

Dział „Projekty Czytelników” zawiera opisy projektów nadesłanych do redakcji EP przez Czytelników. Redakcja nie bierze odpowiedzialności za prawidłowe działanie opisywanych układów, gdyż nie testujemy ich laboratoryjnie, chociaż sprawdzamy poprawność konstrukcji. Prosimy o nadsyłanie własnych projektów z modelami (do zwrotu). Do artykułu należy dołączyć podpisane oświadczenie, że artykuł jest własnym opracowaniem autora i nie był dotychczas nigdzie publikowany. Honorarium za publikację w tym dziale wynosi 250,- zł (brutto) za 1 stronę w EP. Przesyłanych tekstów nie zwracamy. Redakcja zastrzega sobie prawo do dokonywania skrótów.

Lampowy wskaźnik wysterowania

Projekt
193

Lampy elektronowe wydają się być już na stałe skojarzone z domowymi systemami Hi-Fi. Popularność wzmacniaczy na nich opartych rośnie z dnia na dzień i nic nie zapowiada kryzysu w tej dziedzinie. Co za tym idzie, spadają ceny takich urządzeń. Czy niewielkim nakładem sił i środków można wyposażyć swój tranzystorowy zestaw audio w lampowy akcent? Oczywiście!

Lampowy wskaźnik wysterowania to efektowny gadżet, który może urozmaicić wieczorne słuchanie ulubionej muzyki. Podrygujące wskazówki oraz delikatna, pomarańczowa poświata niczym płomień skaczący wesoło w kominku... Kto z nas tego nie lubi? Koszt budowy waha się w okolicach 20...50 zł, w zależności od zapasów spoczywających na dnie szuflady. Budowa takiego wskaźnika to idealna okazja do przejrzania starych szpargałów - wiele z nich z powodzeniem można zastosować w tej konstrukcji.

Wskaźnik jest zasilany niskim napięciem (12 V), zatem użytkownik nie ma możliwości zostać porażonym siecią energetyczną. Zastosowana wewnątrz przetwornica wytwarza niewysokie napięcie (ok. 50 V), które przy zachowaniu podstawowych środków ostrożności nie zagraża zdrowiu.

Opis działania

Schemat ideowy (rysunek 1) można rozpatrywać w dwóch częściach: półprzewodnikowej oraz lampowej. Pierwsza dostarcza lampom odpowiednich napięć, natomiast druga jest bezpośrednio odpowiedzialna za obsługę wskaźników wysterowania. Dzięki zastosowaniu przetwornic impulsowych, układ do uruchomienia wymaga jedynie nieskomplikowanej regulacji.

Zasilacz dostarcza trzech kluczowych napięć:

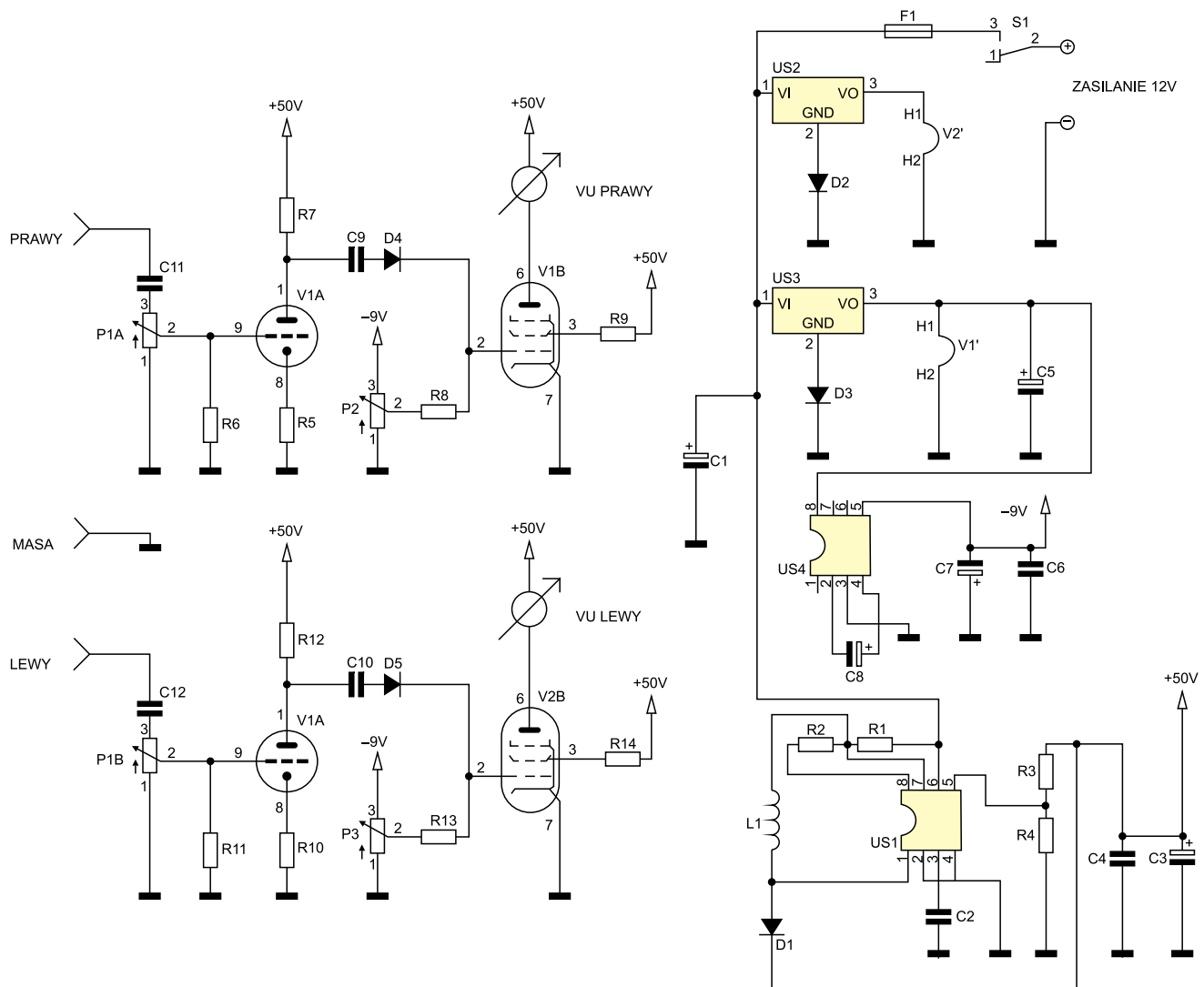


- 9,7 V żarzenia, oddzielnie dla każdej lampy,
- 50 V napięcia podawanego na anody i siatki ekranujące,
- -9 V do polaryzacji siatek sterujących.

Zastosowane w projekcie lampy typu PCF82 wymagają napięcie żarzenia wynoszącego w przybliżeniu 9,5 V. Dlatego użyto stabilizatorów typu LM7089 (US2 i US3) w najbardziej typowej dla siebie aplikacji. Dioda krzemowa włączona w szereg z nóżką 2 (D2 i D3) podnosi jego napięcie odniesienia o około 0,7 V, co skutkuje zwiększeniem napięcia wyjściowego do 9,7 V. Zastosowanie oddzielnych stabilizatorów pozwala na użycie różnych lamp (o tym w dalszej części artykułu) oraz rozdzielanie strat mocy na dwa

odrębne elementy, co znacznie ułatwia ich skuteczne odprowadzanie. Ponadto, przez kilka sekund od włączenia grzejniki pobierają prąd dużo wyższy (nawet 700 mA) od nominalnego, co w przypadku użycia pojedynczego stabilizatora skutkowałoby włączaniem się zabezpieczenia przeciwzwarcowego.

Ujemne napięcie dla siatek sterujących jest wytwarzane przez łatwo dostępny układ ICL7660 (US4). Uwagę zwraca jego zasilanie - z wyjścia układu US3, co jest podyktowane ograniczeniem narzuconym przez producenta: nie może on być zasilany napięciem wyższym niż 10 V. Kondensator C5 zapobiega rozprzestrzenianiu się wytwarzanych zakłóceń, C6 i C7 filtrują napięcie wyjściowe, natomiast C8 jest niezbędny do pracy pompy ładunku.



Rysunek 1. Schemat ideowy lampowego wskaźnikaysterowania

Zasada działania takiej „pompy” jest prosta: kondensator ładuje się napięciem zasilającym, po czym podłącza do wyjścia, ale z odwróconą biegunowością – okładzina dodatnia jest dołączana do potencjału masy. Powtarzanie tego cyklu kilka tysięcy razy na sekundę umożliwia uzyskanie niezbędnej (kilkanaście miliamperów) wydajności prądowej.

Za zasilanie anod lamp odpowiada układ MC34063A pracujący w aplikacji dwutaktowej przetwornicy podwyższającej napięcie. W pierwszym taktie wewnętrzny tranzystor wyjściowy zwiiera nóżkę 1 do masy, co powoduje przepływ prądu przez cewkę L1. W rdzeniu indukuje się pole magnetyczne. W drugim taktie tranzystor ten zatyka się, a wówczas słabnące pole magnetyczne indukuje w cewce napięcie, zgodnie z zasadą zachowania energii oraz równaniem:

$$\varepsilon = -L \frac{\Delta i}{\Delta t}$$

gdzie: ε – siła elektromotoryczna samoindukcji [V], L – indukcyjność cewki [H], Δi – zmiana wartości płynącego prądu [A], Δt – czas, w którym ta zmiana się dokonała [s].

Dioda D1 ukierunkowuje pulsujący prąd przemienny i podaje go na filtr złożony z C3

i C4. Dzielnik R3+R4 odgrywa ważną rolę w stabilizacji napięcia wyjściowego – na nóżkę 5 układu podawana jest dokładnie 1/40 tego napięcia. Kondensator C2 ustala częstotliwość kluczowania na ok. 90 kHz. Tak wysoka wartość pozwala na niedopuszczenie do powstania nieprzyjemnego pisku rdzenia na skutek zjawiska magnetostrykcji oraz stosowanie małych indukcyjności, rzędu kilkuset mikrohenrów. Rezystor R2 kontroluje prąd tranzystora sterującego kluczem wyjściowym. Pomiar spadku napięcia na R1 nie dopuszcza do przeciążenia przetwornicy oraz bierze udział podczas pierwszego taktu pracy przetwornicy.

Lampowy fragment urządzenia składa się z dwóch identycznych kanałów. Są one identyczne, więc opiszę tylko kanał prawy.

Sygnal o częstotliwości akustycznej jest podawany na dzielnik oporowy, którym jest połowa podwójnego potencjometru P1. Aby zabezpieczyć się przed zgubnymi skutkami oddziaływania składowej stałej, zastosowano kondensator C11. Z suwaka trafia on na siatkę sterującą triody V1A. Ta trioda pracuje w układzie wzmacniacza oporowego o wspólnej katodzie, jego wzmocnienie napięciowe wynosi około 10 V/V. W tym celu siatka musi

być spolaryzowana ujemnie względem katody, co umożliwia zastosowanie rezystora katodowego R5. Pokazano to na **rysunku 2**.

Zmieniające się napięcie na siatce powoduje zmianę prądu anodowego. Włączony w szereg z anodą rezystor R7 pełni rolę przetwornika prąd-napięcie.

Wzmocniony sygnał małej częstotliwości trafia na kondensator C9, który oddziela składową zmienną od składowej stałej o wysokim potencjale. Jego likwidacja skutkowałaby nieprawidłowym działaniem układu lub nawet zniszczeniem lampy. Dlatego ważne jest, by kondensator ten był dobrej jakości i na odpowiednio wysokie napięcie. Dioda D4 prostuje przebieg zmienny, przepuszczając jedynie dodatnie połówki sygnału, które następnie są kierowane na siatkę sterującą pentody V1B. Ta siatka jest wstępnie spolaryzowana napięciem pochodzącym z potencjometru P3 w taki sposób, aby przez lampę nie płynął prąd. Rezystor R13 zwiększa impedancję zasilacza siatki, co zapobiega zwieraniu sygnału odbieranego z katody D4.

Pentoda ma o dwie siatki więcej od triody: drugą (zwaną ekranującą) i trzecią (zwaną zerową lub antydyndatronową). Siatki zawsze są

Wykaz elementów

Rezystory: (wszystkie o mocy 0,25 W)

- R1: 2,2 Ω
- R2: 180 Ω
- R3: 39 kΩ
- R4, R9, R14: 820 Ω
- R5, R10: 220...820 kΩ
- R6, R8, R11, R13: 22 kΩ
- R7, R12: 22 kΩ
- P1: 2×47...100 kΩ A lub B
- P2, P3: 10...47 kΩ

Kondensatory:

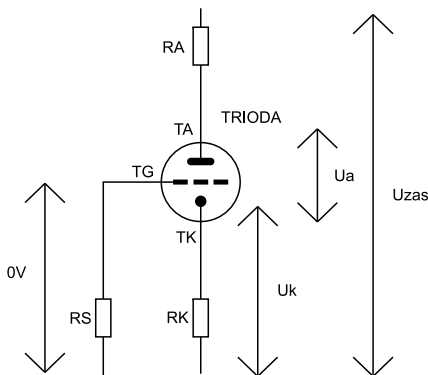
- C1: 1000 μF/16 V elektrolityczny
- C2: 330 pF ceramiczny
- C3: 47...100 μF/100 V elektrolityczny
- C4: 47 nF/100 V
- C5, C7: 22...47 μF/16 V elektrolityczne
- C6: 10...100 nF ceramiczny
- C8: 10 μF/16 V
- C9, C10: 47...220 nF/100 V
- C11, C12: 100...470 nF

Półprzewodniki:

- D1, D2, D3: 1N4148
- D4, D5: np. 1N5817
- US1: MC34063A
- US2, US3: LM7809
- US4: ICL7660

Inne:

- V1, V2: PCF82
- Podstawki noval: Do druku, 2 szt.
- L1: 220...470 μH/0,3 A dławik pionowy
- F1: Bezpiecznik zwłoczny 1 A
- VU: Mikroamperomierz 2 sztuki
- Gniazdo zasilania
- Gniazdo mini-jack
- Wyłącznik
- Radiatory na stabilizatory 7809 2 szt.



Rysunek 2. Zasada działania automatycznej polaryzacji. Siatka znajduje się na potencjale masy, zaś katoda na niewielkim potencjale dodatnim. Biorąc katodę jako punkt odniesienia, siatka ma potencjał ujemny. Układ ten nie może funkcjonować bez rezystora siatkowego [RS].

numerowane zaczynając od tej, która znajduje się najbliżej katody. Siatka druga ma potencjał anody lub niewiele mniejszy, dzięki czemu rozpędza wyhamowane elektrony opuszczające siatkę sterującą. Tak przygotowane elektrony przelatują przez rzadkie zwoje siatki trzeciej i trafiają finalnie w anodę. W niesprzyjających warunkach możliwe jest zaobserwowanie zjawiska dynatronowego – elektrony mając dostatecznie dużą energię kinetyczną wybijają z anody elektrony wtórne, które kierują się w stronę siatki ekranującej niekorzystnie

zwiększając jej prąd. Zapobiega mu siatka trzecia, która wybite elektrony kieruje z powrotem do katody. Istnieją oczywiście lampy o większej liczbie siatek lub odmiennej konstrukcji elektrod, lecz nie będziemy się nimi w tym momencie zajmować.

We wskaźniku pentoda pełni funkcję przetwornika napięcie/prąd, zgodnie z równaniem:

$$\Delta I_a = S_a \times U_{wej}$$

gdzie: ΔI_a – zmiana prądu anodowego [mA], S_a – nachylenie charakterystyki [mA/V], U_{wej} – amplituda napięcia sterującego.

Rezystor R9 nie dopuszcza do przekroczenia maksymalnej mocy admysyjnej siatki ekranującej w przypadku wystąpienia awarii w układzie zasilacza ujemnego napięcia lub przesterowania.

Budowa i uruchomienie

Układ zmontowano na jednostronnej płytce drukowanej o wymiarach 116 mm×60 mm. Jej schemat montażowy pokazano na **rysunku 3**.

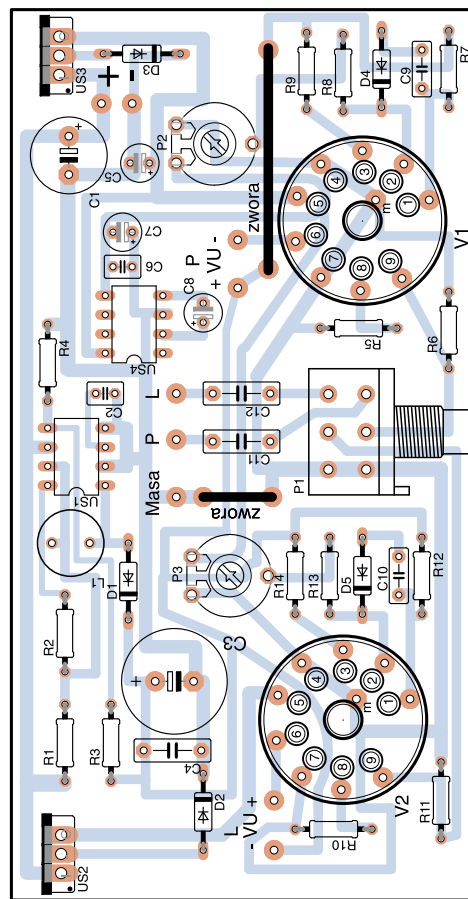
Montaż elementów wykonywano wyłącznie techniką przewlekana. Konieczne jest zastosowanie pod lampy podstawek montowanych do druku, gdyż próba bezpośredniego wlutowania nóżek lampy najprawdopodobniej zakończyłaby się jej pęknięciem i rozszczelnieniem. Wartości wielu elementów nie są krytyczne, pamiętać jednak należy o tym, by w obu kanałach użyć identycznych – w przeciwnym razie wskaźniki nie będą miały jednakowej czułości.

W urządzeniu modelowym zastosowano tanie i łatwodostępne PCF82, lecz istnieje możliwość zastosowania bliźniaczej ECF82. Jest ona żarzona napięciem 6,3 V przy poborze prądu ok. 450 mA. Wówczas należy stabilizatory US2 i US3 wymienić na układy typu LM7805, natomiast do diod D2 i D3 włączyć szeregowo jeszcze jedną. Dzięki temu napięcie na wyjściu wyniesie ok. 6,4 V, co mieści się w tolerancji lamp. By zredukować nagrzewanie się układów, napięcie zasilania warto zmniejszyć do 8...9 V. Wtedy też wartość bezpiecznika F1 należy zwiększyć do 1,6 A. Nieduże radiatory na stabilizatorach są obowiązkowe w każdym przypadku.

Przed pierwszym uruchomieniem należy skrócić ślizgacze potencjometrów P2 i P3 w stronę napięć najbardziej ujemnych, zaś P1 w stronę masy. Po półminutowym rozgrzaniu wskazówki winny pozostać nieruchome. Następnie trzeba tak ustawić P2, by wskazówka była na granicy zauważalnego wychylenia, potem tę operację powtarza się dla P3. Po ewentualnej korekcie układ jest gotowy do pracy. Potencjometrem P1 ustala się wzmocnienie układu i – co za tym idzie – amplitudę wychyleń.

I co dalej?

Zaprezentowany układ ma szerokie możliwości rozbudowy i modyfikacji.



Rysunek 3. Schemat montażowy wskaźnika

Możliwe jest spowolnienie ruchów wskaźówek poprzez dolutowanie niedużych (2,2...22 μF/16 V) kondensatorów elektrolitycznych równolegle do cewek mikroamperomierzy. Dodanie kolejnych kanałów również nie stanowi problemu – przetwornice ukazane na schematach bez problemu zasilają ich sześć czy siedem. Co więcej, wmontowanie filtrów o odpowiedniej charakterystyce przenoszenia, po jednym do każdego kanału w szereg z diodą prostującą napięcie dla siatki sterującej, skutkuje otrzymaniem skutownego analizatora widma. Wstawiając na wejściu prosty kompresor dynamiki zbudowany na wzmacniaczu operacyjnym można obejść się bez „podregulowywania” potencjometrem P1 w przypadku korzystania ze źródła sygnału o nieznormalizowanej amplitudzie sygnału wyjściowego.

Układ modelowy został osadzony w prostej, drewnianej skrzyneczce ze sklejką 10 mm z przednią ścianką wykonaną z przezroczystej pleksi grubości 2 mm. Dzięki temu jest możliwe bezproblemowe wyeksponowanie lamp i reszty podzespołów, które, oświetlone przez żarniki, wyglądają naprawdę efektownie. Zachęcam Czytelników do realizacji własnych, oryginalnych koncepcji.

Michał Kurzela
furzaczek@o2.pl