



**AVT
5267**

Lampowy potencjometr siły głosu



Współczesny stacjonarny sprzęt audio prawie zawsze ma możliwość sterowania za pomocą nadajnika podczerwiieni. Również wzmacniacze lampowe mają czasem możliwość takiego sterowania. Pilot wzmacniacza lampowego umożliwi zazwyczaj włączenie i wyłączenie wzmacniacza, a także regulację siły głosu. W układach zdalnej regulacji głośności we wzmacniaczach lampowych niepodzielnie króluje rozwiązanie z zastosowaniem dość kosztownego potencjometru, napędzanego silnikiem elektrycznym. Zamiast niego proponujemy wykonanie układu z regulacją elektroniczną.

Rekomendacje: potencjometr przyda się wszystkim miłośnikom dobrego brzmienia lub będzie ciekawym uzupełnieniem wzmacniacza lampowego.

Nie da się zaprzeczyć, że to rozwiązanie z potencjometrem mechanicznym napędzanym silnikiem elektrycznym ma niewątpliwie zalety, którymi są: brak zniekształceń i prostota rozwiązania. Z drugiej jednak strony, taki potencjometr sporo kosztuje i nie zawsze jest łatwo go zdobyć.

We wzmacniaczach lampowych nie przyjęły się potencjometry cyfrowe. Niechęć w ich stosowaniu należy przede wszystkim tłumaczyć przekonaniem, że tor audio w takim wzmacniaczu powinien być „czysto lampowy”, bez żadnych półprzewodników. Tymczasem potencjometry z napięciową

regulacją wzmocnienia są wykonywane na specjalizowanych układach scalonych.

Możliwość budowy potencjometru z lampami w torze audio dają lampy regulacyjne. W epoce lampowej były one stosowane szeroko w układach ARW (automatycznej regulacji wzmocnienia) odbiorników radiowych i telewizyjnych. Sporadycznie takie lampy stosowano w magnetofonach szpulowych z automatyką zapisu. Niektóre typy pentod regulacyjnych jak np. EF83 są niekiedy stosowane w stopniach wstępnych wzmacniaczy gitarowych. Jednak popularne i szeroko niegdyś używane lampy EF89,

AVT-5267 w ofercie AVT:
AVT-5267A – płytki drukowane

Podstawowe informacje:

- do współpracy ze stereofonicznym źródłem sygnału
- głośność regulowana w 244 krokach
- regulacja zgodnie z charakterystyką logarytmiczną, wykładniczą lub liniową (wybór za pomocą zworek)
- napięcie zasilania 250 VDC
- sterowanie za pomocą przycisków i nadajnika podczerwiieni (pilota)
- poziom głośności wskazywany przez lampę Nixie
- regulator wykonany w oparciu o pentodę EF183 i triodę ECC82
- blok sterowania z mikrokontrolerem ATtiny2313 i lampą Nixie

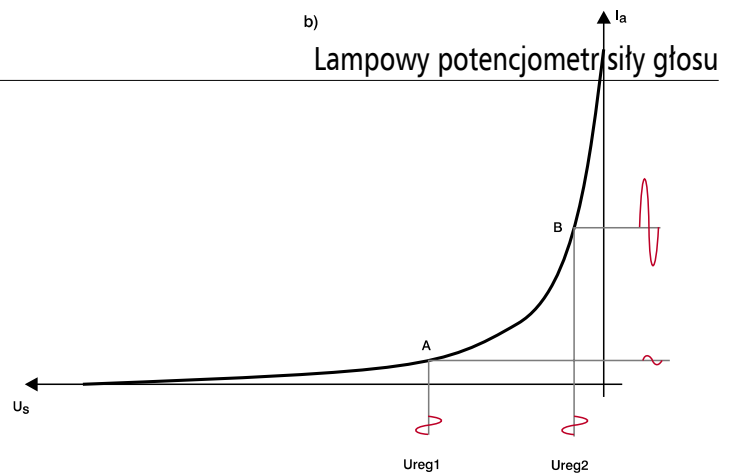
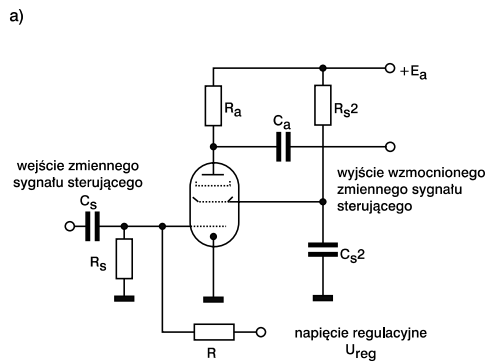
Dodatkowe materiały na CD i FTP:

- <ftp://ep.com.pl>, user: 16195, pass: 4k17u606
- wzory płytek PCB
- karty katalogowe i noty aplikacyjne elementów oznaczonych w **wykazie elementów** kolorem czerwonym

Projekty pokrewne na CD i FTP:

(wymienione artykuły są w całości dostępne na CD)

- AVT-5237 Potencjometr z impulsatorem (EP 6/2010)
- AVT-5206 Cyfrowy potencjometr audio (EP 10/2009)
- AVT-5185 Volumer – Elektroniczny potencjometr audio (EP 5/2009)
- AVT-945 Audiofilski potencjometr i regulator balansu (EP 8/2006)
- AVT-5027 Audiofilski potencjometr elektroniczny (EP 9/2001)
- AVT-369 Audiofilski potencjometr stereofoniczny (EP 2/1998)
- AVT-2338 Potencjometr cyfrowy (EdW 1/1999)



Rysunek 1. Wzmacniacz o regulowanym wzmacnieniu z pentodą regulacyjną (a) i jego praca na tle charakterystyki przejściowej (b)

EBF89 czy EF183 są teraz rzadko stosowane i co za tym idzie – są tanie.

Lampowy wzmacniacz regulacyjny

Napięciowy wzmacniacz z pentodą regulacyjną był omówiony w artykule pt. „Lampowy kompresor dynamiki sygnału audio” opublikowanym w EP 11/2003. Dlatego poniżej znajduje się skrócony opis działania, niezbędny do zrozumienia dalszej części artykułu.

Schemat wzmacniacza i zasadę jego działania na tle charakterystyki przejściowej lampy przedstawia rysunek 1. Jest to w zasadzie zwykły, rezystancyjny wzmacniacz z pentodą. Poprzez zmianę napięcia polaryzacji siatki sterującej (poprzez podawanie napięcia regulacyjnego U_{reg}) można zmieniać wzmacnienie stopnia. Wynika to z faktu, że przy dużym, ujemnym napięciu regulacyjnym U_{reg1} spoczynkowy punkt pracy lampy znajduje się w punkcie A. W otoczeniu tego punktu nachylenie charakterystyki jest małe, więc wzmacnienie też jest małe. Przy małym, ujemnym napięciu regulacyjnym U_{reg2} punkt pracy znajduje się w punkcie B.

Nachylenie charakterystyki w jego otoczeniu jest duże, więc wzmacnienie też jest duże. Wzmacnienie wzmacniacza napięciowego z pentody jest iloczynem nachylenia lampy przez oporność w jej anodzie.

Uzyskiwanie żądanych charakterystyk regulacji

W niniejszym wstępie teoretycznym szerzej opisałem uzyskiwanie charakterystyk regulacji, ponieważ przy zastosowaniu innych lamp regulacyjnych należy zmienić tablice w programie mikrokontrolera.

W praktyce używane są najczęściej trzy rodzaje potencjometrów: liniowy, logarytmiczny i wykładniczy. Jest zatem pożądane, aby takie charakterystyki regulacji można było uzyskiwać w układzie potencjometru lampowego.

Zastanówmy się, jak zmienia się wzmacnienie wzmacniacza z pentodą regulacyjną w funkcji napięcia regulacyjnego. Przydatny będzie wykres zamieszczony na rysunku 2, który ilustruje rodzinę charakterystyk siatkowych dla regulacyjnej pentody typu EF89. Charakterystyki te różnią się od klasycznych tym, że na osi rzędnych znajduje się logarytm prądu anodowego. Takie charakterystyki są często podawane dla lamp regulacyjnych.

Jak widać z rysunku, dla niższych napięć siatki drugiej charakterystyki są zbliżone do linii prostych. Oznacza to, że prąd anodowy zależy w przybliżeniu wykładniczo od napięcia siatki. Wynika stąd, że nachylenie charakterystyki $S_a = \Delta I_a / \Delta U_s$ również zależy wykładniczo od napięcia siatki. Wzmacnienie wzmacniacza z pentodą jest iloczynem nachylenia S przez rezystancję w anodzie. Tym samym wzmacnienie wzmacniacza regulacyjnego zależy w przybliżeniu wykładniczo od napięcia regulacyjnego:

$$K = 10^b \cdot 10^a \cdot U_{reg} = \beta \cdot 10^a \cdot U_{reg} = s_a \cdot R_a$$

gdzie a i β są pewnymi stałymi, U_{reg} – ujemne napięcie regulacyjne.

Jeśli będziemy zmieniali napięcie regulacyjne, w ten sposób, że będzie ono zmieniać się w N równych krokach, otrzymamy wzmacniacz, którego wzmacnienie zmienia się wykładniczo w zależności od napięcia regulacyjnego.

W tym miejscu należy wyjaśnić w jaki sposób znaleźć współczynniki a i β w równaniu (1).

Najpierw obieramy rezystancję obciążenia R_a . Powinna ona wynosić 0,1...0,15 oporności wewnętrznej lampy, którą można znaleźć w katalogu. Następnie należy obrać napięcie siatki ekranowej. Musi ono być stosunkowo niskie, bowiem tylko w takim przypadku da się odciąć lampę regulacyjną stosunkowo niewielkim napięciem regulacyjnym. Innymi słowy, tylko wtedy da się potencjometrem regulować od zupełnej ciszy aż do maksymalnej głośności (mając na uwadze, że najczęściej wzmacniacze operacyjne są zasilane napięciem symetrycznym ± 15 V; należy wybrać takie napięcie siatki drugiej, by odcięcie prądu anodowego następowało przy $-10...-13$ V na siatce sterującej).

Jeśli w katalogu znajduje się przebieg zależności nachylenia charakterystyki lampy od napięcia siatkowego, wówczas sporządzamy charakterystykę wzmacnienia w funkcji regulacyjnego napięcia siatki $K=f(U_{reg})$, odkładając na osi odciętych napięcie regulacyjne, a na osi rzędnych iloczyn nachylenia przez rezystancję w anodzie lampy. Należy również sporządzić charakterystykę logarytmu wzmacnienia od napięcia siatki, tj. $\log K=f(U_{reg})$. Tak uzyskaną charakterystykę przybliżamy prostą, której równanie ma postać:

$$\log K = a \cdot U_{reg} + b$$

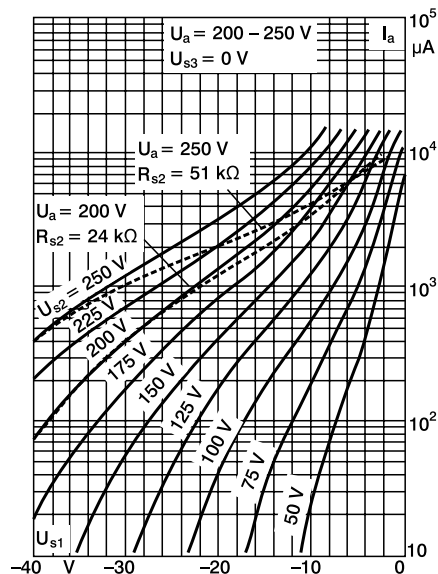
Współczynnik a jest więc współczynnikiem kierunkowym prostej, zaś $\beta = 10^b$.

Jeśli nie dysponujemy zależnością nachylenia od napięcia regulacyjnego, wówczas charakterystykę $K=f(U_{reg})$ należy zdjąć doświadczalnie, jednak nie będę tego zagadnienia omawiał tutaj szerzej.

Załóżmy teraz, że napięcie regulacyjne U_{reg} zmienia się w N równych krokach. Wzmacniacz regulacyjny przedstawia wówczas sobą potencjometr N -krokowy ze wzmacnieniem zależnym wykładniczo od napięcia regulacyjnego U_{reg} :

$$K = \beta \cdot 10^{\frac{a \cdot U_{reg}}{N}}$$

Znak napięcia $U_{reg \max}$ we wzorze jest ujemny, więc potencjometr ma charakterystykę wy-



Rysunek 2. Charakterystyki przejściowe lampy EF83 dla różnych napięć siatki drugiej. Oś prądu anodowego ma skalę logarytmiczną

kładniczą i wzmocnienie maleje wraz ze wzrostem numeru kroku. Za $U_{reg\ max}$ należy wstawić wartość napięcia nieco większą od napięcia odcięcia.

Nieraz jednak zachodzi konieczność użycia potencjometru liniowego, to znaczy takiego, w którym wartość napięcia wyjściowego zależy liniowo od wartości jakiegoś parametru. W zwykłym potencjometrze jest to zazwyczaj kąt obrotu osi lub położenie suwaka. W przypadku wzmacniacza regulacyjnego takim parametrem będzie numer kroku napięcia regulacyjnego.

Chcąc uzyskać potencjometr o charakterystyce wykładniczej musieliśmy cały zakres zmian napięcia regulacyjnego podzielić na N równych kroków. Chcąc uzyskać potencjometr liniowy moglibyśmy graficznie znaleźć poszczególne wartości napięć regulacyjnych z rzeczywistej charakterystyki $K=f(U_{reg})$, dzieląc tym razem zakres zmian wzmocnienia (od zera do wzmocnienia maksymalnego) na N równych kroków i odczytując odpowiadające poszczególnym wartościom wzmocnienia wartości napięć. Przyporządkowując tym wartościom odpowiednie numery kroków uzyskalibyśmy potencjometr o liniowej zależności wzmocnienia od numeru kroku-w istocie stanowi to linearyzację charakterystyki wzmocnienia wskutek zamiany jednego parametru (napięcia regulacyjnego) na inny parametr (numer kroku napięcia, przy czym zależność między numerem kroku a napięciem regulacyjnym nie jest liniowa). O ile jednak dla N nieprzekraczającego 10...20 opisana metoda graficzna jest jeszcze mało żmudna, o tyle dla wyższych wartości N jest ona nieprzydatna.

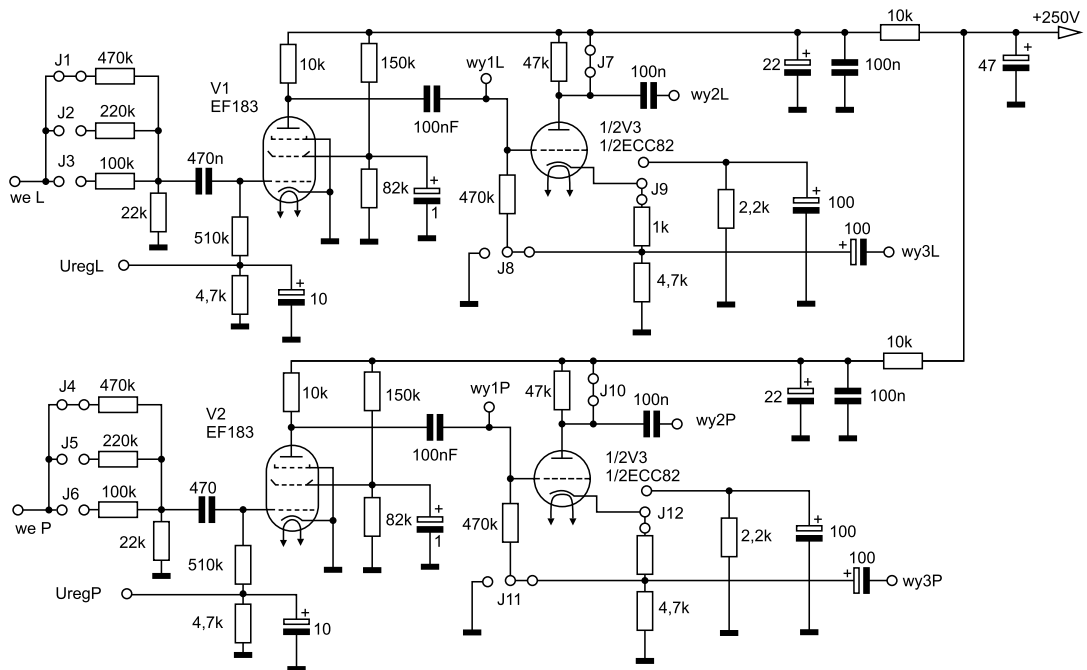
Linearyzację charakterystyki wzmocnienia można jednak przeprowadzić korzystając z równania 2. Przekształcając równanie 2 otrzymujemy wzór określający napięcie regulujące:

$$U_{reg} = \frac{\log K - b}{a}$$

Żądamy, by wzmocnienie zmieniało się liniowo z numerem kroku n . Możemy więc zapisać:

$$U_{reg} = \frac{\log\left(\frac{K_{max}}{N} \cdot n\right) - b}{a}$$

Wzór 5 opisuje wartość napięcia regulacyjnego w n -tym



Rysunek 3. Schemat ideowy bloku wzmacniaczy regulowanych i wyjściowych

kroku potencjometru. K_{max} jest maksymalnym wzmocnieniem, jakie może dać wzmacniacz regulacyjny (czyli przy napięciu regulacyjnym równym 0). Uzyskaliśmy zatem potencjometr liniowy.

Spośród innych charakterystyk potencjometrów często spotykana jest charakterystyka logarytmiczna. W takim przypadku wzór na N -ty krok napięcia regulacyjnego przybierze postać:

$$U_{reg} = \frac{\log(A \cdot \log n + B) - b}{a}$$

przy czym wyrażenie $A \cdot \log n + B = K$. Współczynniki A i B znajdziemy łatwo metodą współczynników nieoznaczonych.

Wymagamy, by dla $n=1$ wzmocnienie $K=0$, zaś dla $n=N$ wzmocnienie $K=K_{max}$.

Z warunku pierwszego i uwzględniając równanie (1) możemy zapisać:

$$\log(A \cdot \log 1 + B) = \log\left(\frac{K_{max}}{N} \cdot 1\right)$$

stąd zaś widać, że:

$$A \cdot \log 1 + B = \frac{K_{max}}{N} \cdot 1$$

i ostatecznie

$$B = \frac{K_{max}}{N}$$

gdyż $\log 1 = 0$.

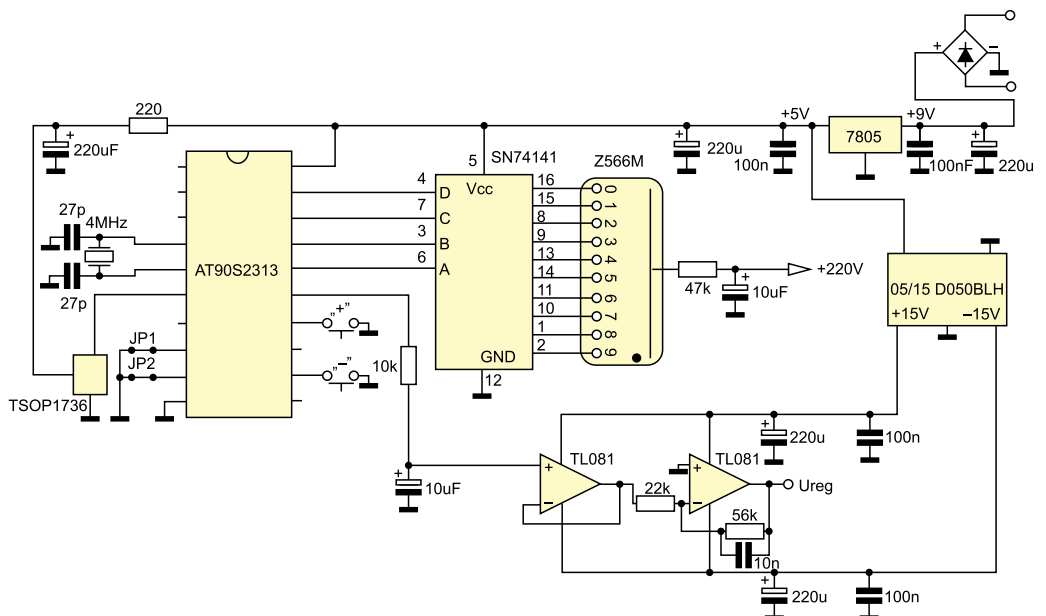
Z kolei z warunku drugiego możemy zapisać:

$$K_{max} = A \cdot \log N + \frac{K_{max}}{N}$$

stąd:

$$A = \frac{K_{max} - \frac{K_{max}}{N}}{\log N}$$

Wzór na N -ty krok napięcia regulacyjnego dla potencjometru logarytmicznego przybiera więc postać:



Rysunek 4. Schemat ideowy układu sterowania

$$U_{reg} = \frac{\log \left(\frac{K_{max} - K_{min}}{\log N} \cdot \log n + \frac{K_{min}}{N} \right) - b}{a}$$

Na zakończenie tego wstępu teoretycznego chciałbym zwrócić uwagę na to, że potencjometr logarytmiczny tak naprawdę reguluje wzmocnienie jak tradycyjny potencjometr wykładniczy, zaś potencjometr wykładniczy jak tradycyjny potencjometr logarytmiczny.

Układ praktyczny...

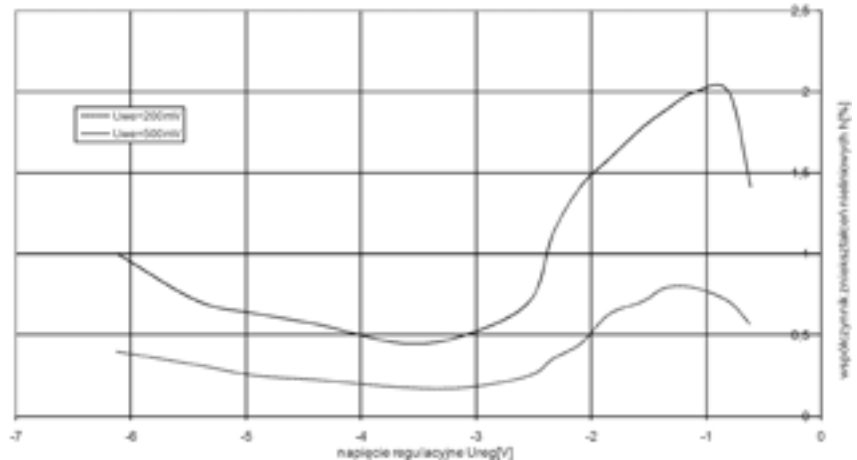
Praktyczny układ potencjometru przedstawiają schematy ideowe na **rysunku 3** i **rysunku 4**.

Na rysunku 3 zamieszczono schemat części lampowej układu. Dwa wzmacniacze regulacyjne pracują z lampami V1 i V2. Za wejściami L i P znajdują się dzielniki wejściowe. Są one potrzebne do ograniczenia poziomu sygnału na siatce lampy regulacyjnej do kilkudziesięciu mV. Największy stopień podziału (rezystory 470 kΩ i 22 kΩ) wynosi około 20:1. Umożliwia to poprawną pracę potencjometru (z niewielkimi zniekształceniami) przy poziomie sygnału wejściowego wynoszącym kilkaset mV, co umożliwia dołączenie np. karty dźwiękowej komputera jako źródła sygnału. Napięcie regulacyjne jest podawane na siatkę lampy przez rezystory 510 kΩ. Kondensatory elektrolityczne 10 μF służą do filtrowania

napięcia regulacyjnego, zapobiegając między innymi nagłym skokom głośności przy przechodzeniu do następnego kroku ustawienia potencjometru. Przy pracy z połączonymi wejściami napięcia regulacyjnego UregL i UregP kondensatory te ograniczają przesłuchy między kanałami (poprzez zwieranie do masy sygnałów m.cz z siatek).

Potencjometr powinien mieć możliwość współpracy z końcowym wzmacniaczem lampowym jak i półprzewodnikowym. Z tego względu wzmacniacze wyjściowe z lampą V3

(podwójna trioda ECC82) są konfigurowalne. Przy pracy ze wzmacniaczem lampowym dodatkowy stopień z lampą V3 może być zbędny (gdy wzmacniacz ma dużą czułość). Wtedy lampy V3 nie wkłada się, zaś sygnał pobiera się z wyjść wy1L i wy1P i doprowadza się do wejścia wzmacniacza końcowego. Jeśli potrzebny jest dodatkowy stopień wzmocnienia, wtedy lampę V3 należy włożyć, przestawić wszystkie jumpery J7...J12 (odwrotnie niż na rysunku 2.8; jumpery J7 i J10 należy wyjąć). Sygnał pobiera się z wyjść wy2L i wy2P. Lam-



Rysunek 5. Współczynnik zniekształceń nieliniowych jako funkcja napięcia regulacyjnego U_{reg} . Współczynnik zniekształceń jest wyznaczony dla sinusoidalnego sygnału sterującego 200 i 500 mV przy $f=1$ kHz. Potencjometr z lampą EF183

R E K L A M A

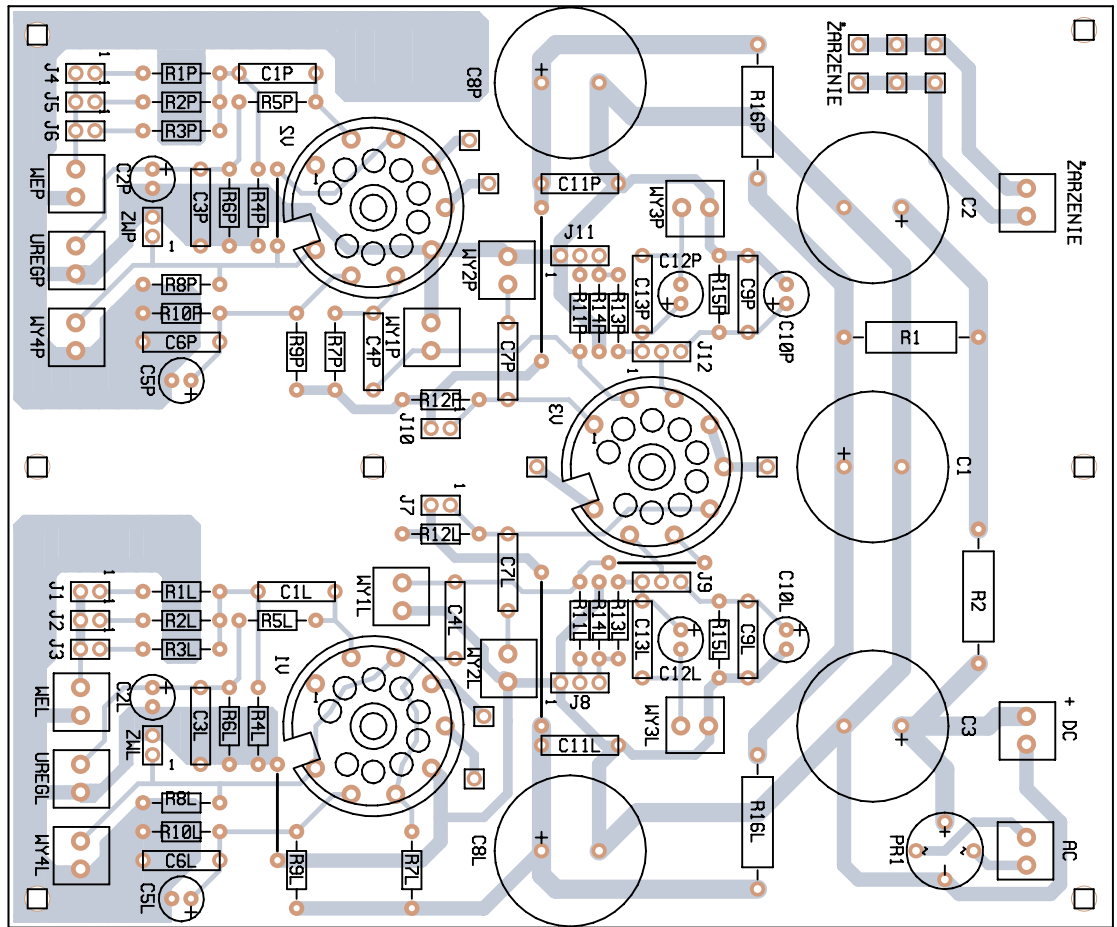
pa V3 pracuje wtedy w układzie z uziemioną katodą.

Z kolei w przypadku współpracy ze wzmacniaczem półprzewodnikowym jest wymagana mała impedancja wyjściowa potencjometru. Lampa V3 powinna wtedy pracować w układzie z połączeniami jak na rys. 4, a więc w układzie wtórnika katodowego. Ten układ jest także zalecany przy współpracy z biernym układem regulacji barwy dźwięku, o ile rezystancje potencjometrów są rzędu 10...47 kΩ.

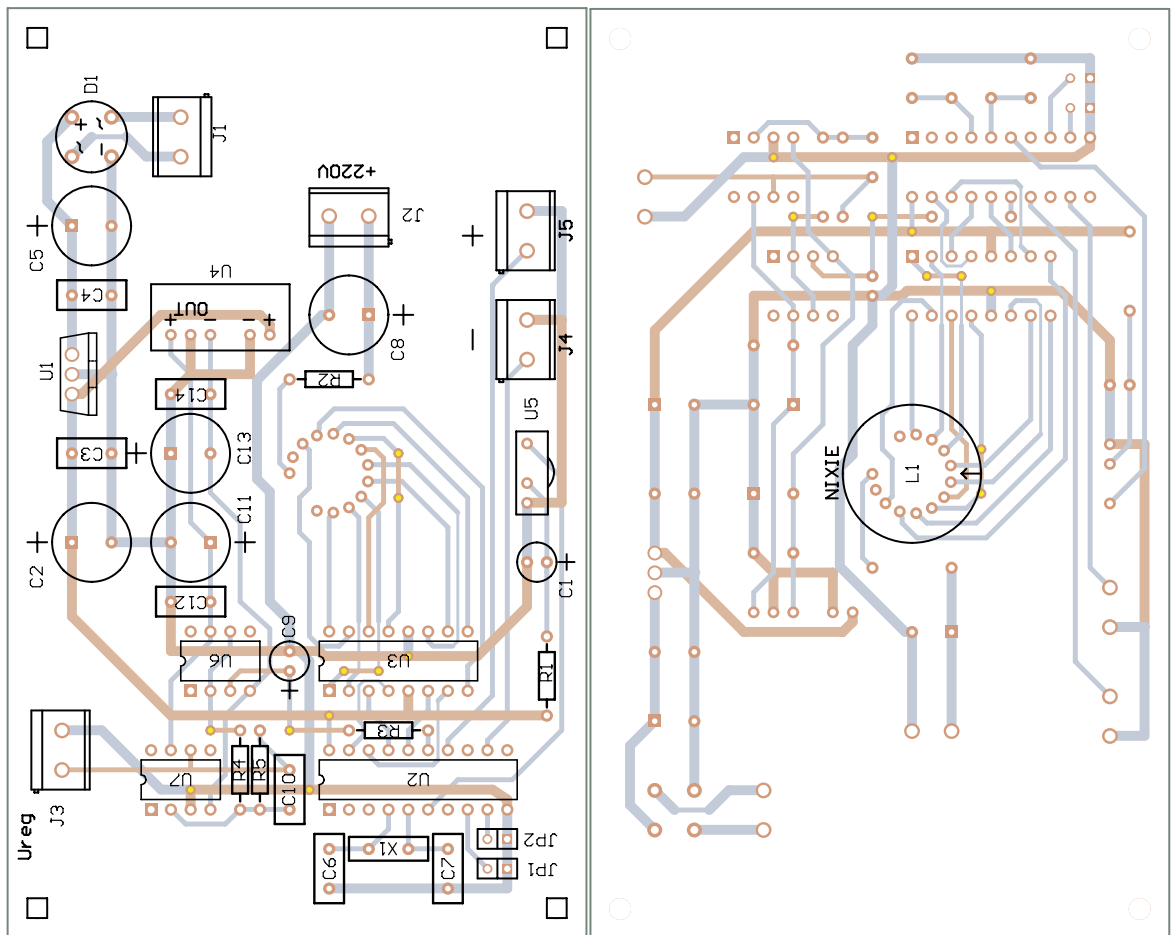
Na rysunku 4 przedstawiono układ sterowania potencjometru. „Mózgiem” jest mikrokontroler ATtiny 2313. Zworami JP1 i JP2 można wybrać jedną z trzech charakterystyk potencjometru.

Charakterystykę liniową uzyskuje się przy wyjętej zworze JP1 i wetkniętej zworze JP2. Z kolei charakterystykę wykładniczą uzyskuje się przy wetkniętych zwozach JP1 i JP2. Wreszcie charakterystykę logarytmiczną uzyskuje się przy włożonej zworze JP1 i wyjętej JP2.

W pamięci mikrokontrolera są zawarte dwie tablice: dla potencjometru liniowego i logarytmicznego. W przypadku potencjometru wykładniczego taka tablica nie była potrzebna, gdyż napięcie regulacyjne jest wtedy liniową funkcją numeru kroku. Należy jeszcze zaznaczyć, że zrezygnowano z 12 kroków regula-



Rysunek 6. Schemat montażowy płytki wzmacniaczy regulowanych i wyjściowych



Rysunek 7. Schemat montażowy płytki sterującej



Wykaz elementów Płytki regulatora

Rezystory:

R1...R4: 470 kΩ
R5, R6: 220 kΩ
R7, R8: 100 kΩ
R9, R10: 22 kΩ
R11, R12: 510 kΩ
R13...R16: 10 kΩ
R17, R18: 150 kΩ
R19...R22: 4,7 kΩ
R23, R24: 82 kΩ
R25, R26: 47 kΩ
R27, R28: 1 kΩ
R29, R30: 2,2 kΩ

Kondensatory:

C1...C4: 100 nF/250 V
C5, C6: 100 nF/300 V
C7, C8: 1 μF/160 V (elektrolit.)
C9, C10: 10 μF/25 V (elektrolit.)
C11...C14: 100 μF/25 V (elektrolit.)
C15: 47 μF/300 V
C16, C17: 470 nF/250 V
C18, C19: 22 μF/300 V

Inne:

V1, V2: EF183

V3: ECC82

Płytki sterowania

Rezystory:

R1: 220 Ω
R2: 56 kΩ
R3: 22 kΩ
R4: 47 kΩ
R5: 10 kΩ

Kondensatory:

C1...C5: 220 μ/16 V
C6...C9: 100 nF/63 V
C10: 10 μF/250 V
C11: 10 μF/16 V
C12, C13: 27 pF
C14: 10 nF/63 V

Półprzewodniki:

U1: ATtiny2313
U2: 7805
U3: TL081
U4: TSIO1736
M1: mostek prostowniczy 1 A
Inne:
U6: D050BLH przetwornica 5 VDC/±15 VDC

cji na 256 możliwości. Dzięki temu napięcie siatki lampy regulacyjnej nie uzyskuje nigdy potencjału wyższego niż -0,6 V. Ta niewielka strata liczby kroków jest jednak praktycznie niezauważalna.

Poziom głośności można sterować przyciskami „+” i „-” lub zdalnie, z pilota. Położenie regulatora głośności (0...9) może być odczyta-

ne z dekatronu lub lampy Nixie, sterowanej z mikrokontrolera za pośrednictwem układu SN74141.

Napięcie regulacyjne jest uzyskiwane poprzez całkowanie impulsów prostokątnych uzyskiwanych z 15 nóżki mikrokontrolera. Szerokość tych impulsów jest zależna od kroku regulacji. Całkowanie następuje w ukła-

dzie złożonym z opornika o rezystancji 10 kΩ i kondensatora o pojemności 10 μF. Napięcie na tym filtrze ma polaryzację dodatnią i wynosi 0...+5 V. Lampy wymagają ujemnego napięcia regulacyjnego, więc zastosowano wzmacniacze operacyjne TL081. Pierwszy z nich pracuje w układzie wtórnika, drugi zaś w układzie wzmacniacza odwracającego, o wzmocnieniu równym około 2,5. Napięć symetrycznych do zasilania wzmacniaczy operacyjnych ±15 V dostarcza przetwornica 5/±15 V. Dzięki temu cały układ sterowania może być zasilany pojedynczym napięciem. Kondensator 10 nF w układzie wzmacniacza odwracającego przyczynia się do usunięcia resztek sygnału prostokątnego, który mógłby przenikać do wzmacniaczy regulacyjnych.

Rysunek 5 przedstawia zawartość zniekształceń nieliniowych wnoszonych przez potencjometr.

Montaż

Na **rysunku 6** pokazano schemat montażowy płytki regulacyjnej, natomiast na **rysunku 7** – płytki sterującej. Montaż jest wykonywany typowo i nie powinien sprawiać żadnych trudności.

Aleksander Zawada, EP
aleksander.zawada@ep.com.pl

R E K L A M A