



Przedwzmacniacz lampowy sterowany cyfrowo



Na łamach „Elektroniki dla Wszystkich” znalazło się już kilka opisów wzmacniaczy, przedwzmacniaczy, buforów i innych układów wykorzystujących lampy elektronowe. Jednak proponowany przedwzmacniacz nie jest kolejnym typowym rozwiązaniem. W prezentowanym projekcie istotną różnicą w porównaniu z dotychczas opisywanymi tego typu konstrukcjami jest połączenie archaicznych elementów – lamp elektronowych – z elementem nowoczesnej techniki cyfrowej – mikroprocesorem.

Opisany niżej układ jest prostym przedwzmacniaczem lampowym stereo, sterowanym cyfrowo z wykorzystaniem mikroprocesora. W urządzeniu zrezygnowano z tradycyjnych potencjometrów obrotowych i wykorzystano potencjometry cyfrowe, a dodatkowo zostały użyte lampowe wskaźniki dostrojenia pełniące rolę VU-metrów. Sterowanie sekwencyjne załączaniem napięcia anodowego i napięcia żarzenia pozwala na przedłużenie czasu użytkowania lamp w przedwzmacniaczu.

Oryginalne transformatory, duże i ciężkie, rodem z poprzedniej epoki, można przy odrobinie szczęścia kupić jedynie na giełdach i aukcjach. Istnieje również możliwość kupna „nowoczesnych” transformatorów w wybranych firmach, jednak ich cena jest dosyć wysoka. W przypadku budowy przedwzmacniacza lampowego na szczęście nie jest konieczny transformator dostarczający napięcie anodowe o obciążalności kilkudziesięciu czy nawet kilkuset miliamperów i jednocześnie niezbędne napięcie żarzenia rzędu kilku amperów. Alternatywną jest zastosowanie dwóch transformatorów: jeden dostarczy napięcie żarzenia, natomiast drugi wysokie napięcie anodowe. W taki właśnie sposób wykonano zasilacz przedmiotowego przedwzmacniacza. Źródłem wysokiego napięcia jest transformator separujący TR1 typu TS6/51. Napięcie wyjściowe takiego transformatora wynosi ok. 220VAC przy prądzie obciążenia 10mA. Wartości 10mA i 220VAC są w zupełności wystarczają

co do budowy prostego przedwzmacniacza. Transformator TS2 może być dowolnym transformatorem dostarczającym napięcie zmienne o wartości 12–15VAC i obciążalności co najmniej 1,5A. TS2 wykorzystano do zasilania bloku sterownika i do żarzenia lamp elektronowych. Napięcie z transformatora TR1 jest prostowane w mostku prostowniczym M1 i filtrowane w filtrze C1-R1-C2, C3. Należy pamiętać o minimalnym napięciu zastosowanych kondensatorów C1...C3 wynoszącym 400VDC. Wartość wyjściowa napięcia stałego zależy w pewnym zakresie również od wartości rezystancji R1 (tzn. spadku napięcia na R1). W modelu przy rezystancji R1 równej 1kΩ napięcie bez obciążenia wynosiło ponad 270VAC, a pod obciążeniem około 250VAC. Rezystor R2 rozładowuje pojemności po wyłączeniu przedwzmacniacza, zapobiegając nieprzyjemnym skutkom porażenia w sytuacji przypadkowego dotknięcia się elementów przedwzmacniacza np. na etapie uruchamiania układu.

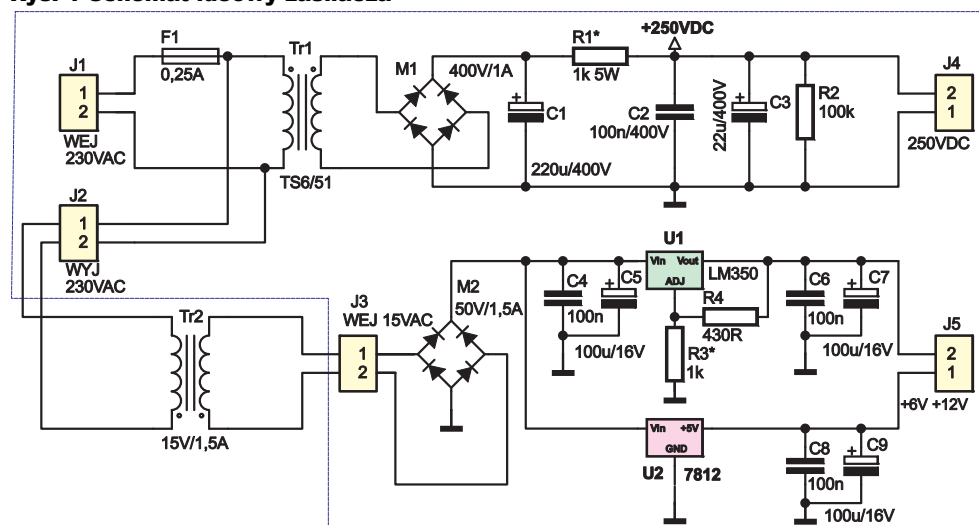
Opis układu

W przedwzmacniaczu lampowym można wyróżnić trzy bloki: blok zasilacza (rysunek 1), sterownika (rysunek 2) oraz blok właściwego przedwzmacniacza lampowego stereo wraz z wskaźnikamiysterowania (rysunek 3). Elementy znajdujące się poza obszarem ograniczonym liniami przerywanymi montowane są metodą przestrzenną poza płytkami drukowanymi. Poniżej znajduje się szczegółowy opis każdego z bloków proponowanego przedwzmacniacza.

Zasilacz

Głównym problemem przy budowie układów lampowych, oprócz zdobycia lamp i podstawek, jest zdobycie odpowiedniego transformatora zasilającego i głośnikowego.

Rys. 1 Schemat ideowy zasilacza



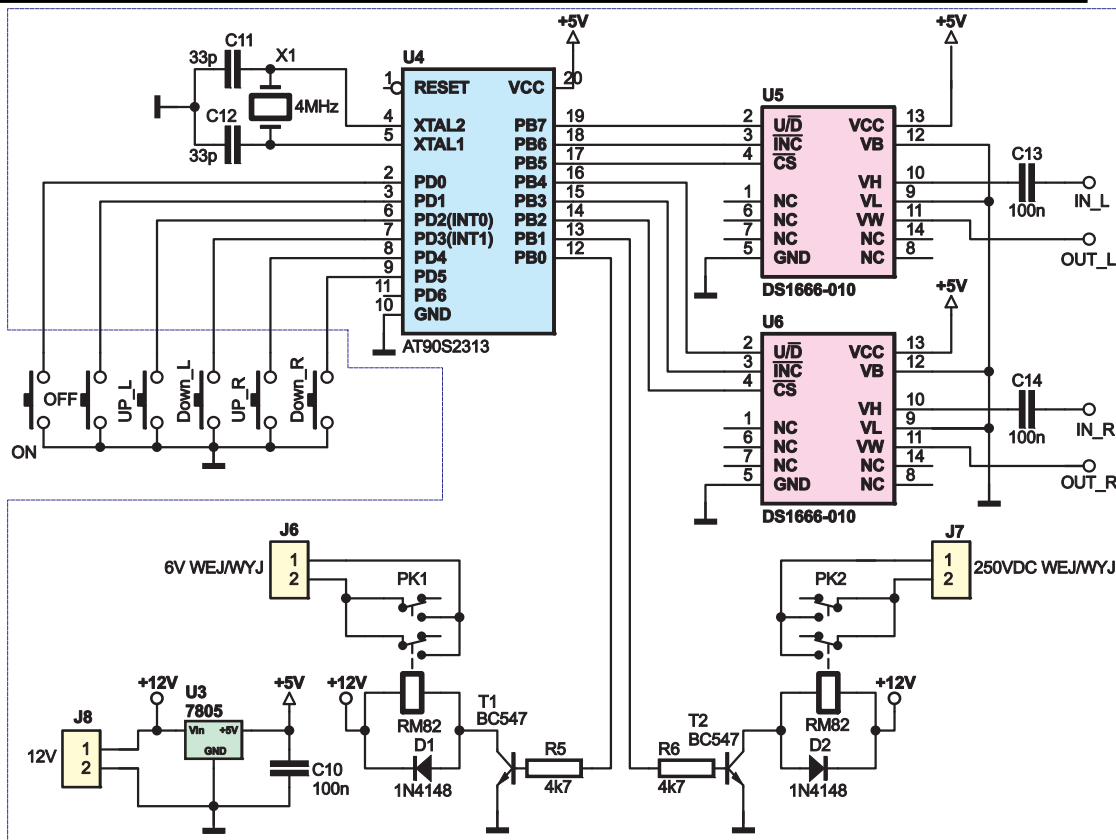
Napięcie z transformatora TR2 po wyprostowaniu przez mostek M2 i filtrowaniu przez C4, C5 jest stabilizowane przez U1 LM 350 i U2 7812. Napięcie 12VDC zasilają blok sterownika, natomiast napięcie 6,3V jest napięciem żarzenia lamp elektronowych. Napięcie to ustala się poprzez dobór rezystancji R3. Ze względu na pobór prądu dochodzący do 1,1A nie jest możliwe użycie innego stabilizatora np. 7806 (1A). Konieczne jest zastosowanie odpowiedniego radiatora odprowadzającego ciepło z U1 (LM350). Stałe napięcie żarzenia nieco komplikuje układ, lecz pozwala wyeliminować przydźwięk sieci, jaki mógłby się przedostać do wzmacnianego sygnału przez układ grzałka-katoda. Jak wynika ze schematu, napięcie sieciowe 230VAC doprowadzone zostało do gniazda J1 (WEJ 230VAC). Uzwojenie pierwotne TR2 (montowanego poza płytą zasilacza) należy podłączyć do gniazda J2 (WYJ 230VAC), natomiast wtórne do J3 (WEJ 15VAC). Napięcie +250VDC, +6,3VDC i +12VDC pobierane jest z gniazd, odpowiednio J4 i J5.

Sterownik

Sterownik przedwzmacniacza został wykonany w oparciu o popularny mikroprocesor AT90S2313, dwa potencjometry cyfrowe DS1666 oraz dwa przekaźniki 12V.

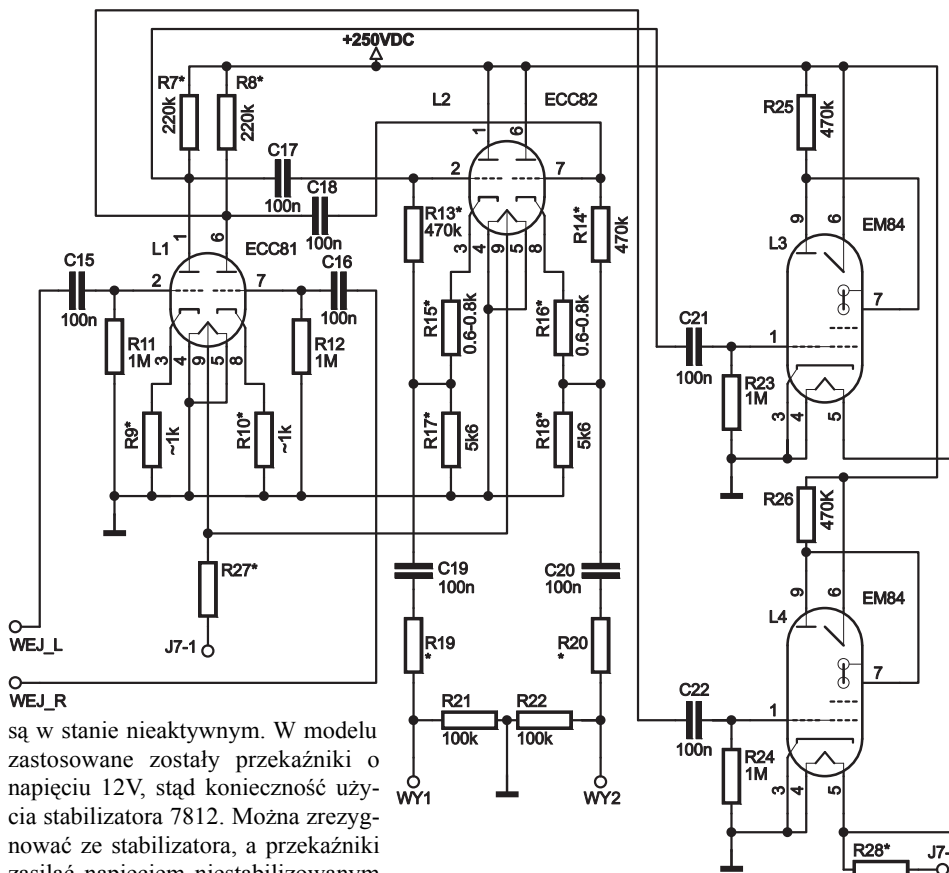
Sterownik spełnia dwa zadania. Po pierwsze, w odpowiedni sposób steruje interfejsem potencjometrów cyfrowych. Po drugie, zapewnia sekwencyjnie sterowanie załączaniem/wyłączaniem napięcia anodowego +250VDC i napięcia żarzenia +6,3VDC.

Naciśnięcie przycisku „ON” powoduje natychmiastowe załączenie przekaźnika PK1, który podaje napięcie żarzenia do grzejników lamp. Przekaźnik PK2 włączy się po upływie ok. 40 sekund, podając napięcie anodowe na lampy. W ten sposób załączenie napięć anodowych odbywa się po nagraniu lamp i nie występuje tzw. emisja na zimno, która niszczy katodę i skraca żywotność lamp. Wyłączenie następuje przyciskiem „OFF” w odwrotnej kolejności. Natychmiast wyłącza się PK2, natomiast wyłączenie PK1 następuje po czasie ok. 20 sekund. Styki przekaźników zostały połączone równolegle celem zwiększenia obciążalności i przedłużenia ich żywotności. Styki powinny być przystosowane do pracy z dość wysokim napięciem stałym. W trakcie wykonywania sekwencji załączania/wyłączania nie jest możliwe jej przerwanie, wszystkie przyciski



Rys. 2 Schemat ideowy sterownika

Rys. 3 Schemat ideowy przedwzmacniacza lampowego



są w stanie nieaktywnym. W modelu zastosowane zostały przekaźniki o napięciu 12V, stąd konieczność użycia stabilizatora 7812. Można zrezygnować ze stabilizatora, a przekaźniki zasilają napięciem niestabilizowanym (pod warunkiem że napięcie to będzie o właściwej wartości dla zastosowanych przekaźników).

Do regulacji siły głosu wykorzystano scalone potencjometry cyfrowe MAXIM-DALLAS DS1666-010 (U5 i U6) o wartości

10kΩ i 128 pozycjach suwaka. Są to potencjometry przeznaczone typowo do zastosowań audio. Mikroprocesor w odpowiedni sposób steruje wejściami U/D (up/down), CS (chip select), INC (increment). W sytuacji, gdy na wejściu CS panuje stan niski, każde opadające zbocze na wejściu INC powoduje przesuwanie suwaka potencjometru V_W w górę lub w dół, w zależności od stanu na wejściu U/D. Gdy na wejściu U/D panuje stan wysoki, następuje przesuwanie suwaka w górę do V_H , gdy stan niski – suwak przesuwany jest w dół do V_L . Szczegółowe informacje dotyczące możliwości zastosowanych potencjometrów można znaleźć w nocie aplikacyjnej DS1666. Przyciski UP_R i UP_L zwiększają głośność, natomiast DOWN_R i DOWN_L ścisząją głos. Jednoczesne naciśnięcie przycisków UP_R i UP_L lub DOWN_R i DOWN_L powoduje odpowiednio zwiększenie lub zmniejszenie głośności jednocześnie dla prawego i lewego kanału. Na płycie sterownika znajdują się punkty lutownicze, do których należy przylutować przewody pochodzące od przycisków sterowniczych przedwzmacniacza. Niewykorzystany pin 11 PD6 procesora może być użyty do podłączenia dodatkowego, opcjonalnego przycisku zapisu pozycji suwaków potencjometrów w przypadku zastosowania potencjometrów wykonanych w technologii NV (nonvolatile) np. DS1804 NV. Dzięki temu można zapisać i zapamiętać położenie suwaka potencjometru w pamięci EEPROM, nawet po wyłączeniu napięcia zasilania. Wiąże się to jednak ze zmianami na płycie i oprogramowaniu sterownika. Napięcie zasilania sterownika doprowadzono do gniazda J8. Stabilizator U3 dostarcza napięcia +5VDC do części cyfrowej sterownika. Do gniazda J7 podłączono wejście i wyjście napięcia anodowego, do gniazda J6 podłączono wejście i wyjście napięcia żarzenia.

Przedwzmacniacz

W układzie przedwzmacniacza wykorzystano układ wspólnej katody oraz układ wtórnik katodowego, zbudowane w oparciu o lampy typu ECC81, ECC82. Lampy L1 ECC81 użyto w stopniu wzmacniającym, gdyż oferuje ona stosunkowo duże wzmocnienie (ok. 66V/V), natomiast lampy L2 ECC82 we wtórniku katodowym. Jako wskaźników dostrojenia – VU metru – użyto lamp L3 i L4 typu EM84, które są „najnowszymi” lampami tego typu. W zasadzie w roli lamp L1 i L2 można zastosować dowolne triody, których wzmocnienie pozwoli zwiększyć sygnał wyjściowy do wartości umożliwiającej pełne wystawienie wskaźników EM84 (ok. 22V).

Układ wspólnej katody jest chyba najczęściej stosowanym układem w konstrukcjach przedwzmacniaczy ze względu na swoje duże wzmocnienie napięciowe i dużą impedancję wejściową. Sygnał zmienny z potencjometrów podawany jest przez kondensatory C15 i C16 na siatkę L1. Dla zapewnienia

poprawnej pracy przedwzmacniacza siatki sterujące zostały spolaryzowane ujemnym napięciem stałym za pomocą rezystorów R9 i R10 (tzw. minus automatyczny). Cechuje się on dobrą stabilizacją napięcia siatki, w znacznym stopniu niezależną od zmian warunków zasilania czy starzenia się lamp. Opcjonalnie równoległe do rezystorów R9, R10 można zastosować kondensatory elektrolityczne o pojemności 20-47μF/25VDC, które zwiernają prąd zmienny do masy. Użycie tych kondensatorów zwiększa współczynnik wzmocnienia, ale zmniejsza pasmo przenoszenia. Sygnał m.cz. po dotarciu do siatki moduluje napięcie siatki i tym samym zmienia się prąd anodowy. W efekcie uzyskiwany jest wzmocniony, modulowany sygnał. Wzmocniony sygnał na wyjściu L1 jest przesunięty w fazie o 180° w stosunku do sygnału wejściowego.

Wtórnik katodowy stanowi odmianną wzmacniacza o ujemnym sprzężeniu zwrotnym. Zaletą wtórnik katodowego jest duża oporność wejściowa, mała oporność wyjściowa i małe zniekształcenia. Ogólnie rzecz biorąc, wielkość sprzężenia zwrotnego uzależniona jest od stosunku oporu anodowego i katodowego. Ujemne sprzężenie zwrotne jest tym większe, im większy jest rezystor katodowy, tak więc we wtórniku katodowym, gdzie obciążenie robocze znajduje się po stronie katody. Całe napięcie wyjściowe jest przekazane ponownie do obwodu siatki i współczynnik sprzężenia zwrotnego a tym samym wzmocnienie, w przybliżeniu jest równe jedności (w praktyce <1). Gdy siatka zostanie dodatnio spolaryzowana, przez rezystor katodowy popłynie większy prąd i katoda lampy staje się także bardziej dodatnia.

W modelu sygnały ze stopnia wzmacniającego przez kondensatory C17 i C18 kierowane są na siatkę lampy L2. Siatki są spolaryzowane napięciem ujemnym względem katody, które uzyskano z dzielnika rezystorowego R15 i R17 (R16 i R18) i które poprzez rezystor R13 (R14) dostaje się na siatkę. Zmiana wartości tych oporników powoduje zmianę prądu anodowego lamp i tym samym punktu pracy, a to z kolei na zmianę dźwięku. Wartość rezystora katodowego R15*, R16*

wtórnik może być zmieniana od 0 do kilku set omów. Sygnał zmienny moduluje napięcie siatki, które z kolei moduluje prąd anodowy lamp. Wyjściowy sygnał zmienny pobierany jest z katod lamp i przez kondensatory C19 (C20) kierowany na wyjścia do gniazd typu chinch. Ponieważ może okazać się, że napięcie wyjściowe będzie zbyt duże, może być konieczne zastosowanie dzielników R19* i R21, R20* i R22.

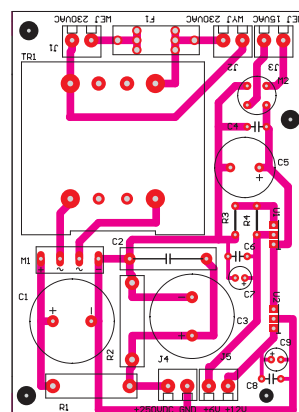
W modelu wartości prądów anodowych lamp L1, L2 są stosunkowo niskie, co wpływa jednak korzystnie na wartość wzmocnienia sygnału. Wymagane jest dość duże wzmocnienie ze względu na wysoką wartość napięcia sterującego siatkami wskaźników EM84 oraz dość niski poziom sygnału na wejściu przedwzmacniacza. Pełne wystawienie EM84 następuje przy napięciu wynoszącym około 22V. Zastosowane wskaźniki dostrojenia pozwalają uzyskać efekt wizualny w postaci „pasków” o zmieniającej się długości w zależności od poziomu sygnału dźwiękowego. Przy pełnym wystawieniu przerwa pomiędzy paskami jest najmniejsza.

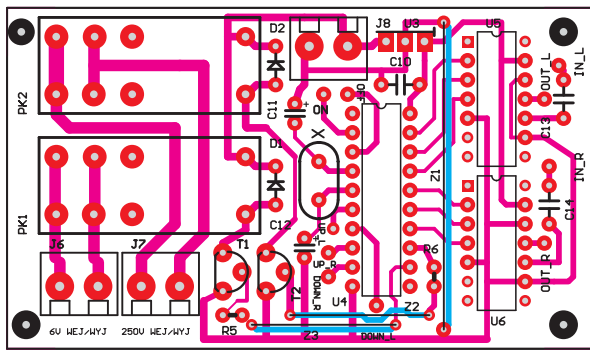
Lampy L3 i L4 wymagają napięcia żarzenia 6,3V i prądu 210mA, zaś lampy L1 i L2, w zależności od połączenia ich grzejników, napięcia 12V lub 6,3V. Żarzenie tych lamp połączono w taki sposób, aby możliwe było właśnie wykorzystanie napięcia 6,3V. **(Nie wszystkie lampy umożliwiają taki sposób połączenia!)** Prąd żarzenia tych lamp w takim przypadku wynosi 300mA. Rezystory R27 i R28 pozwalają dobrać wymagane wartości prądów żarzenia osobno dla wskaźników elektronowych i osobno dla pozostałych lamp. Warto jednak zastosować cztery oddzielne rezystory żarzenia dla każdej z lamp. Pozwoli to na uniknięcie ewentualnego ich niedożarzenia.

Montaż i uruchomienie

Montaż przedwzmacniacza można rozpocząć od montażu płytki drukowanej w zasilacza (rysunek 4). Stabilizator U1 warto zamontować poza płytką drukowaną zasilacza na radiatorze o odpowiedniej wielkości. Po zmontowaniu konieczne jest sprawdzenie

Rys. 4 Schemat montażowy zasilacza – skala 50%





Rys. 5 Schemat montażowy sterownika

obecności napięć +250VDC (może być nieco niższe), +6,3VDC i 12VDC na poszczególnych wyjściach gniazd J4 i J5. Następnie można przystąpić do montażu sterownika (rysunek 5). Pod potencjometry warto zastosować podstawki. Do punktów lutowniczych ON, OFF, UP_L, DOWN_L, UP_R, DOWN_R dolutować przyciski sterownicze. W kolejnym etapie należy wykonać połączenia pomiędzy gniazdami zasilacza a gniazdam sterownika i sprawdzić obecność napięcia +5VDC. Następnie do podstawek włożyć zaprogramowany procesor U4 oraz potencjometry U5 i U6. Po naciśnięciu przycisku ON powinien załączyć się przełącznik PK1, podając napięcie 6,3VDC na zacisk 2 gniazda J6, a po upływie ok. 40 sekund przełącznik PK2, podając napięcie +250VDC na zacisk 2 gniazda J7. Do wyprowadzeń 9 i 11 U5 należy podłączyć omomierz. Naciśnięcie przycisku UP_L powinno zwiększyć wartość rezystancji potencjometru, naciśnięcie przycisku DOWN_L – zmniejszyć. W podobny sposób należy sprawdzić reakcję potencjometru U6 na naciśnięcie przycisku UP_R i DOWN_R. Zmiana rezystancji potencjometrów powinna odbywać się w sposób logarytmiczny. Gdy potencjometry nie działają, w pierwszej kolejności należy sprawdzić stany na ich wejściach sterujących (powinny być zgodne z opisem zawartym w sposobie działania sterownika). Gdy nie działają także przełączniki, przyczyną usterki może być uszkodzony procesor i/lub kwarc X1. Naciśnięcie przycisku OFF wyłącza PK2, a po upływie 20 sekund również PK1. Stan zadziałania przełączników PK1 i PK2 można opcjonalnie zwizualizować poprzez użycie LED o różnej barwie świecenia (w modelu wykorzystano tylko jedną diodę LED do sygnalizacji obecności napięcia zasilania 12VDC). Na tym etapie można zakończyć

sprawdzenie poprawności działania zasilacza i sterownika.

Część lampowa przedwzmacniacza została zmontowana metodą przestrzenną wewnątrz obudowy typu Z. W górnej części obudowy wywiercono 4 otwory pod podstawki lamp. Podstawki lamp EM84 umieszczono po skrajnej lewej i prawej stronie obudowy, natomiast podstawki lamp ECC81 i ECC82 pośrodku. Montaż przestrzenny nie tylko pozwala w łatwy sposób wyeksponować lampy elek-

tronowe, ale także ułatwia ich chłodzenie oraz możliwość zmiany w przewodzeniu połączeń w przypadku pojawienia się ewentualnych zakłóceń. Wszystkie elementy oznaczone gwiazdką można dobrać do indywidualnych wymagań, o ile nie zostaną przekroczone wartości napięć i prądów anodowych, katodowych, napięć siatkowych oraz napięć i prądów żarzenia poszczególnych lamp L1-L4. Na szczęście lampy są elementami, które dosyć trudno uszkodzić. Szczegółowych danych należy szukać w notach katalogowych dostępnych bez problemu w Internecie. W modelu napięcie zasilania było równe 245VDC, a całkowity prąd anodowy wszystkich lamp nie przekroczył 8mA. Sumaryczny prąd żarzenia był mniejszy niż 1,1A (po 300mA na lampę L1, L2 oraz po 210mA na lampę L3, L4). Sposób dobierania kluczowych rezystancji przedwzmacniacza został szczegółowo i w przystępny sposób opisany w artykułach zawartych w „Elektronice dla Wszystkich” z cyklu *Lampy elektronowe*

– praktyka i teoria dla młodego elektronika w latach 2003–2004. Ponadto w sieci znajduje się wiele programów pozwalających w łatwy sposób zaprojektować poszczególne układy stosowane w konstrukcjach lampowych m.in. program ECCLab. Wszelkie obliczenia na podstawie charakterystyk dotyczą nowych lamp. Zwykle w konstrukcjach amatorskich stosuje się lampy używane lub tzw. NOS-y, których parametry mogą odbiegać od tych katalogowych, dlatego alternatywną metodą doboru wartości elementów jest metoda „odsluchowa”. W trakcie uruchamiania urządzenia okazało się, że występuje różnica w świeceniu wskaźników dostrojenia, mimo że lampy te nie były używane i pochodzą od tego samego producenta. Aby uzyskać zadawalający efekt, należałoby użyć lamp parowych, tzn. o jednakowych parametrach. Wszystkie połączenia należy wykonać przewodem o izolacji minimum 400V. Masa przedwzmacniacza powinna być prowadzona drutem o grubości 2mm². Również przewód doprowadzający napięcie żarzenia nie powinien być zbyt cienki i powinien być wykonany najlepiej w postaci skrętki. Po zmontowaniu i sprawdzenia poprawności montażu elementów części lampowej przedwzmacniacza można przystąpić do połączenia jej z zasilaczem i sterownikiem.

Na zakończenie nie pozostaje mi nic innego, jak życzyć Czytelnikom miłych chwil spędzonych w trakcie słuchania muzyki o lampowym brzmieniu.

Szymon Snarski
sps79@op.pl

Wykaz elementów

Zasilacz

R1	.....1kΩ/5W
R2	.....100kΩ
R3	.....1kΩ
R4	.....430Ω
C1	.....220μF/400V
C2	.....100nF/400V
C3	.....22μF/400V
C4,C6,C8	.....100nF
C5,C7,C9	.....100μF/16V
U1	.....LM350
U2	.....7812
TR1	.....TS6/51
TR2	.....12-15VAC/1,5A
M1	.....mostek prostowniczy min. 400V/1A
M2	.....mostek prostowniczy min. 50V/1,5A
J1-J5	.....gniazda ARK2
F1	.....bezpiecznik 250mA/250V

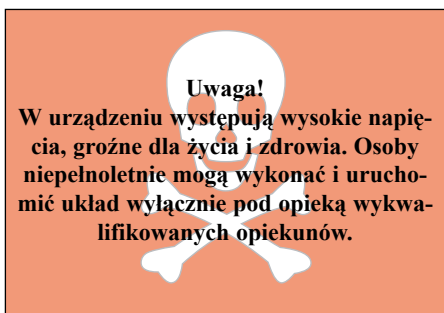
Sterownik

R5,R6	.....4,7kΩ
C10	.....100nF
C13,C14	.....100nF/400V (montowane pionowo)
C11,C12	.....33pF
T1,T2	.....BC547
D1,D2	.....1N4148

U3	.....7805
U4	.....AT90S2313 zaprogramowany
U5,U6	.....DS1666-010
X1	.....4MHz
PK1,PK2	.....RM82 12V
J6-J8	.....gniazda ARK2
Podstawki: DIL 20pin – 1 szt., DIL 14pin – 2 szt.	
Przycisk (NO normalnie otwarty) – 6 szt.	

Przedwzmacniacz

L1	.....ECC81 lub podobna
L2	.....ECC82 lub podobna
L3,L4	.....EM84
R7*,R8*	.....100-220kΩ
R9*,R10*	.....~1kΩ
R11,R12,R23,R24	.....1MΩ
R13*,R14*,R25,R26	.....470kΩ
R15*,R16*	.....0-800Ω
R17*,R18*	.....5,6kΩ
R19*,R20*	.....dobierany
R21,R22	.....100kΩ
R27,R28	.....dobierany (10-20Ω min. 5W)
C15-C22	.....100nF/400V
Podstawki typu noval montowane do obudowy – 4 szt.	
Gniazda typu chinch montowane do obudowy – 4 szt.	
Obudowa metalowa (najlepiej)	
Przewód sieciowy, przepust gumowy itp.	



Płytką drukowaną jest dostępna

w sieci handlowej AVT jako kit szkolny AVT-2915.