

# Hybrydowy wzmacniacz słuchawkowy

*Popularne, dobrze nam znane lampy elektronowe, które były wykorzystywane w dawnym sprzęcie elektronicznym powszechnego użytku, miały swoje wojskowe odpowiedniki. Ciężkie warunki pola walki, w jakich musiały normalnie pracować, stawiały przed tymi elementami bardzo ostre wymagania techniczne.*

*Lamp takich nie ma na rynku zbyt wiele? To prawda. Jednak ich zdobycie nie jest niemożliwe, a warto zadać sobie trochę trudu, bo konstrukcja wykonana przy ich użyciu może robić wrażenie. Użyte w opisywanym wzmacniaczu lampki zużywają na żarzenie zaledwie po 11 miliamperów z akumulatorka NiCd 1,2V.*

**Rekomendacje:** polecamy wszystkim fanom „lampowego” brzmienia, którzy nie chcą zakłócać spokoju innym domownikom.



## Lampy miniaturowe

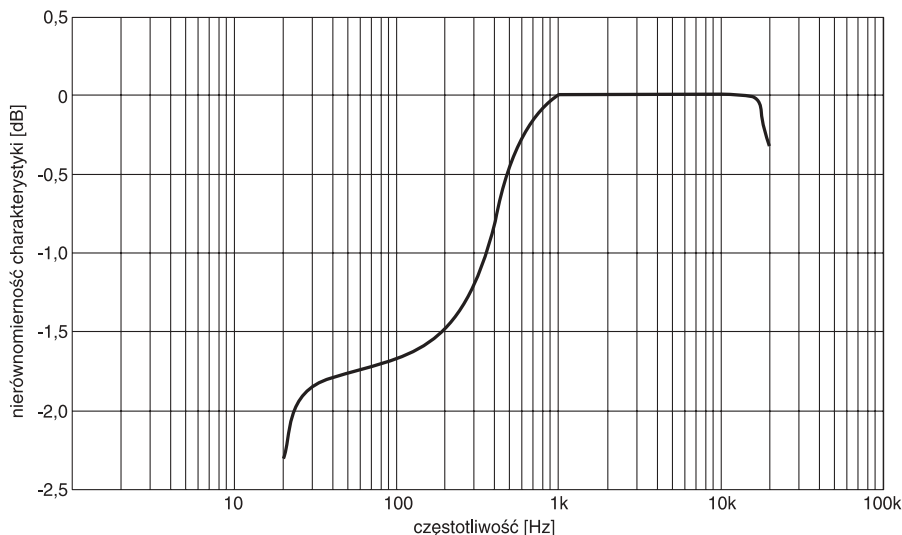
Miniaturyzacja urządzeń elektronicznych najszybciej wkroczyła chyba do wojska. Bardzo ważne było bowiem, by aparatura samolotu czy plecakowa radiostacja były możliwie lekkie i niezawodne. Na fot. 1 znajduje się wojskowa lampa - pentoda RV12P2000, która była powszechnie stosowana w okresie II wojny światowej w radiostacjach samolotów niemieckich. Była to specjalna lampa odporna na wstrząsy. Dla porównania na tym samym zdjęciu znajduje się o wiele większa, wymyślona znacznie później popularna pentoda EF80. Lampa RV12P2000 charakteryzowała się małym prądem żarzenia: 75 mA przy napięciu 12,6 V. Zwraca uwagę różnorodność jej zastosowań: mogła być wzmacniaczem w.cz., wzmacniaczem m.cz., audionem (detektorem), oscylatorem i wreszcie pentodą mocy. Jeszcze długo po wojnie można było spotkać opisy budowy odbiorników z tymi lampami. Pracowały one zadowalająco już przy napięciu anodowym około 30V.

Oprócz lampy RV12P2000 produkowano także inne typy pokrewne, jak np. RV2P700,

RV2P800, RV12P3000, RV12P4000. Godne wspomnienia są także miniaturowe lampy nuwistorowe (nuvistory) - ostatni krzyk lamp przed ich ostatecznym pokonaniem technologicznym przez tranzystory. Lampy te, wykonane w metalowej obudowie, były gdzieś (zwłaszcza w obwodach w.cz.) lepsze od tranzystorów i miały niewielkie wymiary. Wyglądem przypominały nieco tranzystory. Triody nuwistorowe



Fot. 1. Porównanie wojskowej lampy RV12P2000 z popularną pentodą EF80



Rys. 1. Charakterystyka amplitudowo-częstotliwościowa wzmacniacza

7586 były zastosowane np. w polskich oscyloskopach OS-150, produkowanych z górą 30 lat temu. Lampy te są obecnie spotykane dość rzadko, łatwiejsze do zdobycia są wojskowe lampy radzieckie w obudowie szklanej.

### Budowa wzmacniacza

Prezentowany wzmacniacz słuchawkowy jest układem hybrydowym, zawierającym oprócz lamp tranzystory JFET.

W projekcie zastosowałem miniaturowe pentody bezpośrednio żarzone typu 1Ж24б (1Z24b). Są one dużo mniejsze i mniej prądożerne od RV12P2000. Dane techniczne lampy 1Ж24б przedstawiono w tab. 1.

Amplituda sygnału wejściowego dla pełnego wysterowania opisywanego wzmacniacza wynosi około 50 mV, zaś nierównomierność charakterystyki około 2,3 dB w zakresie częstotliwości 20Hz-20kHz. Charakterystyka amplitudowo-częstotliwościowa wzmacniacza jest zamieszczona na rys. 1.

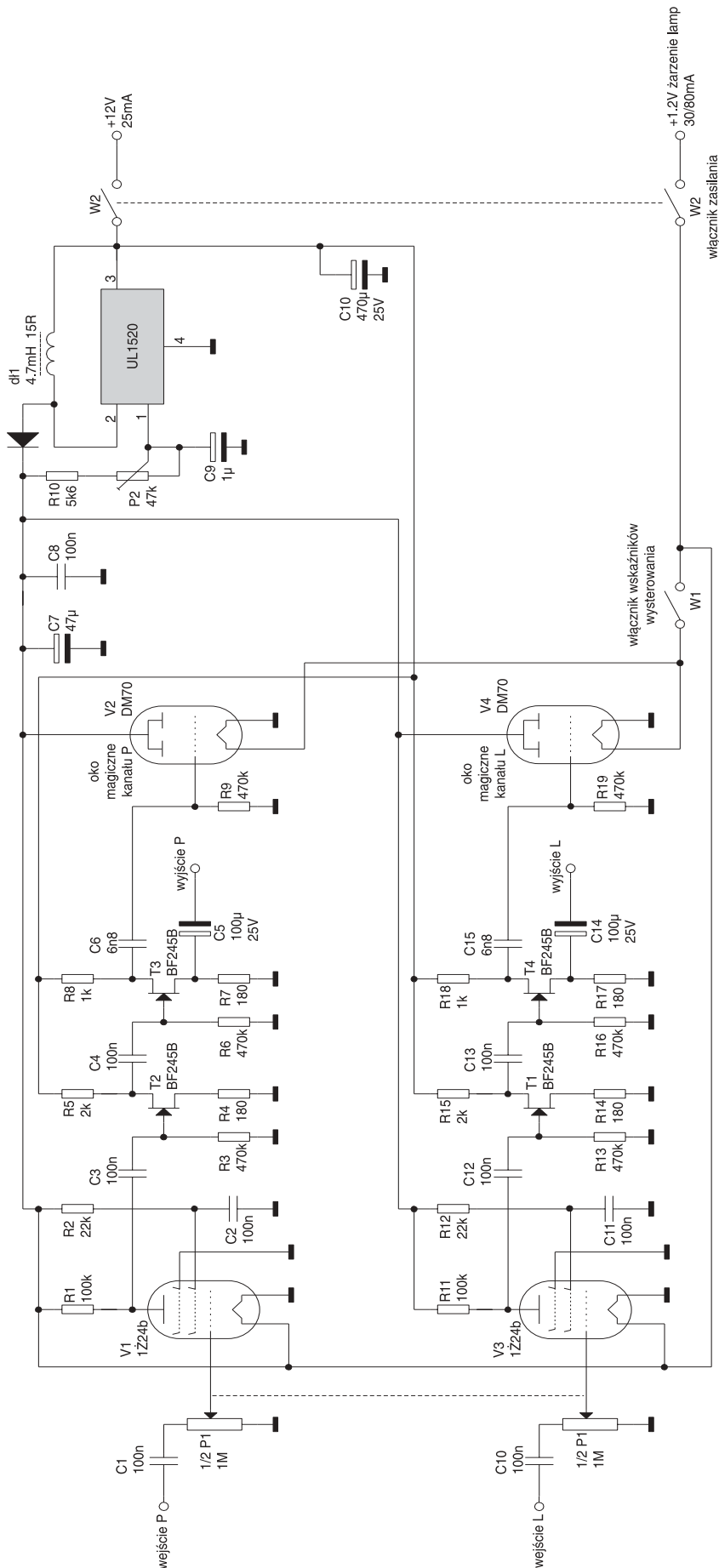
Schemat elektryczny wzmacniacza pokazano na rys. 2. Sygnał wejściowy z obu kanałów jest podawany na podwójny potencjometr regulatora głośności P1. Stąd kierowany jest do wzmacniaczy wstępnych. Wzmacniacze wstępne kanałów L i P zrealizowano na pentodach V1 i V2 typu 1Z24b. Ich wzmacnienie wynosi około 10 V/V. Nie jest to dużo, biorąc pod uwagę możliwości pentody. Należy jednak zaznaczyć, że lampy pracują przy obniżonym napięciu

anodowym. Można co prawda uzyskać większe wzmacnienie, ale stopień będzie się łatwo przestawiał. Oznacza to, że mimo dużego wzmacnienia uzyskiwany sygnał ze stopnia nie mógłby mieć dużej wartości. Lampy V1 i V2 nie pobierają dużego prądu żarzenia - maksimum po 15 mA z ogniwa 1,2V. Napięcie polaryzacji siatek sterujących tych lamp wynosi około 0 V. Kolejne stopnie wzmacnienia kanałów L i P są zrealizowane na unipolarnych tranzystorach T1 i T2 typu BF245B. Stopnie z tranzystorami T1 i T2 zapewniają wzmacnienie ok. 5 V/V. Aby można było przyłączyć do wzmacniacza słuchawki niskoomowe (32Ω), zastosowano wtórnik źródłowy z tranzystorami T3 i T4, również typu BF245B. Tranzystory T1 i T2 oraz T3 i T4 dobrano parami, przy czym tranzystory o większej wartości prądu drenu  $I_d$  przy  $U_{gs}=0$  V należy użyć jako wtórnik T3 i T4. W modelu T3 i T4 mają następujące parametry:  $I_d=9,1$  mA przy  $U_{gs}=0$  V,  $U_{ds}=5,3$  V;  $U_{gs\ off}=-3,3$  V. W innym egzemplarzu pracują tranzystory o parametrach:  $I_d=8,7$  mA przy  $U_{gs}=0$  V,  $U_{ds}=5,3$  V;  $U_{gs\ off}=-3,1$  V. W tym przypadku niezbędne okazało się zwiększenie wartości R7 i R17 do 300Ω. W obu modelach T1 i T2 mają podobne parametry ( $I_{d0}=7,7$  mA,  $U_{gs\ off}=-2,75$  V przy  $U_{ds}=5,3$  V). Możliwe, że w przypadku zastosowania tranzystorów o innych parametrach konieczna okaże się korekta rezystancji R4 i R14. W układzie zastosowano miniaturowe

baterijne wskaźniki wysterowania (oko magiczne) V3 i V4 typu DM70, stosowane niegdyś np. w niektórych odbiornikach produkcji krajowej jak „Violetta“ czy baterijna „Szarotka“. Lampy te, produkowane przez zakłady Przemysłowego Instytutu Elektroniki we Wrocławiu należą niestety do rzadkości. Zrezygnowano z włączenia prostowników w obwody siatek tych lamp, gdyż zmalałaby ich czułość i nie dałoby się ich w prosty sposób sterować.

Z racji stosunkowo dużego poboru prądu żarzenia przez lampę wskaźnikową (25 mA) zastosowano oddzielny włącznik wskaźników wysterowania W1. Gdy jest on wyłączony, wzmacniacz pracuje ekonomiczniej, pobór prądu z akumulatora żarzenia wynosi wtedy maksimum 30 mA. Przy włączonych wskaźnikach pobór prądu żarzenia może wynieść przeszło 80 mA. Pobór prądu z akumulatora 12 V wynosi około 25 mA, niezależnie od tego, czy wskaźniki są włączone, czy nie. Wzmacniacz wymaga do pracy w istocie trzech napięć zasilających: 1,2 V dla żarzenia lamp z akumulatora NiCd, 12 V dla tranzystorów - z akumulatora ołowiowego i 35 V jako napięcia anodowego lamp. To ostatnie napięcie jest uzyskiwane za pomocą przetwornicy typu UL1520. Mimo że nie jest ona już produkowana, o jej zastosowaniu zdecydowała duża prostota układu - wymagane jest użycie tylko jednej diody, dławika, kondensatora, opornika i potencjometru. Poza tym cena tego elementu na warszawskim Wolulenie to tylko 3 zł 50gr. Dławik można kupić gotowy, przy czym ważna jest jego indukcyjność i oporność czynna. W przypadku niewłaściwego doboru parametrów wzrośnie niepotrzebnie

Tab.1 Parametry lampy 1Z24b	
napięcie żarzenia	0,95-1,4 V
prąd żarzenia	11-15 mA
napięcie anodowe	120 V
napięcie siatki $S_2$	90 V
prąd anodowy	0,5-1,4 mA
prąd siatki $S_2$	0,1 mA
nachylenie $g_m$	0,6-1,2 mA/V
wysokość bańki	45 mm
szerokość bańki	8 mm



Rys. 2. Schemat wzmacniacza słuchawkowego

wartość prądu pobieranego przez przetwornicę. Przy prawidłowo dobranym dławiku prąd pobierany przez przetwornicę nie przekracza 8 mA. Nie zalecam żarzenia lamp ze źródła 12 V za pomocą np. przetwornicy, gdyż w razie jej awarii mogą ulec spaleni wrażliwe na przeciążenia włókna lamp. Akumulator żarzenia 1,2 V ma pojemność 1200 mAh, akumulator 12 V 1,3 Ah. Zapewnia to wielogodzinną pracę urządzenia. Napięcie zasilania 12 V może być zwiększone do 16 V. Wzrasta wtedy nieco moc wyjściowa.

Wzmacniacz został zmontowany na płytce drukowanej o wymiarach około 13,8x4,3 cm. Obudowa wzmacniacza jest wyposażona w gumowe nóżki w celu lepszej amortyzacji. Zapobiega to mikrofonowaniu lamp.

### Mikrofonowanie lamp bezpośrednio żarzonych - nieco teorii

We wzmacniaczu zastosowano bateryjne lampy o bezpośrednim żarzeniu. Lampy takie odznaczają się niestety znacznym mikrofonowaniem, co ujawnia się szczególnie silnie, gdy lampka pracuje w stopniu wejściowym wzmacniacza. Zakłócenie tego typu objawia się często dzwięczeniem lub dzwonieniem. Uprościmy nieco sprawę i w celu wyjaśnienia przyczyny powstawania tego szkodliwego zjawiska rozpatrzmy konstrukcję i pojemności międzyelektrodowe triody bezpośrednio żarzonej (rys. 3).

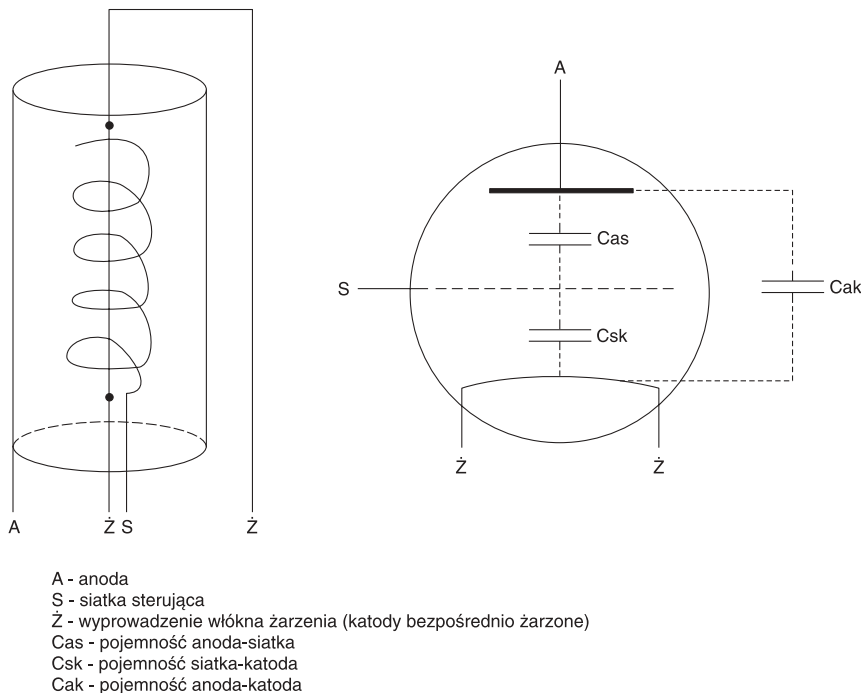
Parametr triody zwany przechwytem D może być definiowany dwojako. Można go określić jako stosunek pojemności anoda-katoda do pojemności siatka-katoda:

$$D = \frac{C_{ak}}{C_{sk}}$$

Często jednak przechwyty określa się jako stosunek zmiany napięcia na siatce do zmiany napięcia na anodzie przy stałej wartości prądu anodowego. Parametr D jest więc odwrotnością współczynnika amplifikacji  $K_a$ :

$$D = \frac{|\Delta U_s|}{|\Delta U_a|} = \frac{1}{K_a}$$

przy  $I_a = \text{const.}$



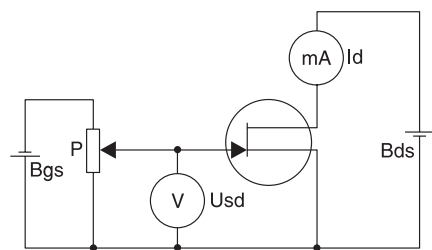
Rys. 3. Przykładowa konstrukcja elektrod triody bezpośrednio żarzonej (rysunek z lewej strony) i pojemności międzyelektrodowe lampy (rysunek z prawej strony)

Definicja ta umożliwi wyznaczenie przechwyty z rodziny charakterystyk anodowych lampy  $I_a=f(U_a)$ . Należy jednak dodać, że jest to możliwe, o ile rozpatruje się prostoliniową część charakterystyki, a nie jej część dolną, silnie zakrzywioną. Przechwyt triod jest znacznie mniejszy od jednościi, gdyż  $C_{ak} \ll C_{sk}$ . Wzmocnienie napięciowe triody w układzie ze wspólną katodą jest równe:

$$Ku = \frac{Ka}{1 + \frac{\rho}{Ro}}$$

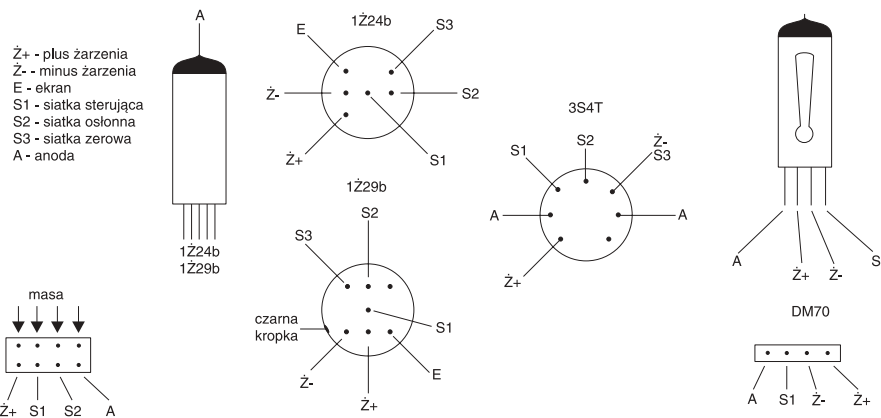
gdzie:

- $K_a$  - współczynnik amplifikacji;
- $\rho$  - rezystancja wewnętrzna lampy;
- $R_o$  - rezystancja obciążenia.



Rys. 4. Układ wyznaczania charakterystyki  $I_d=f(U_{gs})$  przy  $U_d=const$

Teraz łatwo dostrzec przyczynę silnego mikrofonowania lamp bezpośrednio żarzonych. Wątle i długie włókno żarzenia lampy bezpośrednio żarzonej jest podpierane mostkiem mikowym jedynie na końcach włókna. Dlatego może ono wpadać w drgania mechaniczne, np. wskutek drgań konstrukcji wzmacniacza. To powoduje z kolei zmianę pojemności  $C_{sk}$  i zmiany wartości współczynnika amplifikacji  $K_a$  w takt drgań. Z ostatniego wzoru widać zaś, że wzmocnienie lampy zmienia się także w takt tych drgań.



Rys. 5. Rozkład wyprowadzeń lamp i rzut z dołu na wtyczki "goldpin"

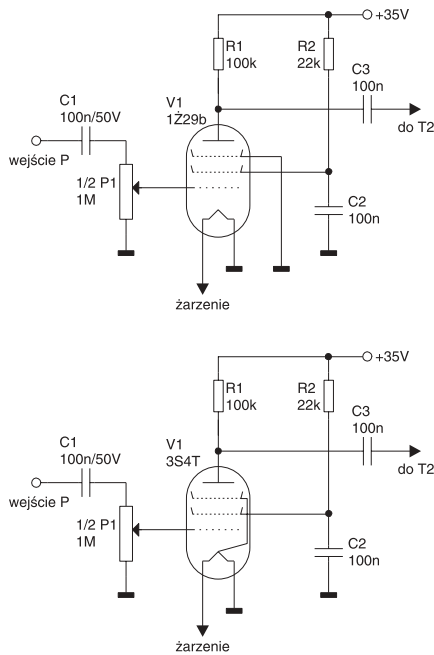
Inaczej sprawa przedstawia się w lampach pośrednio żarzonych z masywną katodą. Te lampy są znacznie bardziej odporne na mikrofonowanie. Ceną za to jest jednak większy pobór prądu żarzenia.

### Montaż i uruchomienie

Montaż na płytce drukowanej nie powinien sprawić większych trudności, ograniczyć się więc tylko do kilku wyjaśnień. Poświęćmy chwilę sposobowi doboru tranzystorów. Służy do tego układ z rys. 4.

Wystarczy dobrać tranzystory o możliwie zbliżonym napięciu odcięcia  $U_{gs\ off}$  i podobnym prądzie  $I_d$ , przy  $U_{gs}=0\ V$ . Z pięćdziesięciu sztuk udało się w ten sposób wybrać 8 par tranzystorów. Parowanie jest zalecane z tego względu, że osiąga się lepszą symetrię obu kanałów. Bateria  $B_{gs}$  o napięciu 9 V, bateria  $B_{ds}$  o napięciu 4,5 V. Zamiast baterii można zresztą użyć odpowiednich zasilaczy. Rozrzut parametrów zastosowanych lamp nie jest z reguły znaczny - pamiętajmy, że są to lampy wojskowe. Nie zachodzi więc konieczność ich dobierania. Inaczej jest ze wskaźnikami wysterowania DM70 - odznaczają się one już nieco większym rozrzutem. O ile jest to możliwe, dobrze jest je dobrać tak, by miały podobną czułość.

Lampy montuje się za pomocą gniazd typu goldpin - rys. 5. Zdając sobie sprawę z trudności w zdobyciu lamp, otworzyłem w ten sposób drogę do zastosowania innych lamp bateryjnych,



Rys. 6. Stopień wejściowy z lampą 1Z29b lub 3S4T (jeden kanał)

np. 1Ж29б (1Z29b), 1S4T czy 3S4T, które można podpiąć na przewodach. Zaleca się w takim przypadku ekranowanie doprowadzenia do siatki sterującej. Lampa 3S4T od popularnego niegdyś odbiornika bateryjnego „Szarotka” jest dość łatwa do nabycia (cena około 10 zł/szt). W przypadku zastosowania lamp 1Z29b i 3S4T wykorzystuje się tylko

jedną połowę włókna żarzenia. Inny jest nieco układ połączeń i wartość rezystancji R2 i R12 - rys. 6. Pobór prądu żarzenia przez lampę 1Z29b wynosi około 30 mA, zaś przez lampę 3S4T około 25 mA. Układ będzie więc pracować nieco mniej ekonomicznie niż w przypadku użycia lampy 1Z24b.

Montaż lamp 1Z24b, 1Z29b i DM70 polega na bezpośrednim lutowaniu ich wyprowadzeń do złożonych blaszek, które następnie należy wcisnąć w plastikową obudowę wtyku „goldpin”. Ekran wewnętrzny lamp łączy się z masą. Wciskając wyprowadzenia lampy DM70 należy pamiętać, aby zamienić miejscami nóżkę czwartą i drugą lampy (patrzac od strony świecącego ekranu) - rys. 5. Po wlutowaniu wszystkich elementów i podaniu napięć zasilających układ powinien pracować od razu. Należy ostrzec przed omyłkowym podaniem napięcia 12 V na włókna żarzenia lamp. Grozi to ich spalaniem. Zamiana biegunów żarzenia, zwłaszcza w przypadku użycia lamp 1Z24b, objawia się zniekształceniami. Jedyną czynnością regulacyjną jest ustawienie potencjometru P2 tak, aby napięcie uzyskiwane z przetwornicy wynosiło 35 V.

**Aleksander Zawada, AVT**  
[aleksander.zawada@ep.com.pl](mailto:aleksander.zawada@ep.com.pl)

## WYKAZ ELEMENTÓW

### Rezystory

R1, R11: 100kΩ/0,6 W 1%  
 R2, R12: 22kΩ/ 0,6 W 1%  
 R3, R6, R9, R13, R16, R19: 470kΩ/0,6 W 1%  
 R4, R7, R14, R17: 180Ω/0,6 W 1%  
 R5, R15: 2kΩ/0,6 W 1%  
 R8, R18: 1kΩ/0,6 W 1%  
 R10: 5,6kΩ/0,6 W 1%

P1: potencjometr 2x1 MΩ logarytmiczny

P2: 47 kΩ montażowy

### Kondensatory

C1...C4, C8, C11...C14: 100 nF/50 V  
 C6, C16: 6,8 nF/50 V  
 C5, C16: 100 μF/25 V  
 C7: 47 μF/50 V  
 C9: 1 μF/50 V  
 C10: 470 μF/25 V

### Półprzewodniki

T1...T4: BF245B

D1: 1N4001 lub podobna

U1: UL1520 (TCA720)

### Lampy

V1, V3: 1Z24b

V2, V4: DM70

### Różne

Dławik 4,7 mH/15Ω

Włącznik dwustabilny jednosekcyjny

Włącznik dwustabilny dwusekcyjny

Gniazda „chinch” (2 szt.)

Gniazdo „jack”

Złącza i wtyki „goldpin”