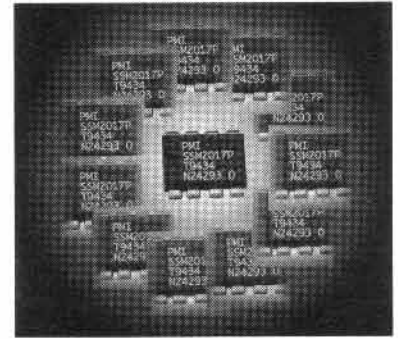


Zgodnie z zapowiedzią z poprzedniego numeru EP przedstawiamy opis układu SSM-2017 produkowanego przez firmę PMI, wchodzącą w chwili obecnej w skład koncernu Analog Devices. Zalety układu SSM-2017 wykorzystano w niskoszumnym wzmacniaczu mikrofonowym AVT-236, którego dokładny opis zamieściliśmy w EP 6/95.

Wzmacniacz SSM-2017



Układ SSM-2017 nie jest klasycznym wzmacniaczem operacyjnym, jednak rozkład jego wyprowadzeń jest bardzo podobny do popularnych 8-nóżkowych pojedynczych wzmacniaczy operacyjnych (wejścia, zasilanie), także napięcia zasilające układ powinny być symetryczne. Podstawowe parametry układu zawarto w tabeli 1.

W standardowych aplikacjach ze wzmacniaczami operacyjnymi wzmocnienie jest ustalane przez dobór elementów sprzężenia zwrotnego dołączonych do wejścia. Tymczasem dobry przedwzmacniacz audio powinien mieć wejście symetryczne. Najprostszym wzmacniaczem różnicowym ze wzmacniaczem operacyjnym pokazany na rysunku 1. Nie jest to rozwiązanie optymalne, bowiem - jak wiadomo - rezystory są źródłem szumu, a dla osiągnięcia pełnej symetrii konieczne byłoby staranne dobranie czterech rezystorów o róż-

nych wartościach.

Dlatego w układzie SSM-2017 zastosowano zupełnie inne rozwiązanie. Do ustawiania wzmocnienia służy tylko jeden rezystor dołączany z zewnątrz. Wzmacniany sygnał podawany jest bezpośrednio do baz tranzystorów wejściowych, które tworzą w pełni symetryczną parę. Punkty pracy tranzystorów są ustalone przez jednakowe źródła prądowe umieszczone w ich obwodach emiterowych. Zastosowano obwód ujemnego sprzężenia zwrotnego (regulacji wzmocnienia) dołączony do emiterów tych tranzystorów.

W związku ze specyficzną budową układu, mówimy o dwóch niezależnych napięciach niezrównoważenia:

1. Wejściowe napięcie niezrównoważenia, które wynika z nieidealnego wykonania stopnia wejściowego; jest to parametr taki sam, jak we wszystkich wzmacniaczach operacyjnych.

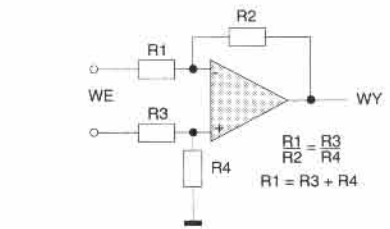
2. Wyjściowe napięcie niezrównoważenia, związane z dalszymi stopniami wzmocnienia - jest to napięcie stałe pojawiające się na wyjściu, przy wzmocnieniu układu równym 1 i nóżką 5 połączoną z masą zasilania.

Właśnie to wyjściowe napięcie niezrównoważenia może być skorygowane do zera przez podanie na nóżkę 5 odpowiedniego napięcia. Zwykle układ korekcji wygląda tak jak na rysunku 2. Należy przy tym uwzględnić wpływ dodatkowej rezystancji dołączonej w szereg z rezystorem R6. Wprowadza ona pewien błąd wzmocnienia i, co gorsza, radykalnie obniża współczynnik tłumienia sygnału wspólnego CMRR w stosunku $5k\Omega / R_{REF}$ (R_{REF} - zewnętrzna rezystancja widziana między końcówką REF a masą). Przykładowo, gdy dołączono rezystancję o wartości zaledwie 1Ω , to współczynnik CMRR zmniejszył się do wartości 5000, czyli 74dB. Jeśli więc miałby być stosowany obwód korekcji wyjściowego napięcia niezrównoważenia, to jego rezystancja widziana między końcówką 5 a masą powinna być jak najmniejsza, nawet rzędu ułamka oma.

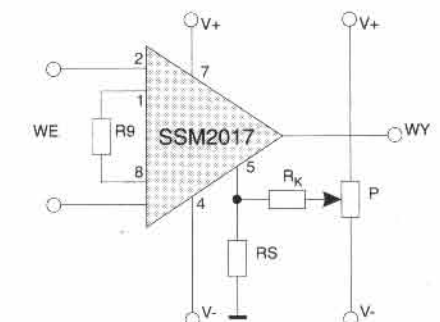
Inne zabiegi zmniejszające wartość napięcia niezrównoważenia mogą pogorszyć współczynniki tłumienia sygnału wspólnego

Tabela 1. Podstawowe parametry układu SSM-2017.

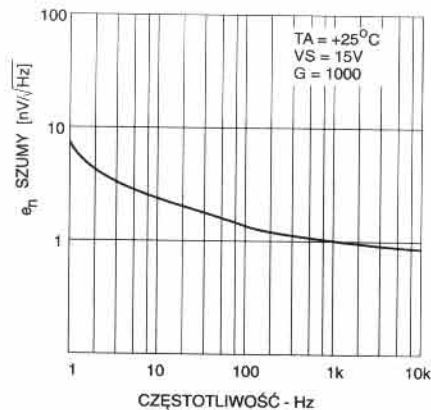
Zakres napięć zasilających:	$\pm 6 \dots \pm 22$
Pobór prądu:	max. 14mA
Temperatura otoczenia w czasie pracy:	$-40 \dots +85^\circ\text{C}$
Maksymalna temperatura złącza:	$+150^\circ\text{C}$
Rezystancja termiczna (DIP8 w podstawie)	
$R_{th(jc)}$:	96K/W
$R_{th(jc)}$:	37K/W
Gęstość napięcia szumów wejściowych ($G=1000$, $f=1\text{kHz}$):	950nV/V(Hz)
Gęstość prądu szumów wejściowych ($G=1000$, $f=1\text{kHz}$):	2pA/V(Hz)
Rezystancja wejściowa różnicowa:	
$G=1$:	typ. 30M Ω
$G=1000$:	typ. 1M Ω
Rezystancja dla sygnału wspólnego:	
$G=1$:	typ. 7,1M Ω
$G=1000$:	typ. 5,3M Ω
Wejściowy prąd polaryzujący:	typ. 6 μA ; max. 25 μA
Wejściowy prąd niezrównoważenia:	typ. 0,002 μA ; max. 2,5 μA
Wejściowe napięcie niezrównoważenia:	typ. 0,1mV; max. 1,2mV
Wyjściowe napięcie niezrównoważenia:	typ. 40mV; max. 500mV
Minimalna rezystancja obciążenia:	
$T_{amb} +25^\circ\text{C}$:	2k Ω
$T_{amb} -40 \dots +85^\circ\text{C}$:	4,7k Ω
Maksymalna pojemność obciążenia:	50pF
Zwarciovowy prąd wyjściowy:	typ. $\pm 50\text{mA}$
Dopuszczalny czas zwarcia wyjścia:	max. 10s
Szybkość narastania napięcia wyjściowego:	typ. 17V/ μs ; min. 10V/ μs
Zakres regulacji wzmocnienia:	1...3500



Rys. 1. Wzmacniacz różnicowy



Rys. 2. Układ korekcji napięcia niezrównoważenia dla układu SSM-2017



Rys. 3. Zależność energii szumów od częstotliwości

CMRR i tętnień zasilania PSRR. Dzięki awansowanej technologii produkcji napięcia niezrównoważenia są jednak niewielkie i w typowych przedwzmacniaczach audio nie zachodzi potrzeba ich korekcji.

Szumy wzmacniacza

W Notatniku Praktyka wspomnieliśmy, że o szumach całego układu decydują szumy pierwszego stopnia. Jest to prawda, ale pod warunkiem, że szumy tego stopnia są mniejsze niż szumy stopni następnych, natomiast wzmocnienie tego pierwszego stopnia jest duże (co najmniej kilkanaście, kilkadziesiąt razy).

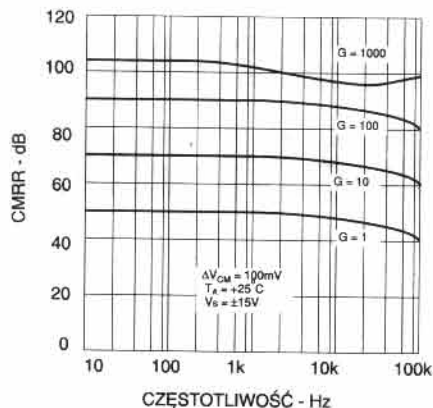
Niestety, przy wszystkich niewątpliwych zaletach opisywanej kostki, poziom szumów nie zawsze jest jednakowo niski. Przyczyną tego zjawiska jest budowa stopnia wejściowego. Jego wzmocnienie jest zależne od wartości rezystancji R_s (rezystancja źródła sygnału). Gdy R_s ma wartość rzędu dziesiątek omów, to po pierwsze, szum termiczny tak małej rezystancji jest niewielki, po drugie - wzmocnienie stopnia jest duże i o poziomie szumów decydują parametry tranzystorów wejściowych (w pierwszym stopniu wzmocnienia).

Szumy własne wzmacniacza przy wzmocnieniu 1000 ($R_s = 10\Omega$) są rzeczywiście rewelacyjnie niskie i odpowiadają szumom termicznym rezystora o wartości 50 Ω ! Znaczy to na przykład, że przy zastosowaniu profesjonalnego mikrofonu o rezystancji 200 Ω szumy własne mikrofonu są zdecydowanie większe niż szumy wzmacniacza. Ale gdy zwiększymy wartość R_s i zmniejszymy wzmocnienie, wtedy musimy się liczyć z większym szumem termicznym rezystora R_s . Nie możemy także zaniedbać szumów rezystorów R7, R8 i szumów wzmacniacza głównego. Poziom szumów naszego wzmacniacza odniesiony do wejścia nie jest więc stały, zależy bowiem od wartości rezystancji R_s .

W praktyce najczęściej nie jest to istotna wada, ponieważ decydującym parametrem jest stosunek S/N na wyjściu wzmacniacza, a nie samo napięcie szumów na wejściu.

Na przykład, mniejsze wzmocnienie jest wymagane przy większych poziomach sygnału ze względu na niebezpieczeństwo przesterowania. Tak więc, choć rosną wtedy szumy wzmacniacza, rośnie też wielkość sygnału użytecznego, co z reguły zwiększa odstęp S/N.

W przypadku układu SSM-2017 częstotli-



Rys. 4. Zależność wartości współczynnika CMRR od wzmocnienia i częstotliwości

wości załamania (kolana) na wykresie gęstości napięcia i prądu leżą bardzo nisko, w pobliżu dolnej granicy pasma akustycznego (patrz rysunek 3).

Znakomite właściwości szumowe kostki są wykorzystane tylko przy współpracy ze źródłami o rezystancji kilkudziesięciu, co najwyżej kilkuset omów. Przy większych rezystancjach źródła można z podobnym skutkiem zastosować inne, tańsze kostki.

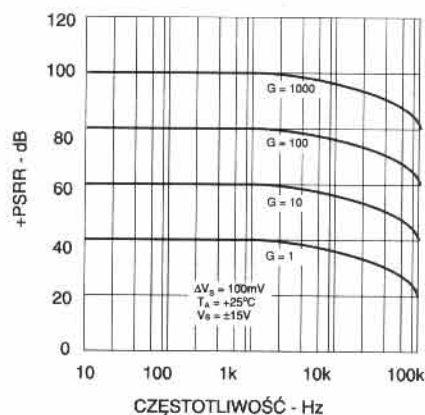
Inne specyficzne właściwości układu

Wzmacniacz o wejściu symetrycznym, różnicowym, nie powinien reagować na sygnał wspólny, podany jednocześnie na obie końcówki wejściowe. Dzięki temu zakłócenia, szczególnie przydźwięk sieci 50Hz, indukujące się jednocześnie w obu gorących przewodach doprowadzających, nie tylko nie są wzmocniane - w idealnym przypadku są wręcz całkowicie tłumione.

Niestety niewiele jest na tym świecie rzeczy idealnych - również wzmacniacze różnicowe nie tłumią doskonale sygnału wspólnego. Miarą jakości pod tym względem jest współczynnik tłumienia sygnału wspólnego, oznaczany zwykle CMRR (Common Mode Rejection Ratio), wyrażany w decybelach. Jest to stosunek wzmocnienia sygnału różnicowego do wzmocnienia sygnału wspólnego. Oczywiście najlepiej byłoby, gdyby wartość współczynnika CMRR była jak największa. Jak widać na rysunku 4, nasza kostka zapewnia znakomite tłumienie sygnału wspólnego rzędu 100dB (100.000 razy) przy wzmocnieniu układu co najmniej kilkuset razy. Przy wzmocnieniu równym 1 tłumienie to wynosi tylko 50dB (320 razy).

Gdybyśmy dołączyli wspomniany mikrofon do wejścia zwykłego niesymetrycznego wzmacniacza za pomocą jednożyłowego kabla w ekranie, to odstęp sygnał/zakłócenia zamiast 100dB wyniesie... 10mV/3mV = 3,3, czyli mniej więcej 10dB! Zastosowanie wzmacniacza z wejściem symetrycznym, o dużej wartości CMRR, radykalnie usunęło problem zakłóceń!

Obok współczynnika CMRR ważnym parametrem wzmacniacza jest współczynnik tłumienia tętnień zasilania, oznaczany PSRR (Power Supply Rejection Ratio) lub SVRR (Supply Voltage Rejection Ratio). Według definicji jest to stosunek zmiany wejściowego napięcia niezrównoważenia i wywołującej je zmiany napięcia zasilającego. W pra-

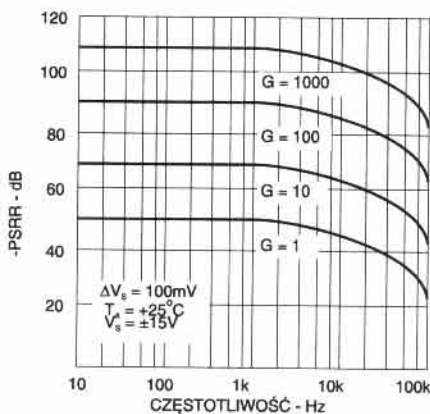


Rys. 5. Zależność wartości współczynnika +PSRR od wzmocnienia i częstotliwości

ktyce, napięcie szumów i zakłóceń występujące na szynach zasilających ulega tłumieniu o znalezionej w katalogu współczynnik PSRR (w decybelach) pomniejszony o wartość wzmocnienia wzmacniacza (także w decybelach).

Jak wynika z rysunków 5 i 6 przedstawiających wartości tego współczynnika dla obu napięć zasilających, również współczynnik PSRR zależy od wzmocnienia. W rzeczywistości tętnienia zasilania są tłumione dość dobrze w szerokim zakresie częstotliwości, a ich wpływ na sygnał wyjściowy jest stały i nie zależy od wzmocnienia. Niemniej, aby w pełni wykorzystać właściwości szumowe wzmacniacza, napięcia zasilające muszą być dobrze filtrowane.

Plotr Górecki



Rys. 6. Zależność wartości współczynnika -PSRR od wzmocnienia i częstotliwości

Dokładne informacje na temat układu SSM-2017 będzie można znaleźć w jednym z kolejnych zeszytów USKA.