądu i mocy, gdzie dwie triody lampy L2, połączone równolegle, pracują w układzie wtórnika.

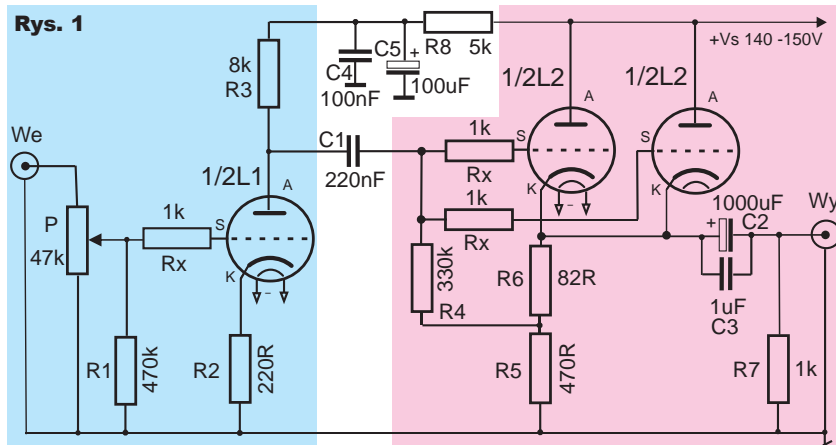
Przypomnę teraz mniej obeznanym Czytelnikom podstawy techniki lampowej.

Dioda. Dioda jest najprostszą lampą elektronową. Składa się z grzejnika (który w niektórych konstrukcjach jest jednocześnie katodą), oraz elektrod: katody i anody, zamkniętych w szklanej lub stalowej bańce, z której starannie wypompowano powietrze (stąd nazwa – lampa próżniowa, vacuum tube). Katoda jest podgrzewana grzejnikiem. Gdy żarzenie (podgrzewanie) katody jest wyłączone, dioda jest izolatorem. Między katodą a anodą jest próżnia, przez którą nie płynie prąd. Natomiast, jeżeli włączymy zasilanie grzejnika, katoda jest podgrzewana i następuje termioemisja elektronów do próżni. Gorąca katoda otoczona jest chmurą elektronów, które, jeżeli do anody przyłączymy wysokie dodatnie napięcie, będą do niej przyciągane. Wtedy przez lampę popłynie prąd, zwany prądem anodowym. Prąd tym większy, im wyższe jest napięcie na anodzie. Tak działa najprostsza

lampa – dioda. Ale diodą nie można sterować w prosty sposób. Dlatego wymyślono triodę. W **triodzie**, pomiędzy katodą a anodą znajduje się siatka, która zwykle ma postać spirali otaczającej katodę. Siatka ma potencjał ujemny względem katody (kilka, kilkadziesiąt lub kilkaset woltów), natomiast do anody podłączony jest wysoki potencjał dodatni (kilkadziesiąt, kilkaset a nawet kilka tysięcy woltów). W triodzie prąd anodowy zależy nie tylko od napięcia na anodzie, ale także od napięcia siatki, ponieważ ujemnie naładowana siatka działa hamująco na ruch elektronów od katody do anody. W triodzie małe zmiany napięcia siatki powodują duże zmiany prądu anodowego. I ta właściwość triody (i innych lamp wzmacniających) wykorzystywana jest do budowy wzmacniaczy. Trioda ma pewne ograniczenia, więc dla poprawienia charakterystyki pracy skonstruowano lampy z większą ilością siatek umieszczonych pomiędzy katodą a anodą – stąd nazwy lamp: tetroda, pentoda, itp. W omawianym wzmacniaczu triody pracują w dwóch podstawowych układach: ze **wspólną katodą** w przedwzmacniaczu i ze **wspólną anodą** we wzmacniaczu mocy.

Przedwzmacniacz – układ ze wspólną katodą jest podstawowym układem wzmacniającym triody. W urządzeniach półprzewodnikowych odpowiada mu układ ze wspólnym emiterem. Charakteryzuje się dużym wzmocnieniem napięciowym, dużą impedancją wejściową, stosunkowo niską impedancją wyjściową. Na rysunku 1 niebieską podkładką wyróżniony jest układ wzmacniacza triodowego, zwanego oporowym, ponieważ obciążeniem anody jest rezystor R3. Dla zapewnienia poprawnej pracy wzmacniacza, siatka sterująca

Rys. 1



powinna być spolaryzowana ujemnym napięciem stałym. W tym układzie spolaryzację otrzymuje się automatycznie, dzięki spadkowi napięcia na rezystorze katodowym R2. Im niższa wartość tego rezystora, tym spadek napięcia na nim jest mniejszy, czyli mniejsze jest napięcie ujemne na siatce **względem katody** lampy. Napięcie to „przenoszone” jest przez rezystory R1 oraz Rx na siatkę. Przez wzmacniacz pracujący w klasie A w spoczynku płynie prąd anodowy, zwany prądem podkładu (bias). Sygnał wejściowy przez potencjometr P dociera do siatki lampy, modulując ujemne napięcie siatki i tym samym zmienia prąd anodowy (bias). Na rezystorze obciążeniowym R3 otrzymujemy wzmacniony sygnał zmienny na tle spoczynkowego napięcia stałego.

Wzmacniacz mocy to układ ze wspólną anodą (nazywany też **wtórnikami katodowym**). W urządzeniach półprzewodnikowych odpowiada mu układ ze wspólnym kolektorem (wtórnik emiterowy). W tym wzmacniaczu dla obniżenia o połowę impedancji wyjściowej i zwiększenia mocy wzmacniacza, zostały połączone równolegle dwie triody L2 – obwody wyróżnione różową podkładką. Impedancja wyjściowa wtórnika jest duża, praktycznie równa R4, natomiast impedancja wyjściowa jest mała i wynosi w przybliżeniu: $R_{wy} = 1/Sa$, gdzie Sa to podawane w katalogu nachylenie charakterystyki lampy (transkonduktancja, mutual conductance). Współczynnik **wzmocnienia napięciowego** wtórnika jest mniejszy od jedności, natomiast współczynnik **wzmocnienia prądowego** jest bardzo duży. Sygnał z anody lampy L1, przez kondensator C1, podawany jest na siatki połączonych równolegle lamp L2 i po wzmacnieniu prądowym podawany jest przez kondensatory C2, C3 na wyjście słuchawkowe Wy. Rezystory R5 i R6 służą do ustalania punktu pracy wtórnika (napięcia polaryzacji siatki i prądu anodowego). Rezystory Rx zapobiegają wzbudzeniu się układu.

Lampy. W przedwzmacniaczu pracuje popularna trioda małej mocy E88CC (odpowiedniki: ECC88, 6922, rosyjska 6N23P, amerykańska 6DJ8), która może być zasilana stosunkowo niskim napięciem anodowym (typowo 90 V), ma średnie wzmocnienie napięciowe 33 i dość duże nachylenie charakterystyki $Sa=12,5mA/V$.

We wzmacniaczach OTL zależy nam na jak najniższej impedancji wyjścia wzmacniacza, dlatego jako lamp wyjściowych warto użyć triod o dużym nachyleniu charakterystyki Sa. Ponieważ będzie to wzmacniacz do słuchawek o mocy 100mW i o impedancji przynajmniej 60 omów, wybór lamp wyjściowych był stosunkowo łatwy. Wybrałem rosyjską (a właściwie radziecką) lampę średniej mocy (5W) zasilaną stosunkowo niskim napięciem (120V) – 6N6P. Lampa ta, przy prądzie anodowym ok. 30mA (każda trioda), ma nachylenie charakterystyki Sa ok. 11 mA/V, czyli impedancja wyjściowa pojedynczej triody wynosi ok. 90 omów. Ma jeszcze jedną zaletę – można ją kupić stosunkowo tanio. Zbliżone odpowiedniki tej lampy to E182CC, 7119, 5687, ale mają inne wyprowadzenia elektrod. Bardzo dobrą lampą jest też radziecka (rosyjska) 6N30P (odpowiednik to 6N30), lecz jest ona dużo droższa. Ma większe nachylenie charakterystyki – 18mA/V, więc impe-

dancja wyjściowa byłaby znacznie niższa. Świetne byłyby też E182CC lub 7119 o nachyleniu charakterystyki 15mA/V.

Na **rysunku 2** przedstawiony jest schemat wewnętrzny podwójnej triody, jest on jednakowy dla E88CC i 6N6P. Wyprowadzenia elektrod jak dla lampy widzianej od dołu (od cokołu).

Rysunek 1 to schemat jednego kanału. Kompletny wzmacniacz stereo składa się tylko z jednej E88CC i dwóch 6N6P. Kondensatory C4, C5 oraz rezystor R8 tworzą filtr odsprężający zasilanie lampy L1.

Zasilanie wzmacniacza.

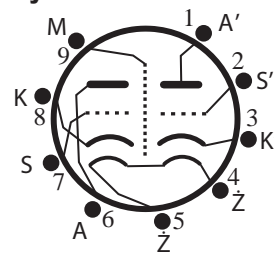
Układ zasilania też jest dość prosty (schemat uproszczonego zasilacza do wersji I można znaleźć w Elportalu, wśród materiałów dodatkowych od tego numeru EdW). Do tej wersji nie podaję wzoru płytek drukowanych. Jako zasilacza można użyć tego opisanego dalej, bardziej rozbudowanego z wersji II, a sam wzmacniacz zmontować na chassis, metodą przestrzenną (na tzw. pająku).

Wersja II

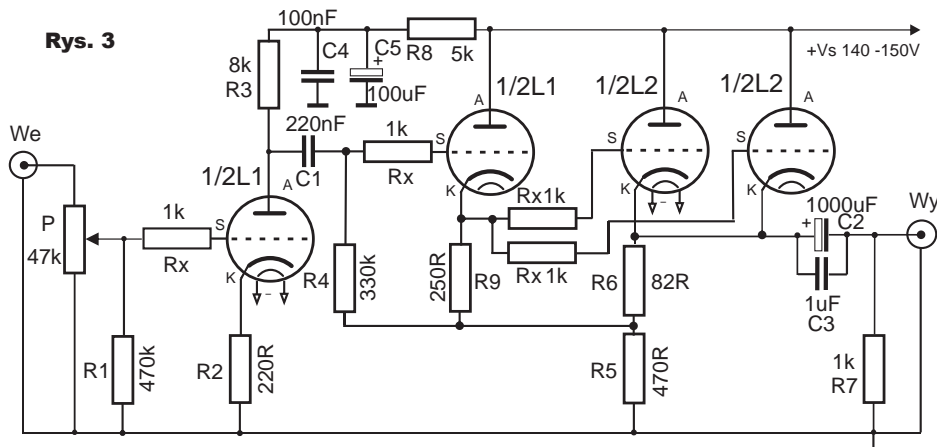
Po zbudowaniu i sprawdzeniu wersji I wzmacniacza postanowiłem zbudować wzmacniacz bardziej rozbudowany, według **rysunku 3**. W przedwzmacniaczu nadal pracuje jedna trioda (1/2L1) w układzie wspólnej katody. Drugą triodę (1/2L2) połączyłem z lampami mocy L2 w dość nietypowym układzie wtórnika posobnego, co wyrównało i znacznie poszerzyło pasmo przenoszenia. W każdej bańce lampy znajdują się dwie triody, tak więc do zbudowania tej wersji potrzebne są dwie E88CC i dwie 6N6P.

Zasilanie wersji II realizuje układ pokazany na **rysunku 4**. Napięcie wyjściowe z transformatora Tr2 150–160V po wyprostowaniu

Rys. 2



Rys. 3



(mostek M1) „podnosi się” ok. 1,4 razy, co da 210–225V napięcia stałego. Napięcie to wstępnie filtrowane i jednocześnie redukowane jest za pomocą filtra CRC (R101, C101...C103). Na rezystorze R101 wytraca się sporo ciepła, więc powinien mieć moc 7–10W. Dla lepszego chłodzenia rezystor można umieścić na radiatorze. Ponieważ układy SE wymagają bardzo dobrze odfiltrowanego napięcia anodowego, zastosowałem dodatkowo prosty filtr zbudowany na tranzystorze MOSFET T1. Filtr jest bardzo skuteczny, tętnienia sieciowe zmniejszają się kilkukrotnie. Diody Zenera Dz1 i Dz2 nie pełnią funkcji jakiegoś precyzyjnego stabilizatora napięcia, ale powodują, że napięcie wyjściowe będzie utrzymywane w mniej więcej stałym zakresie o ok. 4V niższym niż suma napięć diod Zenera. Zastosowałem dwie diody, by można było łatwiej dobrać żądane napięcie. Suma napięć diod powinna wynosić ok. 150V. Dioda Zenera Dz3 o napięciu 15V zapobiega uszkodzeniu bramki G tranzystora T1. Zasilacz rozbudowałem o trzy dodatkowe układy.

Układ pierwszy to przełącznikowy włącznik zasilania transformatora głównego. Ponieważ nie chciałem prowadzić do wyłącznika głównego W2, znajdującego się na panelu przednim obudowy wzmacniacza niebezpiecznego napięcia sieciowego 230V, zbudowałem układ, składający się z małego, 2-watowego transformatora 12V, przełącznika, diody oraz kilku elementów RC, którym włączane jest zasilanie transformatora głównego Tr2.

Układ drugi zasilają żarzenie lamp (L1) przedwzmacniacza napięciem stałym 6,3V i dodatkowo wentylator, którym chłodzone jest wnętrze obudowy wzmacniacza.

Trzeci układ włącza napięcie anodowe dopiero wtedy, gdy lampy są rozgrzane, co korzystnie wpływa na ich trwałość.

Jak to działa? Przez rezystor R106 o dużej wartości (300–700k) ładowany jest kondensator C110. W miarę naładowania się C110, tranzystor T2 MOSFET zaczyna się otwierać i przełącznik Pk2 z opóźnieniem włącza napięcie 150V z uzwojenia wtórnego transformatora Tr2. Dioda Dg gasi impuls samoindukcji, jaki pojawia się na cewce przełącznika. Diody DL1 i DL2

sygnalizują pracę układu, dioda DL1 gasnie po załączeniu przełącznika.

Można oczywiście zbudować inny układ opóźniania (np. na układzie scalonym 555), albo robić to za pomocą dodatkowego, ręcznego wyłącznika.

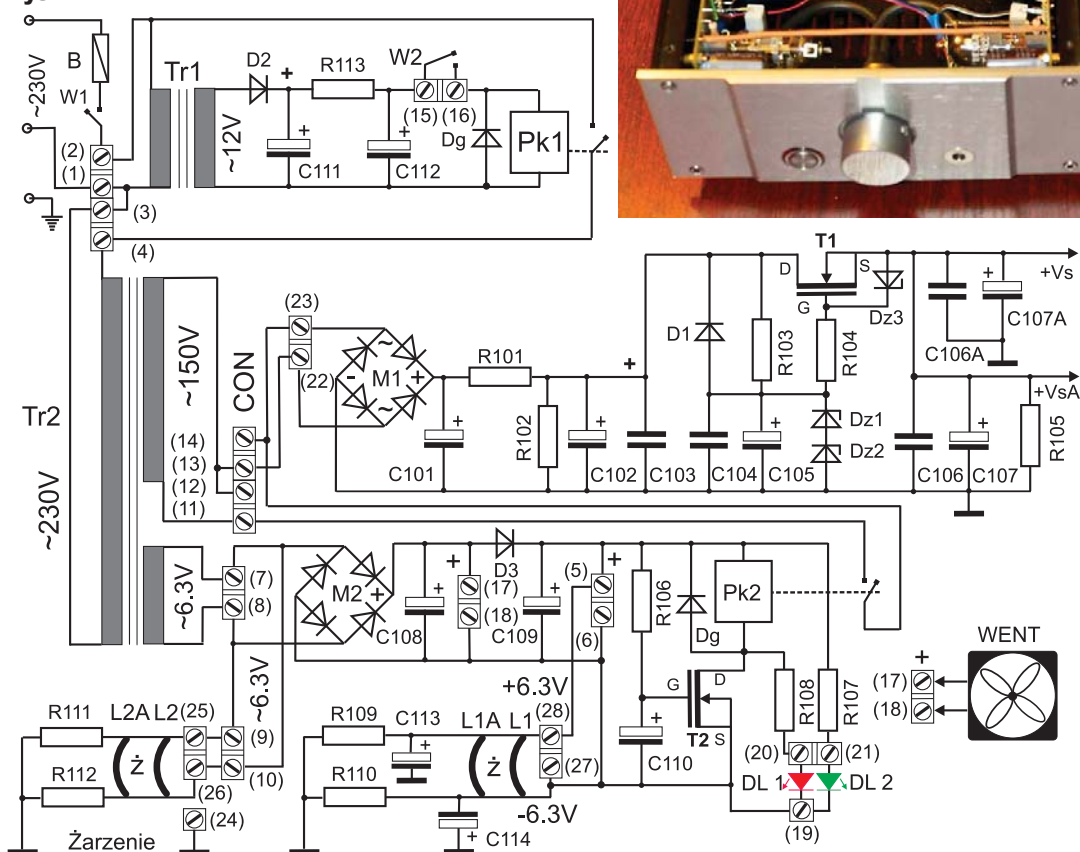
Wzmacniacz lampowy wytwarza dużo ciepła. Lamy, rezystory R101, R5, R5A i tranzystor T1 mocno się grzeją. W ciasnej obudowie cyrkulacja powietrza jest słaba, dlatego zastosowałem wentylator komputerowy, zasilany obniżonym napięciem ok. 7V, które wystarcza to by się kręcił, a hałas i drgania są mniejsze

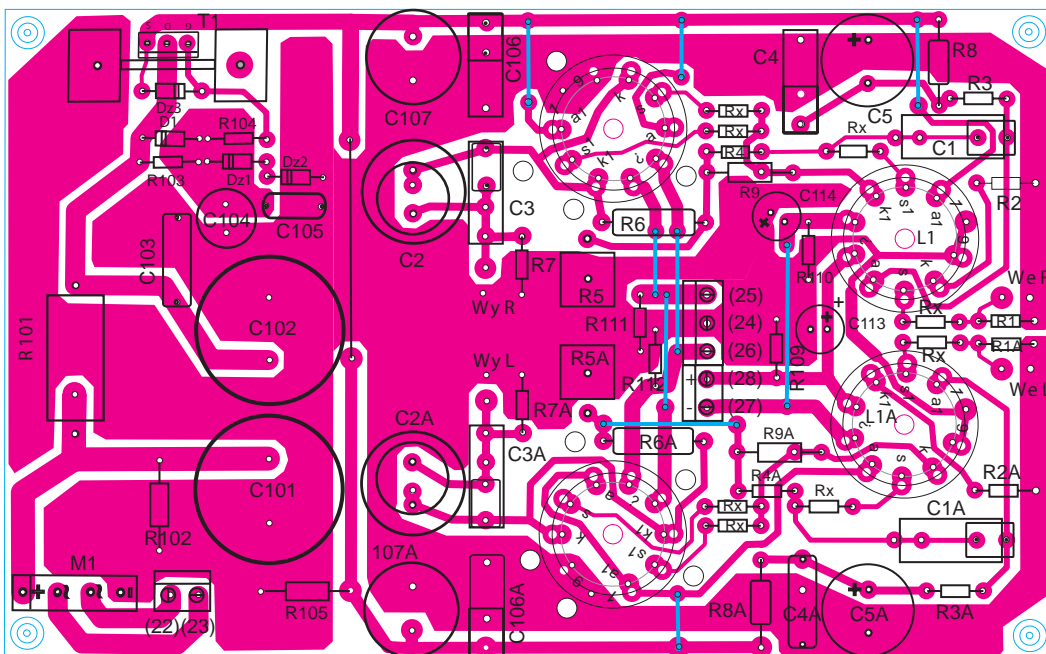
Żarzenie napięciem stałym i przemiennym. Lamy L1 przedwzmacniacza żarzone są napięciem stałym 6,3V, co zmniejsza przenikanie zakłóceń od żarnika do katody. Otrzymuje się go z układu zasilania układu opóźniania załączania napięcia anodowego. Zmienne napięcie 6,3V po wyprostowaniu za pomocą mostka M2 ma wartość ponad 7V więc należy go zredukować do wymaganego 6,3V za pomocą diody Schottky’ego D3 lub rezystora dobranej doświadczalnie (ok. 0,5 oma). Napięcie stałe 6,3V żarzenia lamp przedwzmacniacza jest symetryzowane względem masy za pomocą rezystorów R109, R110, zbornikowanych kondensatorami C113, C114. Zwróć uwagę, że **kondensator C114** jest wlotowany na płytce **plusem do masy**.

Lamy mocy (L2) żarzone są napięciem przemiennym 6,3V, które także jest symetryzowane do masy za pomocą rezystorów R111, R112. Symetryzacja powoduje, iż zakłócenia wytwarzane przez przepływający prąd w żarniku znoszą się wzajemnie.

Transformator sieciowy. Zamówiłem transformator toroidalny z ekranem, który zmniejsza pole rozproszenia wokół transformatora oraz zalewanym środkiem rdzenia, co usztywnia zwoje i zmniejsza brzęczenie. Ekran transformatora ma wyprowadzenie, które dołączyłem do masy. Transformator zasilający TR2 ma moc 100VA (choć 60-80VA by wystarczyło), a uzwojenia wtórne 6,3V/4A i 150V/0,5A. Poprosiłem, by uzwojenia były nawinięte nieco grubszym drutem, tak by transformator nie grzał się zbyt podczas pracy.

Rys. 4





Rys. 5 Skala 75%

Obudowa widoczna na fotografiach jest „made in China”. Niestety w kraju trudno kupić ładnie wykonaną obudowę krajowego producenta. Wymiary obudowy wewnątrz – 295x185x84mm.

Płytki drukowane

W wersji II kompletny wzmacniacz został zbudowany na dwóch płytkach – głównej, pokazanej na rysunku 5, o wymiarach 115x185mm, na której znajduje się wzmacniacz wraz z zasilaczem anodowym oraz oddzielnej płytce 85x70mm, na której znajdują się moduły: włączania wzmacniacza, prostownik napięcia żarzenia oraz opóźniacz napięcia anodowego. Zbudowałem też kolejną wersję, nazwijmy ją „II-bis” o identycznym schemacie, lecz kanały rozdzieliłem tak, że wzmacniacz składa się z dwóch oddzielnych płytek, po jednej na kanał. Na płycie znajduje się wzmacniacz i zasilacz anodowy, oddzielny dla każdego kanału. Płytki mają wymiary 175x70mm i umieściłem je pionowo, przy bokach obudowy wzmacniacza. Poprawiło to znacznie chłodzenie elementów wzmacniacza. Dla pewności mocowania lamp zastosowałem specjalne podstawki ze sprężynkami dodatkowo dociskającymi lampy do podstawek. Zdjęcia pokazują właśnie tę wersję (II-bis) wzmacniacza.

Pomiary wzmacniacza

W prosty sposób można zmierzyć moc wyjściową wzmacniacza, pasmo przeniesienia oraz impedancję wyjściową. Opis badania mocy wyjściowej oraz pasma przeniesienia znajdziecie w Internecie, tutaj chciałbym przedstawić sposób

pomiaru impedancji wyjściowej, tak istotnej we wzmacniaczach lampowych. Impedancję można zmierzyć bardzo prosto za pomocą generatora i oscyloskopu, a nawet multimetru. Na wejście wzmacniacza podajemy sygnał sinusoidalny o częstotliwości np. 1kHz z generatora. W Internecie znajdziesz darmowe programy komputerowe do generowania sygnałów różnej częstotliwości. Potencjometr podkręcamy tak, by sygnał nie był jeszcze przesterowany. Oscyloskopem mierzymy amplitudę sygnału na wyjściu wzmacniacza nieobciążonego. Następnie wyjście wzmacniacza obciążamy rezystorem o rezystancji zbliżonej do głośników lub słuchawek (tutaj np. 60 omów). Mierzmy amplitudę wzmacniacza obciążonego. Impedancję obliczamy ze wzoru:

$$Z_{wy} = (V_1 - V_2 / V_2) \cdot R_o$$

gdzie V_1 to amplituda bez obciążenia, V_2 – amplituda po obciążeniu, R_o – rezystancja obciążenia.

Podobny pomiar możemy wykonać za pomocą multimetru, ale pomiarowy sygnał sinusoidalny powinien mieć mniejszą częstotliwość np. 100 Hz bowiem popularne (tańsze) multimetry nie mierzą prawidłowo wyższych częstotliwości.

Impedancja wyjściowa wszystkich wersji wzmacniacza jest mniej więcej jednakowa i wynosi 41–46 omów i zależy od egzemplarza lampy. Jest to dobry wynik, bowiem pozwala na swobodne wystrojenie słuchawek np. 60-omowych. A i ze słuchawkami 32-omowymi wzmacniacz radzi sobie też nie najgorzej.

Pomierzyłem też pasmo przeniesienia i w wersji I pasmo wynosi (–3dB) 15Hz–42kHz, ale pierwsze spadki amplitudy sygnału wyjściowego zaczynają się już

od 12–15kHz. Prawdopodobną przyczyną tak szybkiego opadania charakterystyki jest duża pojemność wejściowa wzmacniacza – dwie triody połączone równolegle mają dość dużą pojemność wejściową, co powoduje tłumienie wysokich częstotliwości sygnału. Lepsze parametry ma wzmacniacz w wersji II i II-bis. Dzięki dodaniu pośredniego stopnia (bufora) pomiędzy triodę przedwzmacniacza a końcówkę mocy pasmo wynosi 15Hz (–3dB) – 220 kHz (–1dB) przy obciążeniu 60 omów. Moc 80–100mW i zależy od napięcia zasilania oraz prądu podkładu lamp mocy.

O wzmacniaczach lampowych kilka uwag

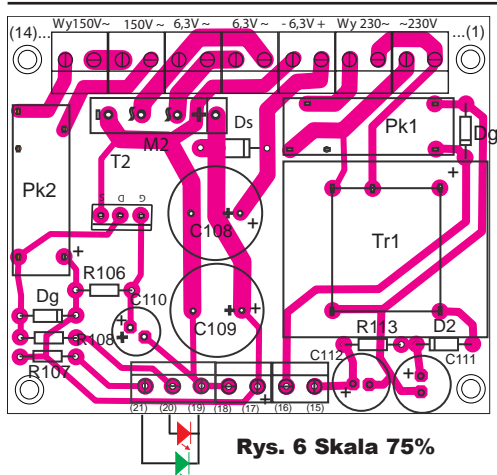
Jeżeli myślisz, że wzmacniacz lampowy jest wzmacniaczem z innej planety, to zapewne masz rację – jest.

Ale jeśli myślisz, że lampowy wzmacniacz jest (prawie) idealnym wzmacniaczem, to muszę Cię rozczarować – nie jest. Wzmacniacz lampowy ma mnóstwo wad i niewiele zalet. Jest prądożerny, a sprawność ma niewielką, szczególnie ten przedstawiony powyżej. Aby otrzymać 0,1 W lampowego dźwięku, trzeba zamienić blisko 30 W mocy na ciepło. Zajmuje wiele miejsca, bowiem lampy są duże i wymagają dobrego chłodzenia. Same lampy są nietrwałe, szybko się starzeją i po kilkuset godzinach pracy muszą być wymieniane. Wad można wyliczyć więcej, ale na razie wystarczy.

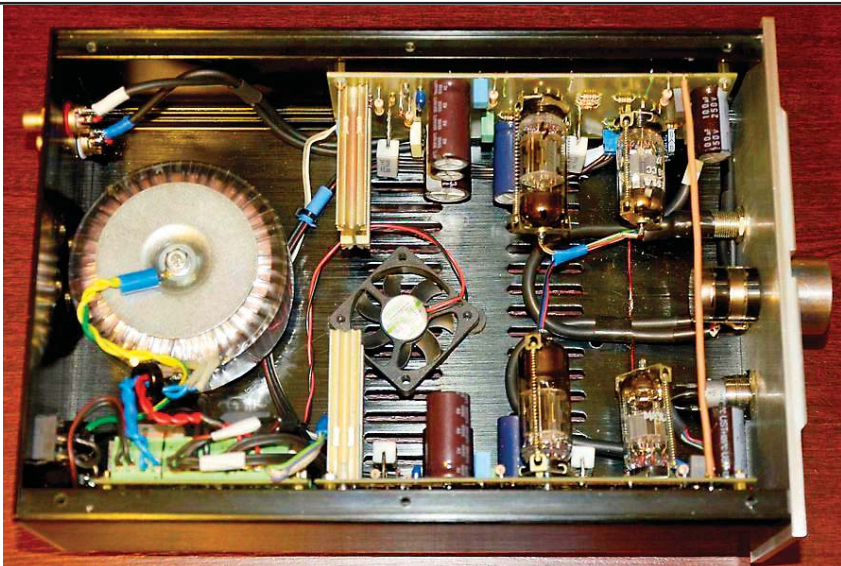
Jakie są więc zalety? Jest ich niewiele, ale niektórzy daliby się za nie pokroić. Bowiem **dobrze** wykonany wzmacniacz potrafi oczarować dźwiękiem – plastyczną przestrzenią, czarującą średnicą, wiernością barwy wokalu i instrumentów. Oczywiście te zalety dźwięku oferują także **dobrze** wykonane wzmacniacze półprzewodnikowe i temu nikt nie zaprzecza. Ale lampy dodatkowo mają swój styl i urok, którego żaden tranzystorowiec nigdy nie będzie miał.

Jak ten wzmacniacz gra?

Pisanie o tym, jak wzmacniacz gra, jest ryzykowne. Zawsze jest to subiektywna ocena, a do tego opisanie za pomocą słów wrażeń muzycznych jest trudne i dla innych niekoniecznie może oznaczać to samo co dla nas. Ograniczę się więc do opisanie podstawowych cech dźwięku. Generalnie, wszystkie wersje wzmacniacza (I, II, II-bis) grają podobnie.



Rys. 6 Skala 75%



Dość mocny bas, wyeksponowana średnica, łagodna góra. Ładna stereofonia. Z tym, że pierwszy wzmacniacz (I) ma mocniej wyeksponowany bas, który traci nieco na kontroli. Środek pasma mocniej podkreślony, z taką jakby „kościelną” przestrzenią. Dźwięk niemięczący, do słuchania przez dłuższy czas, ale wydaje się, że słychać mniej szczegółów.

Natomiast drugi wzmacniacz (II, II-bis) gra bardziej wyrównanym pasmem, bas już nie dominuje tak bardzo, a wokół jest nieco mniej wyeksponowany, chociaż nadal bardzo naturalny i bliski słuchaczowi. Generalnie słychać więcej szczegółów. Trudno jednak zagwarantować, że wzmacniacz sprawdzi się z każdymi słuchawkami, szczególnie z tymi, o „trudnej”, niskiej impedancji. Gdy budujemy

wzmacniacz, musimy pamiętać, iż każdy zbudowany wzmacniacz to praktycznie prototyp z elementami dobranymi losowo, różnie wyregulowany, włożony do niestandardowej obudowy, więc i za każdym razem efekt końcowy może być różny. A co najważniejsze – sam wzmacniacz nie zagra – w zestawie musi być jeszcze dobre źródło sygnału i bardzo dobre głośniki czy słuchawki. Wzmacniacze OTL są wrażliwe na obciążenie niskimi impedancjami, a te wersje wzmacniacza nie mają globalnego sprzężenia zwrotnego, które znacznie poprawia charakterystykę (każdego zresztą) wzmacniacza.

Czy warto budować wzmacniacze lampowe? Borykamy się przecież z rozlicznymi problemami, ponosimy wyższe koszty budowy i ryzykujemy rozczarowaniem, gdy stwierdzimy na koniec że nie tego oczekiwaliśmy.

Cóż, jedni uznają że tak, inni że nie. Mnie w każdym razie budowa, badanie i porównywanie licznych wersji i „podwersji” wzmacniacza sprawiło dużo satysfakcji, a efekt końcowy uznaję za całkiem udany.

W Elportalu, wśród materiałów dodatkowych do tego numeru, można znaleźć schematy i rysunki płytek.

Bezpieczeństwo

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

Największe zagrożenie niesie obwód zasilania napięciem sieciowym 230V. Dlatego przewody zasilające, transformator, gniazda, wyłączniki itp. powinny być dobrej jakości, dostosowane do pracy przy napięciu 230V (ze znakiem 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. **Doświadczeni elektronicy tak pracują z urządzeniami pod napięciem, by ciało nie tworzyło obwodu zamkniętego – 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. 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.

Przypominam:

Bądź ostrożny! We wzmacniaczu występują wysokie napięcia, a elementy są gorące. Wszelkich regulacji dokonuj przy wyłączonym zasilaniu i po rozładowaniu kondensatorów wysokonapięciowych.

Osoby niedoświadczone i niepełnoletnie mogą wykonywać tego rodzaju układy wyłącznie pod opieką wykwalifikowanych opiekunów – nauczycieli.

Stanisław Chrząszcz
poczta@skarabo.net
www.skarabo.net

Wykaz elementów

Wzmacniacz

C1, C1A	220nF/250V
C2, C2A	1000uF/63V
C3, C3A	1uF/63V
C4, C4A	100nF/250V
C5, C5A	100uF/250V
R1, R1A	470kΩ
R2, R2A	200-240Ω
R3, R3A	8-10kΩ
R4, R4A	330-470kΩ
R5, R5A	470Ω/5-7W
R6, R6A	68-82R/1-3W
R7, R7A	1-2kΩ
R8, R8A	5kΩ/1W
R9, R9A	220-240Ω
Rx	500...1000Ω - dobrać jednakowe - 8 szt.

Zasilacz

C101, C102	220-330uF/250V
C103	100nF/250V
C104	10-47nF/250V
C105	10-22uF/250V
C106, C106A	100nF/250V
C107, C107A	100uF/250V
C108, C109	4700uF/16V
C110	470uF/16V
C111, C112	1000uF/16V

C113, C114	10-22uF/16V
R101	dobrac 330-470Ω, 5-10W
R102, R105	220-250kΩ, 0,5-1W
R103	50-70kΩ
R104	100-500Ω
R106	dobrac 300-600kΩ
R107, R108	dobrac 1-3kΩ
R109, R110	jednakowe 120-150Ω
R111, R112	jednakowe ok. 100Ω
T1	MOSFET min. 400V
T2	dowolny MOSFET
D1, D2	1A/400-1000V
Dg	1A/800-1000V
Dz1, Dz2	Zenera ok. 75V
Dz3	Zenera 12-15V
DI1, DI2	dowolna LED
D3	Schottky'ego, 3A
Pk1, Pk2	przekażnik 5-6V 10x30mm
Tr1	2-3VA/9-12V, do druku
TR2	transformator sieciowy 60-80VA 150V/0,5A, 6,3V/4A
B	bezpiecznik 1A
Złącza śrubowe	ARK
WENT	komputerowy (opcja)
W1	wyłącznik 1A/250V
W2	wyłącznik dowolny
Podstawki noval	do druku . . . 4 szt.
Radiator do tranzystora T1	. . . 1 szt.

Płytki drukowane są dostępne

w sieci handlowej AVT jako kit szkolny AVT-3073.