

Cyfrowy potencjometr audio z impulsatorem



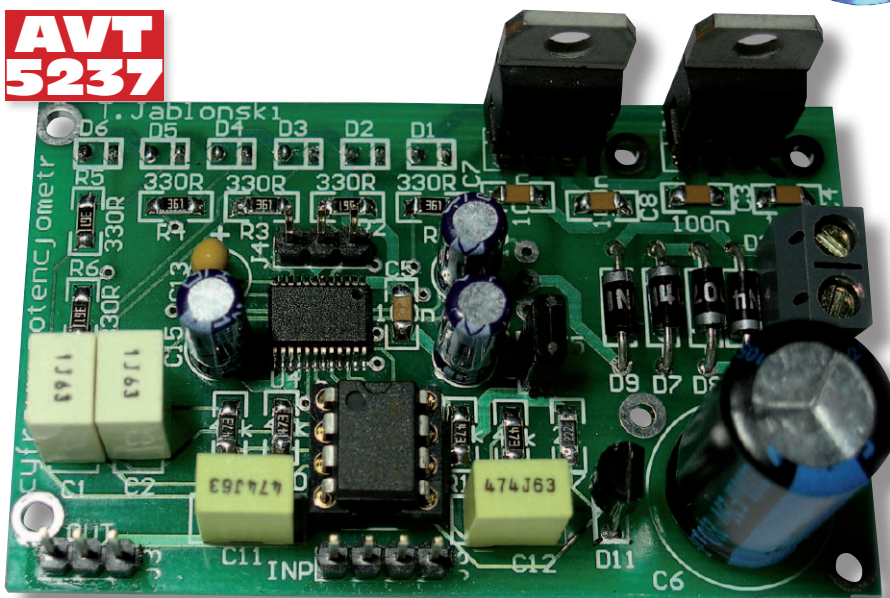
Potencjometry służące do regulacji siły głosu we wzmacniaczu audio często mają rozrzut parametrów (nierównomierność rezystancji obu ścieżek) powodujący różnicę poziomów sygnału audio. Doświadczeni audiofile, chcąc uniknąć tych problemów, stosują w miejscu potencjometru wielopozycyjny przełącznik obrotowy ze starannie dobranymi rezystancjami. Inną metodą rozwiązania tego problemu jest nasz projekt zbudowany z użyciem doskonałego układu MAX5440.

Rekomendacje: prezentowane urządzenie poprawi własności każdego wzmacniacza audio.

Nie tak dawno trafił do mnie wzmacniacz stereofoniczny, w którym był ewidentny problem z równomiernością wzmocnienia obu kanałów. Ta usterka powodowała problemy z lokalizacją sceny stereofonicznej. W czasie słuchania wszystko było przesunięte w prawą stronę. Dodatkowo efekt ten był bardziej lub mniej słyszalny w zależności od ustawionego poziomu głośności. Do diagnozowania użyłem sinusoidalnego generatora częstotliwości akustycznych i dwukanałowego oscyloskopu. Zgodnie z wcześniejszymi podejrzeniami winny okazał się potencjometr siły głosu. Różnice w rezystancji ścieżek oporowych dla tego samego położenia suwaka były na tyle duże, że powodowały opisany wcześniej efekt. Scena stereofoniczna przemieszczała się wraz ze zmianą kąta obrotu osi potencjometru. Oczywiście bez problemu dało się to skorygować potencjometrem balansu, ale korekcja musiała być różna dla różnych poziomów głośności. To typowa bolączka tańszych potencjometrów i jedynym wyjściem jest wymiana na droższy, zwykle lepiej wykonany. Jednak nawet uważane za bardzo dobre niebieskie potencjometry firmy Alps mają pewien rozrzut, co powoduje różnicę poziomów sygnałów rzędu 3 dB.

Doświadczeni audiofile, kiedy chcą mieć pewność, że taka sytuacja się nie zdarzy,

**AVT
5237**



stosują dzielniki zbudowane z rezystorów przełączanych obrotowym przełącznikiem lub przekaźnikami sterowanymi przez mikrokontroler. Oba te rozwiązania są bardzo skuteczne i trwałe, ale drogie. Alternatywnym rozwiązaniem może być używanie coraz lepszych i coraz bardziej popularnych potencjometrów elektronicznych.

Część z nich wymaga stosowania sterowników mikroprocesorowych, ale są takie, które mają wbudowane układy sterowania. Najczęściej są to styki klawiszy *Głośniej* i *Ciszej*. Takie sterowanie nie jest zbyt wygodne i zdecydowanie lepiej reguluje się je, kręcąc galką, tak jak w klasycznych potencjometrach obrotowych. W cyfrowych systemach sterowania można użyć obrotowego impulsatora i taki element jest wykorzystywany do regulacji poziomu sygnału w scalonym potencjometrze cyfrowym MAX 5440 produkowanym przez firmę Maxim. Schemat ideowy potencjometru z zastosowaniem tego układu pokazano na **rys. 1**.

Zasilanie

Przed użyciem jakiegokolwiek potencjometru cyfrowego warto się zastanowić nad układem zasilania. Sygnał wejściowy podawany na wejście potencjometru jest symetryczny względem masy układu i jego napięcie mierzone względem masy może mieć wartości dodatnie i ujemne. Jeżeli podamy na wejście sygnał sinus o amplitudzie

AVT-5237 w ofercie AVT:
AVT-5237A – płytka drukowana
AVT-5237B – płytka drukowana + elementy

Podstawowe informacje:

- Regulacja tłumienia w 32 krokach co 2 dB
- Zakres regulacji 0...-62 dB
- Wyciszenie MUTE ≥ -90 dB
- Stały poziom -12 dB po włączeniu zasilania
- Pojedyncze napięcie zasilające +5 V

Dodatkowe materiały na CD i FTP:
<ftp://ep.com.pl>, user: 17933, pass: 5047v06p
• wzory płytek PCB
• karty katalogowe i noty aplikacyjne elementów oznaczonych na **Wykazie elementów** kolorem czerwonym

Projekty pokrewne na CD i FTP:
(wymienione artykuły są w całości dostępne na CD)

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)

2 Vpp, to jej ujemna połówka osiąga wartość -1 V względem masy. Taki sygnał jest podawany na układy wejściowe potencjometru i aby potencjometr mógł poprawnie pracować, musi być zasilany symetrycznie względem masy. Jest ono niezbędne, aby układ mógł prawidłowo przenosić ujemne względem masy połówki sygnału wejściowego.

Układ MAX5440 ma dwie końcówki VSS do podłączenia zasilania napięciem ujem-

nym i VDD dla napięcia dodatniego względem masy GND. Ponieważ typowe napięcie zasilania wynosi 5,5 V, to układ powinien być zasilany napięciem $\pm 2,7$ V. Sprawę komplikuje konieczność dodatkowego zasilania układów logicznych. Napięcie V_{logic} może mieć maksymalną wartość równą napięciu na wyprowadzeniu VDD.

Stosowanie symetrycznego napięcia zasilania $\pm 2,7$ V jest kłopotliwe w realizacji. Musimy mieć źródło napięcia ujemnego i stabilizatory na nietypowe napięcia. Szczególnie trudno będzie znaleźć scalony stabilizator dla napięcia ujemnego. W większości układów, gdzie znajdzie zastosowanie MAX5440, do dyspozycji jest pojedyncze napięcie zasilania. Dlatego producent przewidział możliwość zasilania napięciem pojedynczym. W takim przypadku łączy się wyprowadzenie VSS z masą układu GND. Unikamy w ten sposób zasilania napięciem symetrycznym, ale pojawia się na nowo problem przenoszenia ujemnych połówek sygnału wejściowego. Można go rozwiązać, dodając do sygnału wejściowego składową stałą równą połowie wartości napięcia zasilania. Jeżeli potencjometr zasilimy napięciem +5 V, to do sygnału trzeba dodać składową +2,5 V. Wtedy dla sygnałów o maksymalnej

amplitudzie zbliżonej do napięcia zasilania ujemne połówki sygnału nie będą miały potencjału niższego niż potencjał masy.

Układ wejściowy

Dodanie składowej stałej można zrealizować z użyciem wzmacniacza operacyjnego. W urządzeniu zastosowano układ wzmacniacza odwracającego o wzmocnieniu wynoszącym 1 i impe-

dancji wejściowej 47 kΩ zbudowany w oparciu o podwójny wzmacniacz operacyjny NE5532 (U3 na rys. 1). Sygnał wejściowy po oddzieleniu ewentualnej własnej składowej stałej (kondensatory C11 i C12) jest podawany na wejścia odwracające wzmacniacza operacyjnego.

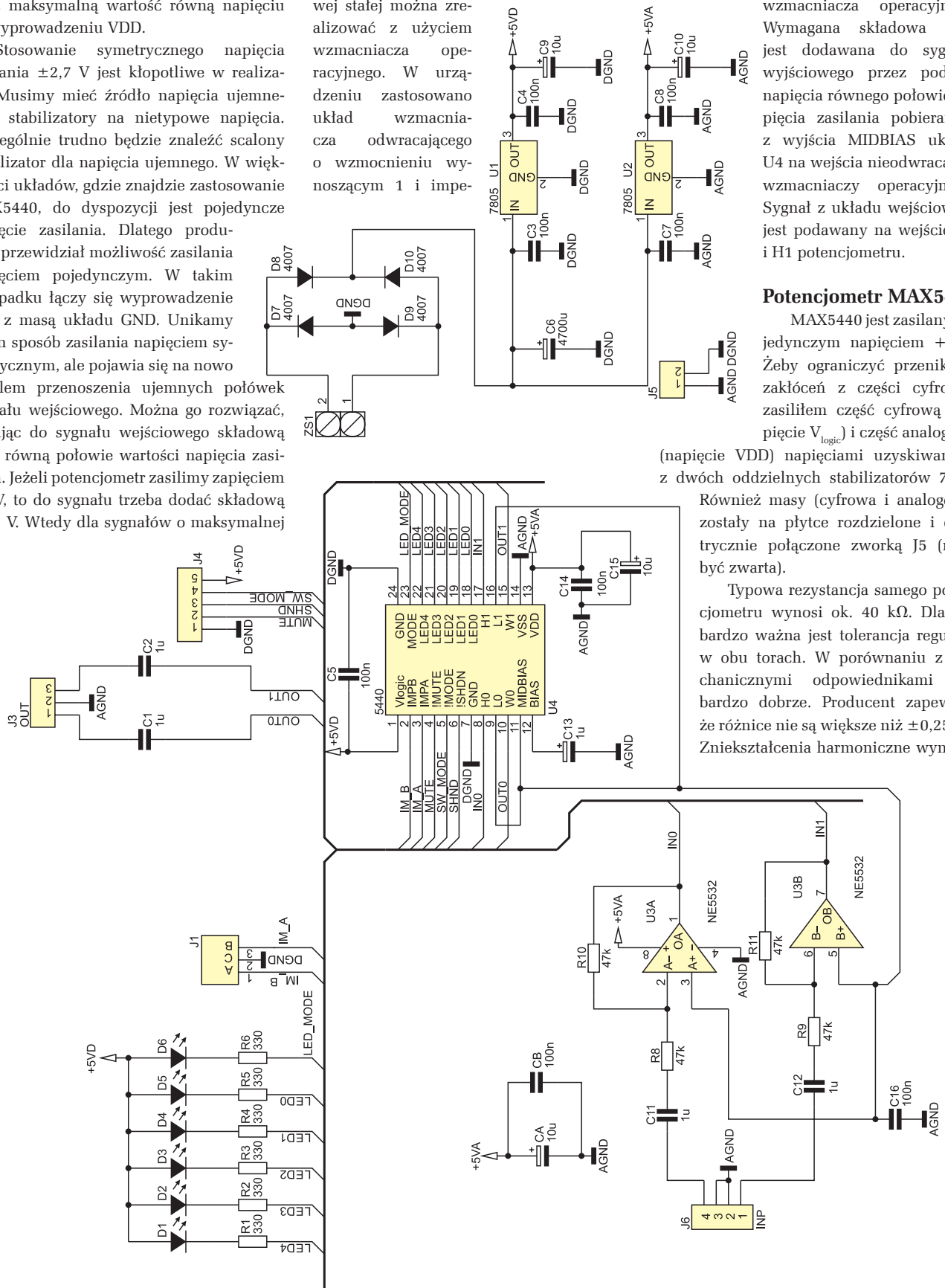
Wymagana składowa stała jest dodawana do sygnału wyjściowego przez podanie napięcia równego połowie napięcia zasilania pobieranego z wyjścia MIDBIAS układu U4 na wejścia nieodwracające wzmacniaczy operacyjnych. Sygnał z układu wejściowego jest podawany na wejście H0 i H1 potencjometru.

Potencjometr MAX5440

MAX5440 jest zasilany pojedynczym napięciem +5 V. Żeby ograniczyć przenikanie zakłóceń z części cyfrowej, zasililem część cyfrową (napięcie V_{logic}) i część analogową (napięcie VDD) napięciami uzyskiwanymi z dwóch oddzielnych stabilizatorów 7805.

Również masy (cyfrowa i analogowa) zostały na płytce rozdzielone i elektrycznie połączone zworką J5 (musi być zwarta).

Typowa rezystancja samego potencjometru wynosi ok. 40 kΩ. Dla nas bardzo ważna jest tolerancja regulacji w obu torach. W porównaniu z mechanicznymi odpowiednikami jest bardzo dobrze. Producent zapewnia, że różnice nie są większe niż $\pm 0,25$ dB. Zniekształcenia harmoniczne wynoszą



Rys. 1. Schemat ideowy potencjometru

Tab. 1. Pozycja suwaka i tłumienie

Pozycja	Tłumienie dB
0	0
1	-2
2	-4
...	...
6(POR)	-12
...	...
30	-60
31	-62
Mute	>=90

Wykaz elementów

Rezystory: (SMD, 1206)

R1...R6: 330 Ω

R8...R11: 47 kΩ

Kondensatory:

C3...C8, C14, C16, CB: 100 nF (ceram., SMD, 1206)

C13: 1 μF/35 V (tantalowy)

C1, C2, C11, C12: 1 μF/63 V (MKT)

C9, C10, C15, CA: 10 μF/16 V (elektrolit.)

C6: 2200 μF/16 V

Półprzewodniki:

D1: dioda LED 3 mm czerwona

D2...D5: dioda LED 3 mm zielona

D7...D10: 1N4007

U1, U2: UA7805

U3: NE5532

U4: MAX5440

Inne:

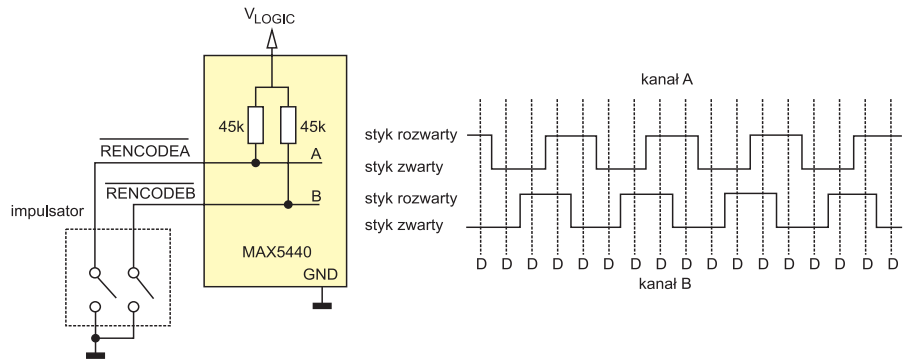
Impulsator ECW1J-B24 Bourns

Płytko drukowana

Listwa goldpinów

Tab. 2. Sposób sygnalizacji tłumienia przez diody LED

Zakres tłumienia [dB]	Sygnalizacja LED (1=dioda świeci się)				
	LED0	LED1	LED2	LED3	LED4
0 do -8	1	1	1	1	1
-10 do -18	1	1	1	1	0
-20 do -28	1	1	1	0	0
-30 do -38	1	1	0	0	0
-40 do -52	1	0	0	0	0
-54 do MUTE	0	0	0	0	0



Rys. 2. Podłączenie impulsatora

nia, ograniczając pobór prądu do 0,5 μA. Po ponownym przejściu wejścia !SHND w stan wysoki suwaki powracają na pozycje ustawione przed wymuszeniem uśpienia układu.

Potencjometr jest wyposażony w układ wyciszania trzasków pojawiających się w czasie regulacji tłumienia. Ten układ działa poprawnie, gdy potencjały wyprowadzeń H0 i H1 są równe potencjałom L0 i L1. Ponieważ „wejścia” H0 i H1 potencjometrów mają potencjał wyprowadzenia MIDBIAS, wyprowadzenia L0 i L1 muszą mieć też ten potencjał i dlatego zostały połączone w tym wyprowadzeniem. Jeśli warunek równego potencjału nie jest spełniony, to potencjometr generuje bardzo wyraźne zakłócenia w trakcie regulacji.

Zmiana położenia suwaków potencjometrów jest wykonywana w dwóch trybach wybieranych stanem wejścia !MODE. Wejście !MODE jest wewnętrzne, połączone z zasilaniem V_{logic}. Po włączeniu zasilania potencjometr ustawia się w trybie regulacji poziomu sygnału. Każde opadające zbocze na wejściu !MODE powoduje sekwencyjne przełączanie pomiędzy regulacją poziomą a regulacją balansu.

Impulsator (enkoder obrotowy) jest podłączany do wyprowadzeń !RENCODEA i !RENCODEB (rys. 2). Obracanie ośką impulsatora w prawo w trybie regulacji poziomu sygnału zmniejsza tłumienie (poziom sygnał się zwiększa). Po osiągnięciu pozycji zerowej (tab. 1) dalsze obracanie w tym kie-

runku nie powoduje żadnego efektu. Obracanie ośką w lewo zwiększa tłumienie. Po osiągnięciu pozycji 32 dalsze obracanie w tym kierunku nie przynosi efektu.

Oba wejścia przeznaczone do połączenia z impulsatorem są wewnętrznie podciągnięte do V_{logic} przez rezystory 45 kΩ. W czasie obrotu stany na wejściach muszą być stabilne przez co najmniej 20 ms, a odstęp pomiędzy kolejnymi zmianami stanów powinien mieć co najmniej 40 ms. Ten warunek jest spełniony, gdy na ośkę jest założona typowa gałka. Szybkie kręcenie samą ośką może powodować nieprawidłowe działanie układu detekcji kierunku obrotu.

W trybie balansu można wyrównać różnym ustawieniem suwaków nierównomierność wzmocnienia całego toru stereofonicznego. Do sygnalizacji trybu *volume/balance* jest używane wyjście *MODE* (LED_MODE – rys. 1). Czerwona dioda D6 sygnalizuje świeceniem tryb regulacji balansu. W trakcie normalnej pracy powinna być zgaszona.

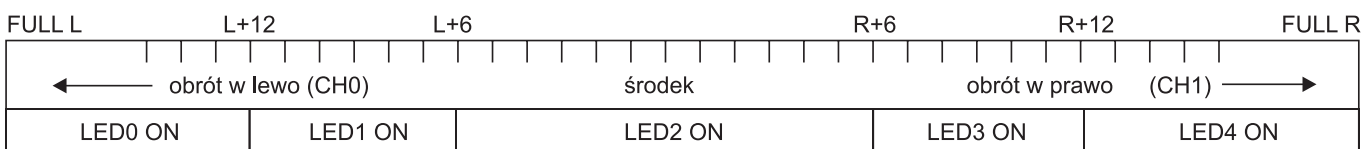
Do natychmiastowego wyciszenia (zwarcia suwaków z masą) przeznaczone jest wejście !MUTE. Podobnie jak przy przełączaniu trybów, sekwencyjne pojawianie się opadającego zbocza powoduje sekwencyjne włączanie i wyłączanie wyciszania. Ponowne zwarcie !MUTE do masy ustawia suwaki potencjometrów do poprzedniej pozycji.

W stan wyciszania można wprowadzić, kręcąc ośką w lewo. Po osiągnięciu kroku 31

około 0,006% dla sygnału sinusoidalnego o f=1 kHz i U=1 V_{rms} przy maksymalnym poziomie głośności (suwaki H0 i H1 zwarte z wyjściami W0 i W1). Kolejnym istotnym parametrem jest separacja kanałów, która według danych producenta wynosi 100 dB. Jak widać na podstawie podanych parametrów, z użyciem układu MAX5440 można zbudować potencjometr cyfrowy o bardzo dobrej jakości.

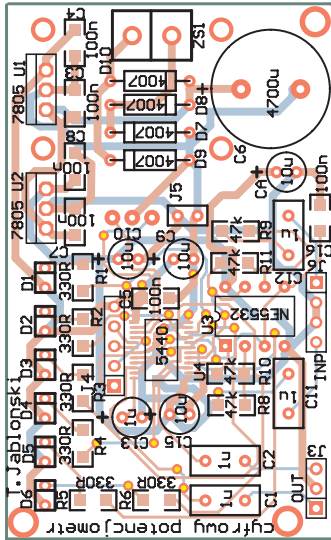
Potencjometr ma charakterystykę logarytmiczną i może być regulowany w 31 krokach z rozdzielczością 2 dB (tab. 1).

Po włączeniu zasilania (POR) suwak ustawia się zawsze na pozycji 6 i tłumienie wynosi -12 dB. Brak pamięci nastaw jest podstawową wadą większości potencjometrów bez sterownika mikroprocesorowego. Aby potencjometr pamiętał nastawy, musi być cały czas zasilany. Ograniczenie pobieranej mocy jest możliwe dzięki wejściu !SHDN. W trakcie normalnej pracy na tym wejściu powinien być stan wysoki (równy V_{logic}). Po wymuszeniu na !SHDN stanu niskiego suwaki ustawiają się w pozycję zwarcia z masą i układ przechodzi w stan usp-



Rys. 3. Regulacja balansu





Rys. 4. Schemat montażowy

(tłumienie -62 dB) następnym impuls w tym samym kierunku całkowicie wycisza sygnał.

Poziom ustawiony sygnał może być sygnalizowany za pomocą 5 diod LED sterowanych podłączonych do wyjść LED0...LED4. Ponieważ jest tylko 5 diod, a pozycji potencjometru 33 (łącznie z MUTE), do każdej z nich jest przypisany określony zakres tłumienia (tab. 2).

Te same diody są używane do sygnalizacji w trakcie regulacji balansu. Po przełączeniu w tryb regulacji, gdy oba kanały są ustawione równo, świeci dioda D2. Przy kręceniu w prawo balans przesuwają się w kierunku kanału prawego, a przy kręceniu w lewo w kierunku kanału lewego.

Na wyjściach potencjometru włączono kondensatory sprzęgające usuwające z sygnału składową stałą. Przy podłączeniu potencjometru trzeba przeanalizować zasadność stosowania kondensatorów sprzęgających na wejściu i wyjściu. Jeżeli sygnał z wyjścia potencjometru jest podawany na wejście wzmacniacza mocy, który ma swoje kondensatory sprzęgające, to kondensatory na wyjściu potencjometru trzeba pominąć i zamiast nich włutować zworki. Podobnie jak w przypadku kondensatorów wejściowych. Należy unikać szeregowego łączenia kondensatorów obecnych w układzie wzmacniacza i na płytce potencjometru, ponieważ ma to negatywny wpływ na przenoszone pasmo częstotliwości.

Montaż i uruchomienie

Schemat montażowy zamieszczono na rys. 4. Większość elementów jest lutowana na umownej stronie elementów. Po przeciwnej stronie są montowane diody LED i impulsator. Po zmontowaniu trzeba na wejściu !SHDN wymusić stan wysoki przez zwarcie z napięciem $+5$ V_D dostępnym na pinie złącza J4. Jest to niezbędne, bo wejście !SHDN nie ma rezystora podciągającego. Należy również zewrzeć zworę J5 łączącą masę analogową i cyfrową.

Potencjometr zasilamy napięciem przemiennym o minimalnej wartości 7 V, doprowadzonym do zacisków złącza ZS1. Kręcąc ośką impulsatora, sprawdzamy poprawność – najpierw regulacji tłumienia sygnału, a potem regulacji balansu. Prawdopodobnie zmontowany i podłączony potencjometr powinien działać od razu.

Zmontowane urządzenie było testowane ze wzmacniaczem zbudowanym z wykorzystaniem wzmacniacza LM1786 z rodziny Overture i głośnikami Tannoy Mercury M2. Przy sterowaniu sygnałem z przetwornika DAC AVT5188 jakość dźwięku była bez zastrzeżeń. Szczególną uwagę zwracałem na brak szumów i słyszalnych zniekształceń oraz na współbieżność wzmocnienia kanałów.

Tomasz Jabłoński, EP
tomasz.jablonski@ep.com.pl