

Lampowy ocieplacz dźwięku

Lampowe „poprawiacze dźwięku” cieszą się wciąż niesłabnącą popularnością. Przekonaj się sam, jak dźwięk zmienia swój charakter dzięki zastosowaniu w torze sygnału najstarszego aktywnego elementu elektronicznego, jakim jest lampa elektronowa – trioda.

Budowa kompletnego wzmacniacza lampowego, pomimo niewielu części i pozornie nieskomplikowanej konstrukcji, w praktyce okazuje się zadaniem zaskakująco trudnym i kosztownym. Trzeba się przy tym też borykać z szeregiem zagadnień i elementów nieznanymi urządzeniom tranzystorowym, takimi jak transformatory głośnikowe, wysokie napięcie anodowe, brum, mikrofonowanie...

Dla wielu jest to poważna bariera. Każdy elektronik może jednak bez ryzyka podjąć się budowy urządzenia, które zapewni przynajmniej namiastkę „lampowego brzmienia” w postaci bufora (przedwzmacniacza) wpinanego między źródło sygnału a końcówkę mocy.

Prezentowany w tym artykule prosty lampowy przedwzmacniacz został zaprojektowany z myślą o wbudowaniu go do wnętrza klasycznego tranzystorowego wzmacniacza mocy, zasilanego napięciem symetrycznym. Nie wymaga on jednak dodatkowego, kosztownego wysokonapięciowego transformatora. Układ można wstawić w tor samodzielnie budowanego lub już istniejącego wzmacniacza – o ile tylko w jego obudowie znajdzie się trochę miejsca...

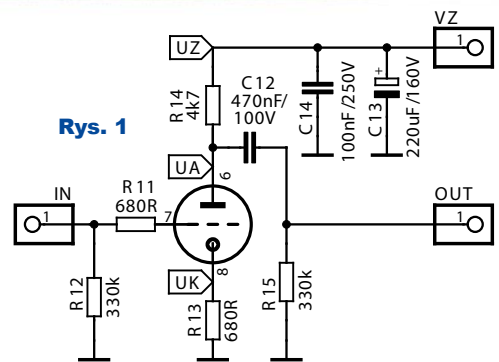
Opis układu

Podobnie jak tranzystor, również lampa elektronowa, trioda może pracować w trzech układach pracy: ze wspólną anodą, katodą i siatką (ten ostatni z uwagi na niską impedancję wejścia jest rzadko stosowany). Schemat przedwzmacniacza w układzie wspólnej katody jest przedstawiony na **rysunku 1**. Sygnał z wejścia IN, poprzez rezystor R11, podawany jest na siatkę lampy elektronowej L1A, modulując przepływ prądu anodowego. Wzmocniony przebieg odbierany jest z anody lampy poprzez kondensator C12. Wyjście przedwzmacniacza OUT polaryzowane jest stosunkowo dużym rezystorem R15. Istotna dla prawidłowej pracy lampy jest jej właściwa polaryzacja – siatka musi mieć niższy potencjał od katody. Dzięki płynącemu w obwodzie lampy anodowego prądowi spoczynkowemu występuje spadek napięcia na kolejnych elementach: R14 – rezystor anodowy – obciążenie wzmacniacza, Ra – rezystancja wewnętrzna lampy oraz R13 – rezystor katodowy. Siatka ma potencjał masy, gdyż jest do niej „ściągnięta” przez rezystor R12, zatem jej potencjał jest niższy od potencjału katody – jest to tak zwana polaryzacja automatyczna. Napięcie zasilania jest dostarczane poprzez rezystor R14, przy którym występują kondensatory: filtrujący C13 i przeciwzbudzeniowy C14. R11 zapobiega wzbudzeniu się przedwzmacniacza od strony wejścia.

Układ ze wspólną katodą ma wysoką impedancję wejścia, duże wzmocnienie i szerokie pasmo przenoszenia sygnału (który zostaje obrócony w fazie). Wadą przedwzmacniacza w takiej topologii jest wysoka



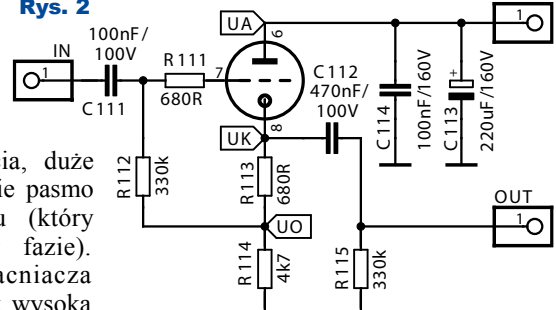
Rys. 1



impedancja wyjściowa, która może sprawiać trudności z współpracującym z nią następnym stopniem wzmacniacza (u nas końcówką mocy). Problemy te mogą się objawić poprzez ograniczenie pasma przenoszenia od góry lub niekontrolowany wzrost zniekształceń.

Wady tej jest pozbawiony układ ze wspólną anodą – **rysunek 2**. Układ ten ma wysoką impedancję wejściową i niską wyjściową. Taki układ nie wzmacnia sygnału, a nawet go delikatnie osłabia, jest jednak często stosowany. Z uwagi na swoje właściwości nazywany jest „transformatorem impedancji” lub częściej wtórnikiem katodowym ponieważ sygnał nie jest odwrócony w fazie

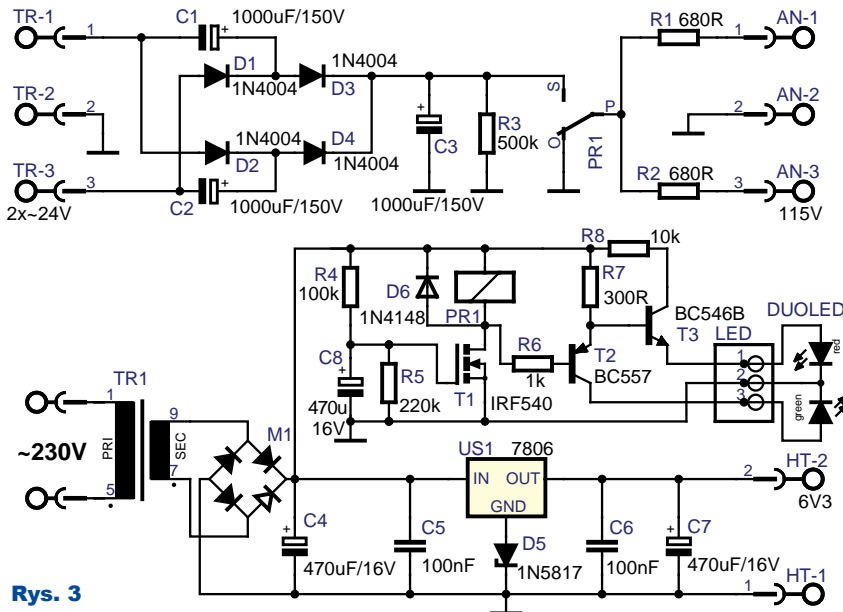
Rys. 2



– pobierany z katody „wtóruje” temu podanemu na siatkę. W tym układzie anoda jest dla składowych zmiennych niejako zwarta do masy (poprzez źródło zasilania). Obciążeniem tym razem jest tylko rezystor katodowy R114 + R113. Rezystor R112 jest podłączony nietypowo pomiędzy R114 i R113 dla ułatwienia doboru rezystora katodowego R113 (polaryzacji automatycznej). Ze względu na wyższy potencjał siatki względem masy tym razem zastosowano separujący kondensator wejściowy C111. R111 zapobiega wzbudzeniu się lampy. Wyjście poprowadzono z katody lampy poprzez kondensator C112 i spolaryzowano rezystorem R115.

Wyżej opisano po jednym kanale stereo, drugi jest identyczny (elementy L1B i R21–R25, C22–24 lub R121–R125, C121–C124). Zastosowana w układzie lampa L1 – ECC88 obsługuje oba kanały, gdyż jest to duotrioda (w jednej szklanej bańce zamknięto dwie identyczne triody). Lampa ECC88 to model przeznaczony do zastosowań audio o średnim wzmocnieniu i stosunkowo niskiej (jak na lampę) impedancji wyjściowej. Cechuje ją jeszcze jedna zaleta – dość niskie napięcie anodowe, do poprawnej pracy wystarcza już ok. 60V.

Zasilacz. W półprzewodnikowych końcówkach mocy do zasilania stosuje się zwykle transformatory o podwójnym symetrycznym uzwojeniu wtórnym (co najmniej 2x20V). Właśnie to napięcie „podkradane” z transformatora jest używane do zasilania obwodu anodowego naszego przedwzmacniacza. Schemat zasilacza przedstawiono na **rysunku 3**.



Rys. 3

Napięcie zostaje powielone przez dwustopniowy symetryczny powielacz zbudowany na elementach D1–D4 oraz C1–C2. Po odfiltrowaniu napięcia na kondensatorze C3 wynosi ono, w zależności od napięcia wtórnego transformatora, od 90V do 120V, co w zupełności wystarcza do zasilania naszego wzmacniacza. W obwodzie zasilania występują jeszcze dwa rezystory R1 i R2, które wraz z elementami C13 i C23 (C113 i C123) stanowią filtr CR eliminujący brum pochodzący z sieci zasilającej. Równoległe do kondensatora C3 podłączony jest rezystor R3, którego zadaniem jest rozładowanie kondensatorów C1–C3 po wyłączeniu zasilania.

Lampa elektronowa do pracy wymaga jeszcze napięcia żarzenia 6,3V, do którego wytworzenia służy transformator TR1 (7,5V/3W). Jego napięcie po wyprostowaniu na mostku Graetza M1 i odfiltrowaniu kondensatorem C4 trafia do stabilizatora liniowego US1 typu 7806. Ze stabilizatorem współpracują standardowo elementy C5–C7 oraz niestandardowo dioda Schottky’ego D5

połączona pomiędzy środkowe wyprowadzenie stabilizatora a masę. Zadaniem tej diody jest zwiększenie wewnętrznego napięcia odniesienia stabilizatora, a w rezultacie podniesienie napięcia wyjściowego do wartości 6,3V, czyli dokładnie takiej, jak potrzebuje do żarzenia lampa L1.

stopniowo będzie się też otwierać połączony z nimi tranzystor T1 typu MOSFET, otwierając przepływ prądu przez cewkę przekaźnika PR1. Przekaznik ten w pewnym momencie załączy napięcie z kondensatora C3 do filtrów zasilania anodowego: R1–C12 i R2–C22. Podłączona równoległe do cewki przekaźnika dioda D6 zabezpiecza tranzystor T1 przed napięciem samoindukcji. Czas, po którym nastąpi zadziałanie przekaźnika, zależy od wartości i typów elementów R4, C8, T1 i PR1. W moim układzie dla wartości opisanych na schemacie jest to ok. 8 sekund. Po zaniku zasilania kondensator C8 jest rozładowywany przez rezystor R5. Przekaznik PR1 szybko przełącza kondensatory C12 i C22 rozładowując je poprzez rezystory R1 i R2 do masy.

W obrębie zasilacza znajduje się również układ-wskaznik działania w postaci dwóch diod LED. Po włączeniu transformatora TR1, kiedy tranzystory T1 i T2 są zatkane, prąd płynie przez rezystor R7, otwierając tranzystor T3. Świeci się wówczas dioda LED czerwona, włączona w obwód emitera. Do ograniczenia jej prądu służy głównie rezystor R7, R8 podtrzymuje jedynie przepływ prądu przez T3. Po otwarciu się tranzystora T1 przez rezystor R6 otwarty zostaje również T2, natomiast zatyka się T3. Tym samym przestaje świecić dioda LED czerwona, a zapala się LED zielona w obwodzie kolektora tranzystora T2. Dzięki nietypowemu podłączeniu LED czerwonej (obwód emitera) możliwe jest zastosowanie zamiast dwóch – jednej, podwójnej diody LED czerwono-zielonej ze wspólną katodą.

Napięcie z transformatora TR1 jest wykorzystywane również do zasilania obwodu opóźnionego załączania napięcia anodowego. Dzięki temu opóźnieniu lampa dostaje napięcie anodowe, dopiero kiedy nagrzej się żarnik, co zapobiega degradacji katody. Obwód ten działa bardzo prosto – po włączeniu zasilania napięcie na kondensatorze C8 (ładowanym poprzez rezystor R4) będzie stopniowo rosło,



Montaż i uruchomienie

W zależności od wybranej wersji wzmacniacza należy zastosować odpowiednią płytkę: WK dla wersji ze wspólną katodą – **rysunek 4** lub WA dla wersji z wspólną anodą – **rysunek 5**. Oprócz płytki obwodu wzmacniacza potrzebny będzie zasilacz (jednakowy dla obu wersji), którego płytkę prezentuje **rysunek 6**. Elementy na obu płytkach należy montować standardowo, zaczynając od najmniejszych, a kończąc na największych. Rezystory R13 i R14 (oraz R23, R24 lub R113, R114, R123, R124) warto włutować na nieco dłuższych nóżkach, dzięki czemu łatwiej będzie się do nich podłączyć celem pomiaru, ale także wymienić na inne wartości celem dokładnego doboru punktu pracy lampy. Zmontowane płytki urządzenia widoczne są na fotografii tytułowej.

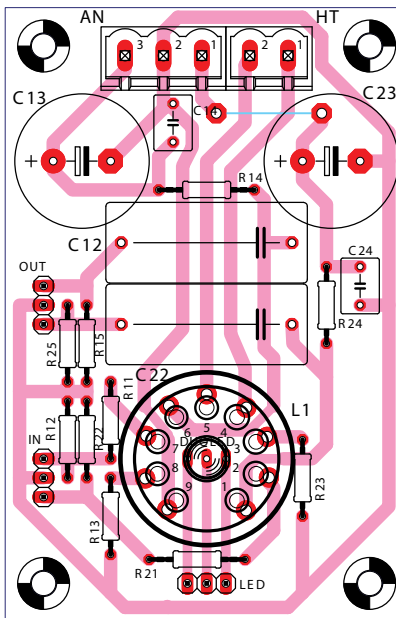
Uwaga!

W obwodach urządzenia występują napięcia groźne dla życia i zdrowia.

Osoby niedoświadczone i niepełnoletnie mogą wykonać je wyłącznie pod kierunkiem wykwalifikowanego opiekuna, na przykład nauczyciela.

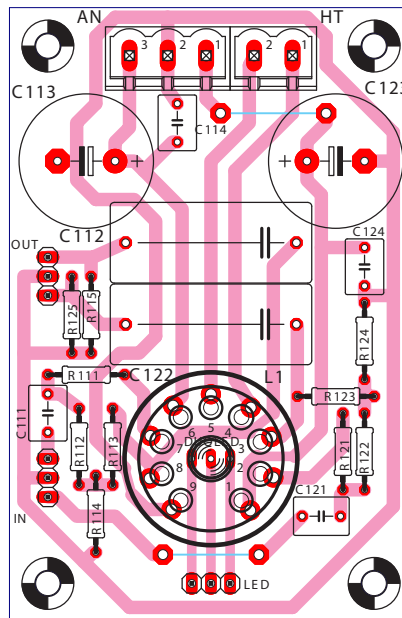
Wyeksponowane lampy elektronowe podczas pracy są gorące – łatwo o poparzenie!

Płytkę zasilacza ma miejsce na transformator zalewany TR1. Na krawędziach umieszczone są złącza: zasilania sieciowego PW, napięć symetrycznych z transformatora TR, napięcia żarzenia HT, napięcia anodowych AN oraz złącze LED dla kontrolki działania zasilacza. Po jej zmontowaniu należy przeprowadzić kontrolę działania. Po podłączeniu zasilania sieciowego (~230V) do złącza PW na złączu HT powinno wystąpić napięcie stałe o wartości 6,3V, równocześnie zaświeca się dioda czerwona podłączona



Rys. 4

do złącza LED. Po kilku sekundach załączy się przekaźnik i zgaśnie dioda czerwona, a zaświeci się zielona. W razie potrzeby czas do załączenia przekaźnika można zmieniać innymi wartościami elementów R4 i/lub C8. Po podłączeniu do złącza TR symetrycznych uzwojeń

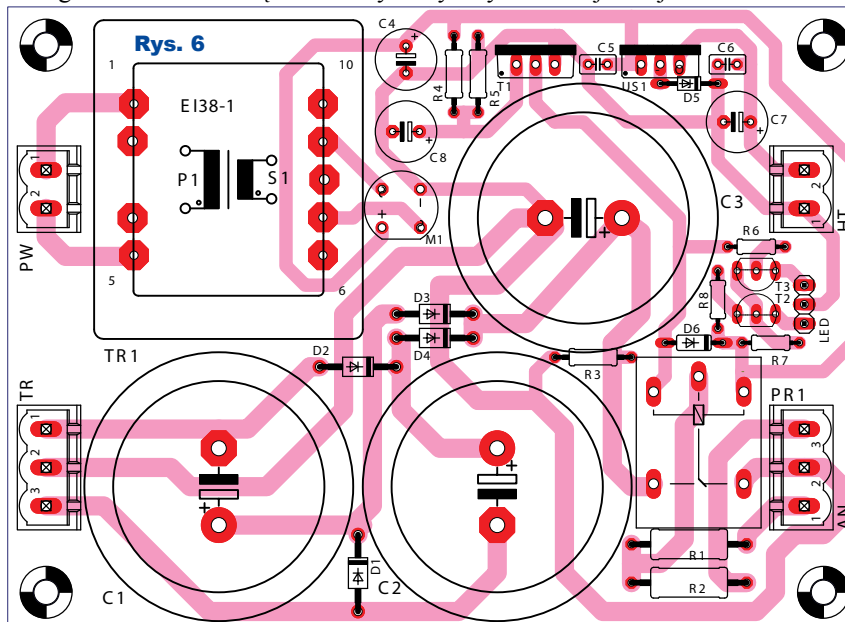


Rys. 5

bańki lampy elektronowej. Miejsce na taką diodę przewidziano w centralnym miejscu podstawki pod lampę (dioda świeci przez centralny otwór w podstawie). Przy takim rozwiązaniu kontrolką jest szklana bańka lampy elektronowej

– po włączeniu lampy ma czerwoną poświatę, a rozgrzana zmienia barwę na zieloną. W przypadku eksponowania lampy można też rozważyć włutowanie dużych kondensatorów C12, C22 (C112, C122) od spodu płytki (równoległe do niej).

Schemat podłączenia przedwzmacniacza jest przedstawiony na **rysunku 7**. Sygnał wejściowy z potencjometru należy doprowadzić



do złącza IN, a złącze OUT to wyjście na końcówkę mocy wzmacniacza. W razie problemów z brumem można rozważyć przerwanie obwodu masy prowadzonej przewodem sygnałowym z przedwzmacniacza do końcówki mocy (aby uniknąć tzw. pętli masy). Obwód masy będzie wówczas zamknięty przez zasilacz.

Możliwości zmian

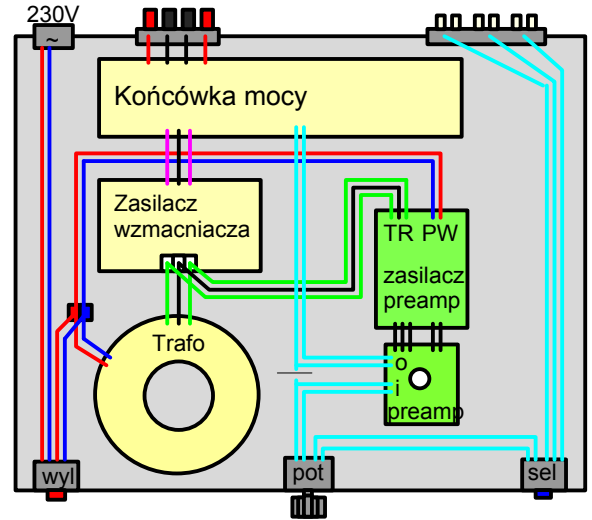
W przedwzmacniaczu, zarówno WK, jak i WA, można spróbować zastosować inne typy lamp, np. ECC81, ECC82, ECC85 czy PCC88. Kiepsko natomiast będzie się sprawować popularna ECC83 z uwagi na jej wysoki opór wewnętrzny. Zastosowanie innych lamp wiązać się będzie jednak z pewnymi zmianami w układzie. O ile dla większości duotriod z podstawkami typu „noval” wyprowadzenia anod, katod i siatek są w tym samym miejscu, to występują różnice w układzie żarzenia – **rysunek 8**. W lampach ECC85, ECC88, PCC88 wyprowadzenie 9 to ekran, który powinien być podłączony do masy, w pozostałych typach lamp to środek włókna żarzenia. Stąd żarzenie lamp ECC88, ECC85 należy podłączać do zasilania 6,3V jak na **rysunku 9a**, a lamp ECC81,82 jak na **rysunku 9b** (łączyć obie części żarnika równolegle). W przypadku tych lamp można także pokusić się o żarzenie napięciem 12,6 V. Należy wówczas zmodyfikować zasilacz poprzez zastosowanie transformatora o wyższym napięciu 12–15V oraz stabilizatora US1 7812, a zamiast diody Shottky’ego D5 należy zastosować zwykłą krzemową np. 1N4001. Podłączenie zasilacza wówczas powinno wyglądać jak na **rysunku 9c**. Dla lampy PCC88 (która wszystkie parametry ma takie same jak ECC88 z wyjątkiem żarzenia – 7,7V) zasilacz należy zmodyfikować przez zastosowanie transformatora 12V i stabilizatora 7808. Diodę D5 należy zastąpić zwrą, natomiast niezbędny spadek napięcia uzyskać, łącząc zasilacz ze wzmacniaczem poprzez tę diodę (1N5817) jak na **rysunku 9d**. W wielu przypadkach warto podłączyć jeden koniec włókna żarzenia do masy, dzięki czemu spadnie poziom zakłóceń – przedstawiono to linią przerywaną na rysunkach.

Ustalenie punktu pracy lampy elektronowej. Ustalenie właściwego żarzenia to jednak tylko początek dostosowania układu. Najważniejszy jest dobór obciążenia – rezystor R14 oraz rezystora katodowego R13 i siatkowego R12. W tym celu należy pobrać z internetu notę katalogową posiada-

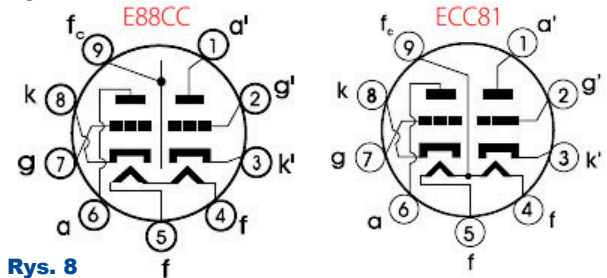
nej lampy. Jak czytać notę katalogową? Na pierwszej stronie znajduje się graficzna informacja o konfiguracji wyprowadzeń oraz szereg parametrów technicznych m.in. maksymalne dopuszczalne napięcie anodowe oraz rezystancja wewnętrzna. Niestety nie możemy tej rezystancji wykorzystać do obliczeń, gdyż maleje ona wraz ze wzrostem prądu anodowego, ponadto wpływ na nią ma napięcie siatki. Dużo więcej dowiemy się, analizując stronę z charakterystykami lampy – patrz **rysunek 10**.

Pierwsza charakterystyka, anodowo-siatkowa, pokazuje, jak zmienia się prąd anody w zależności od ujemnego napięcia siatki dla stałego napięcia anodowego. Na wykresie tym znajduje się cała rodzina charakterystyk dla różnych napięć anodowych. Dzięki temu wykresowi możemy ustalić punkt pracy, który powinien znajdować się na prostoliniowej części charakterystyki. Druga charakterystyka, anodowa, pokazuje

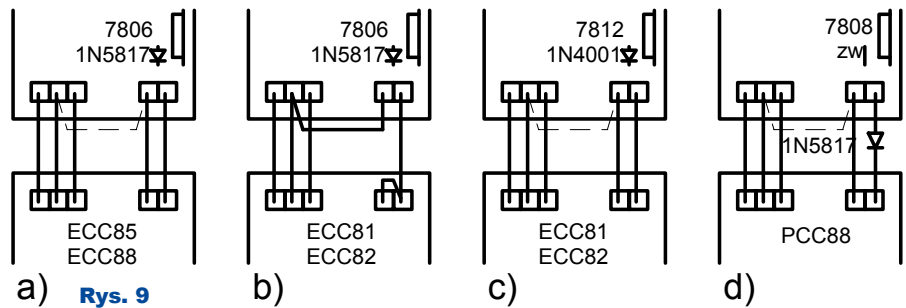
zmianę prądu anody względem napięcia anody przy określonym napięciu siatki. Na podstawie tej charakterystyki można sprawdzić, czy dobierając parametry,



Rys. 7

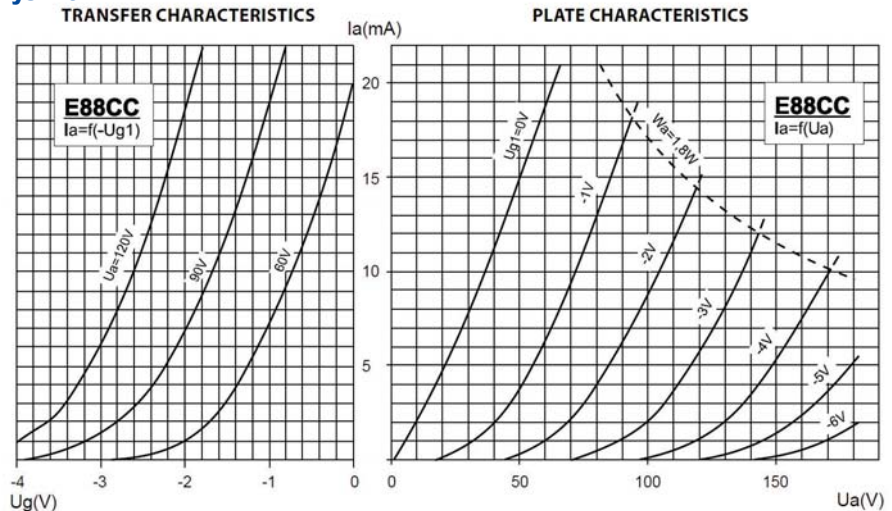


Rys. 8



Rys. 9

Rys. 10





strat. W układzie zastosowana jest polaryzacja automatyczna, tzn. że siatka jest zwarta do masy rezystorem o stosunkowo dużej wartości R12/R22. Ujemne napięcie względem katody wynika ze spadku napięcia na rezystorze katodowym, zatem $U_g = -U_k$

Na wykresie dla napięcia dla $U_{an} = 80V$ i prądu anodowego $I_{an} = 5mA$ napięcie katody względem siatki (masy) powinno wynosić ok. 2V – jeśli jest większe, należy zmniejszyć, a jeśli mniejsze – zwiększyć wartość rezystora katodowego R13/R23. Przy zmianie wartości rezystora katodowego również ulega zmianie prąd anody, a zatem punkt pracy też może się nieco zmienić. Pamiętać przy tym należy, że lampy mają spory rozrzut parametrów, nawet do 20%. Często parametrami różnią się nawet dwie połówki tej samej lampy. Zatem nie należy zbyt rygorystycznie podchodzić do precyzyjnego doboru rezystorów.

Opisany powyżej algorytm dotyczy układu ze wspólną katodą (WK). W układzie ze wspólną anodą (WA) jest podobnie. Należy zmierzyć napięcie zasilania U_z na zacisku AN oraz napięcie katody U_k i obciążenia U_o – oba na skrajnych wyprowadzeniach rezystora katodowego R113. Napięcie anodowe to $U_{an} = U_z - U_k$

Prąd anodowy najłatwiej określić, mierząc spadek napięcia na rezystorze obciążeniowym R114, czyli $I_{an} = U_o / R114$

Za napięcie siatki odpowiada spadek napięcia na rezystorze katodowym R113 $U_g = -(U_k - U_o)$

W tabelce podano wartości napięć zmierzonych przeze mnie w układach prototypowych WK i WA dla lamp ECC88 oraz ECC81. Dobierając punkt pracy na prostoliniowej części charakterystyki, zapewniamy minimalną ilość zniekształceń. Jednak budując ocieplacz, świadomie chcemy mieć tych zniekształceń nieco więcej. Stąd w moim układzie rezystory katodowe, chociaż zasadniczo powinny być mniejsze (około 500Ω), ustawiają punkt pracy na zagięciu charakterystyki. W mojej subiektywnej ocenie w układzie WK „ocieplenie” jest bardziej odczuwalne, natomiast układ WA jest bardziej „przezroczysty” dla dźwięku.

Wykaz elementów

Wersja WK:

- R11,R13,R21,R23 500-680Ω
- R12,R15,R22,R25 330kΩ
- R14,R24 4,7kΩ
- C12,C22 470nF/100V (polipropylenowy)
- C13,C23 220uF/160V
- C14,C24 100nF/250V

Wersja WA:

- R111,R113,R121,R123 500-680Ω
- R112,R115,R122,R125 330kΩ
- R14,R24 4,7kΩ
- C111,C121 100nF/100V
- C112,C122 470nF/100V (polipropylenowy)
- C113,C123 220uF/160V
- C114,C124 100nF/250V

Zasilacz:

- R1,R2 680Ω 2W
- R3 500kΩ
- R4 100kΩ
- R5 220kΩ
- R6 1kΩ
- R7 300Ω 1W
- R8 10kΩ
- C1-C3 1000uF/160V
- C4,C7,C8 470uF/16V
- C5,C6 100nF
- M1 mostek prostowniczy okrągły
- US1 stabilizator liniowy 7806
- D1-D4 dioda prostownicza 1N4004
- D5 dioda Schottky'ego 1N5817
- D6 dioda impulsowa 1N4148
- T1 dowolny mosfet z kanałem N np. IRF540
- T2 dowolny pnp np. BC557
- T3 dowolny npn np. BC546
- DUOLED podwójna dioda LED czerwonozielona 3 mm, wspólna katoda (lub dwie diody do umieszczenia na panelu czołowym)

Inne:

- TR1 transformator zalewany 3W 7,5V
- PR przełącznik z cewką 12V
- L1 lampka ECC88 (E88CC, 6922) podstawa noval do druku
- PW,HT złącza ARK podwójne, 3szt.
- TR,AN złącza ARK potrójne, 3szt.
- DUOLED złącze goldpin potrójne

Płytki drukowane są dostępne w Sklepie AVT jako AVT3248

Przedstawiony przedwzmacniacz lampowy jest stosunkowo tani i prosty w montażu, a jego wmontowanie do już istniejącego wzmacniacza jest mało inwazyjne. Życzę wszystkim satysfakcjonujących odsłuchów!

Sławomir Węgrzyn
bsw@poczta.onet.pl
www.bsw.cba.pl

Polecane strony:
www.jj-electronic.com – strona słowackiego producenta lamp elektronowych – firmy JJ,
www.skarabo.net – składnica wiedzy o układach lampowych.

Wartość napięcia /prądu	ECC88-WK	ECC81-WK	ECC88-WA	ECC81-WA
Vz	120V	124V	121V	123V
Va	94V	111V	121V	123V
Vk	2,6V	1,3V	22V	10,4V
Vo	-	-	19,2V	9V
Vg	2,6V	1,3V	2,8V	1,4V
Van	91,4V	109,7V	99V	112,6V
Ian	5,5A	2,7A	4,1A	1,9A

nie przekroczyliśmy dopuszczalnej mocy strat (wyznaczony linią kreskowaną obszar w górnej prawej części wykresu), co spowoduje szybki spadek żywotności lampy.

Aby ustalić punkt pracy, musimy znać napięcie anodowe, napięcie siatki oraz prąd płynący przez lampę. Do określenia tych parametrów wystarczy zmierzyć napięcia (względem masy – środkowego zacisku złącza AN) w 3 punktach:

- U_z – napięcie zasilania (jeden ze skrajnych zacisków złącza AN),
- U_a – napięcie na anodzie lampy (na rezystorze R14/R24 od strony lampy),
- U_k – napięcie na katodzie lampy (na rezystorze R13/R23 od strony lampy),

Zatem napięcie anodowe to $U_{an} = U_a - U_k$

Prąd anodowy najłatwiej określić, mierząc spadek napięcia na rezystorze anodowym R14, czyli $I_{an} = (U_z - U_a) / R14$

Jeśli prąd i napięcie są zbyt małe, należy zmniejszyć rezystor anodowy (R14/R24) tak, aby punkt pracy znalazł się na prostej części charakterystyki. Należy przy tym uważać, aby nie przekroczyć dopuszczalnej mocy

