



Ultraniskoszumny wzmacniacz mikrofonowy do komputera



Ultraniskoszumny przedwzmacniacz mikrofonowy. Dołączany do wejścia liniowego komputera lub miksera. W pełni symetryczne wejście. Współpracuje z profesjonalnymi mikrofonami dynamicznymi, a także pojemnościowymi. Dynamika ponad 100dB. Zniekształcenia rzędu 0,01%. Wzmocnienie regulowane skokowo 1x ... 3000x (0dB...70dB).

wersalny bardzo wysokiej jakości przedwzmacniacz mikrofonowy, ale też może służyć do wzmacniania sygnałów innych niż audio.

Opisywany wzmacniacz znakomicie nadaje się do mikrofonów symetrycznych, a takie wyjście mają wszystkie mikrofony dobrej jakości. Nie opłaca się jednak stosować opisywanego układu do współpracy ani z mikrofonami elektretowymi, ani z tanimi mikrofonami z wyjściem niesymetrycznym.

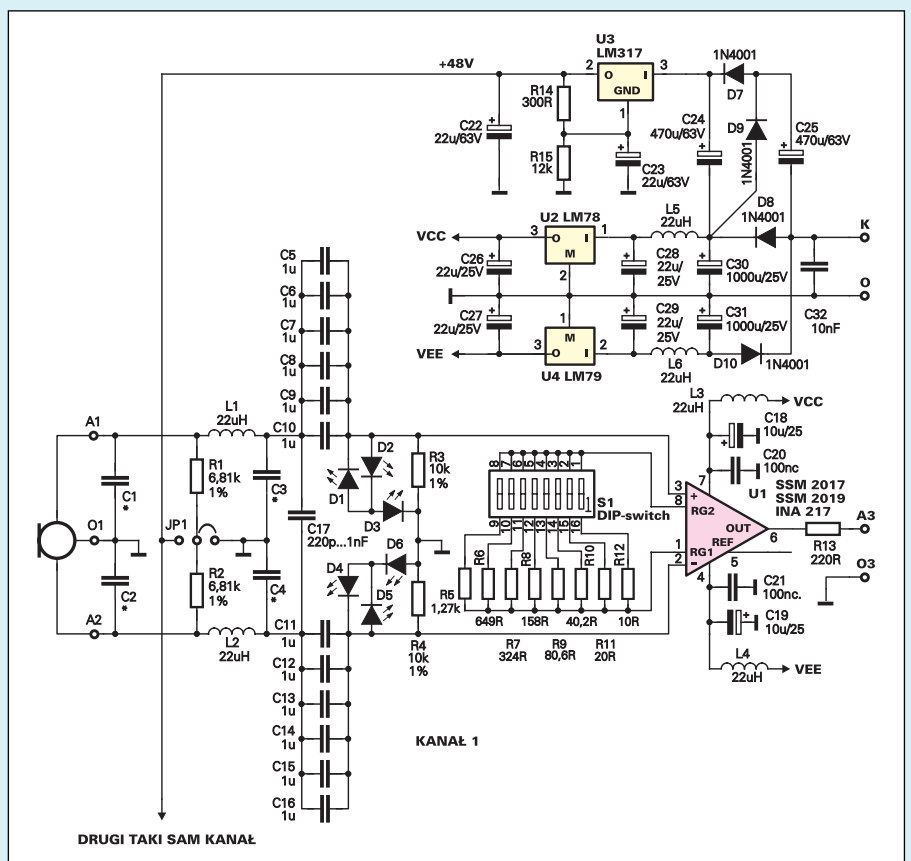
Do takich źródeł sygnału wystarczą prostsze układy z pojedynczym wzmacniaczem operacyjnym. Układy takie były opisywane w naszym czasopiśmie, m.in. w EdW 10/1996 str. 47 (Niskoszumny przedwzmacniacz mikrofonowy na układzie NE542), EdW 2/2001 str. 90 (Niskoszumny, precyzyjny wzmacniacz uniwersalny). Tego typu prosty wzmacniacz zostanie też opublikowany w jednym z najbliższych numerów EdW.

W redakcyjnej pocztę od pewnego czasu zaczęły się pojawiać prośby o opublikowanie wysokiej jakości wzmacniacza mikrofonowego, przeznaczonego dla potrzeb homerecordingu – domowego nagrywania dźwięku za pomocą komputera.

Tu trzeba od razu wyjaśnić, że wszystkie komputerowe karty dźwiękowe mają wejście mikrofonowe, jednak przeznaczone jest ono do współpracy z mikrofonami elektretowymi i w ogromnej większości przypadków jego parametry są słabe. Natomiast wejście liniowe komputerowych kart dźwiękowych pozwala zarejestrować sygnał z radykalnie lepszą jakością, ale oczywiście wymaga sygnału o znacznie wyższym poziomie. Wejście liniowe nie może współpracować bezpośrednio z mikrofonem ze względu na mały sygnał. Opisywany wzmacniacz jest autonomiczną przystawką, dołączaną do wejścia liniowego karty dźwiękowej. Dzięki zastosowaniu słynnego układu SSM-2017, ewentualnie jego następców oraz dzięki obecności wejścia symetrycznego wzmacniacz ma znakomite parametry i może współpracować z najlepszymi mikrofonami profesjonalnymi. Dużą zaletą opisywanej konstrukcji są dodatkowe obwody zasilania typu PHANTOM (48V) umożliwiające wykorzystanie profesjonalnych mikrofonów pojemnościowych.

Prezentowany układ znajdzie też szereg innych zastosowań. Może być stosowany jako uni-

Rys. 1



Opis układu

Schemat układu pokazany jest na **rysunku 1**. Moduł zawiera dwa kanały wzmacniacza oraz wspólny zasilacz. **Moduł zasilany jest pojedynczym napięciem zmiennym** o wartości około 14...16V. To napięcie zmienne jest prostowane jednopółkowo przez diody D8, D10 i służy do uzyskania głównego symetrycznego napięcia zasilającego $\pm 12V$. Dławiki L1, L2 mają zapobiegać ewentualnym zakłóceniom impulsowym i w.cz., przedostającym się z sieci przez transformator. Obwody stabilizacji są klasyczne, zawierają układy 7812 i 7912.

Diody D7, D9 i kondensatory C24, C25 tworzą powielacz napięcia. Na kondensatorze C24 uzyskuje się napięcie rzędu 60V, które jest stabilizowane przez układ U3 (LM317). Na wyjściu stabilizatora uzyskuje się napięcie +48V względem masy. Jest to napięcie zasilania typu PHANTOM. Zasilanie takie potrzebne jest dla profesjonalnych mikrofonów pojemnościowych. Wszystkie mikrofony lepszej jakości mają wyjście symetryczne, czyli podłączane są trzema przewodami (dwa „gorące” sygnałowe plus masa-ekran) – patrz **rysunek 2a**. Mikrofony pojemnościowe mają wewnątrz wzmacniacz wymagający zasilania. Przed wielu laty przyjęto interesujący standard ich zasilania. **Rysunek 2b** pokazuje w uproszczeniu zasadę działania mikrofonów z zasilaniem PHANTOM. Napięcie stałe do zasilania wzmacniacza w mikrofonie dostarczane jest przez „gorące” linie sygnałowe kabla. W mikrofonie specjalny obwód zasilania separuje tak dostarczane napięcie od przebiegów zmiennych. Z drugiej strony kabla mikrofonowego musi być umieszczony obwód zasilania napięciem 48V z dwoma rezystorami o wartości 6,8k Ω . W opisywanym module napięcie PHANTOM można włączać według potrzeb za pomocą zwory JP1 (tu warto wspomnieć, że znane od lat i cieszące się kiedyś dużym powodzeniem krajowe mikrofony pojemnościowe MCO52 i MCU53 zasilane były ina-

czej – posiadały wewnętrzny pojemnik na baterię oraz miały dodatkową końcówkę do zasilania zewnętrznym napięciem 6V z wykorzystaniem oddzielnej żyły kabla).

Sercem wzmacniacza toru jest słynny ultraniskoszumny układ SSM-2017. Elementy L3, L4, C18...C21 filtrują i odsprzęgają obwody zasilania. Rezystory R5...R12 pozwalają ustawić potrzebne wzmocnienie. Rezystor wyjściowy R13 stanowi dodatkowe zabezpieczenie na okoliczność przypadkowego zwarcia wyjścia – dodatkowe, bo wzmacniacz ma wewnętrzne obwody zabezpieczające przed uszkodzeniem przy zwarciu wyjścia. Nóżki 2 i 3 to wejście symetryczne – sygnał z mikrofonu symetrycznego podawany jest na wejście przez dławiki L1, L2 i kondensatory C5...C16. Dołączone do masy jednakowe rezystory R3, R4 zapewniają stałoprądowe warunki pracy wejścia, umożliwiając przepływ prądów polaryzujących. Diody LED D1...D6 pełnią rolę ochronną. Podczas normalnej pracy na wejściach występują niewielkie sygnały zmienne, więc diody te na pewno nie przewodzą i nie wpływają na sygnał nawet w najmniejszym stopniu. Pełnią swą rolę ochronną tylko w przypadku, gdy mikrofon jest dołączony lub odłączany „na gorąco”, w trakcie pracy wzmacniacza. Dołączenie i odłączenie mikrofonu powoduje gwałtowny skok napięcia stałego. Skok ten ma amplitudę kilkudziesięciu woltów i przechodząc przez kondensatory, mógłby uszkodzić delikatne wejście wzmacniacza. Skutecznie zapobiegają temu diody LED D1...D6, ograniczając amplitudę impulsu do bezpiecznej wartości około 4,5V.

Rezystancje wejściowe układu scalonego, zarówno różnicowa, jak i względem masy, są większe niż 1M Ω , więc można je spokojnie pominąć. Pasma przenoszenia ograniczone jest od dołu przez pojemność kondensatorów sprzęgających C5...C16 i rezystancje R3, R4.

Oporność wejściowa (różnicowa) dla sygnałów audio, widziana od strony mikrofonu wynosi około 8k Ω , co zapewnia dobrą współpracę także z mikrofonami o wewnętrznej rezystancji większej niż 200 Ω (profesjonalne mikrofony mają z reguły impedancję wewnętrzną 200 Ω). Rezystancja między każdą z linii wejściowych a masą wynosi około 4k Ω , co zapewnia dobre tłumienie ewentualnych zakłóceń wspólnych (np. brumu sieciowego).

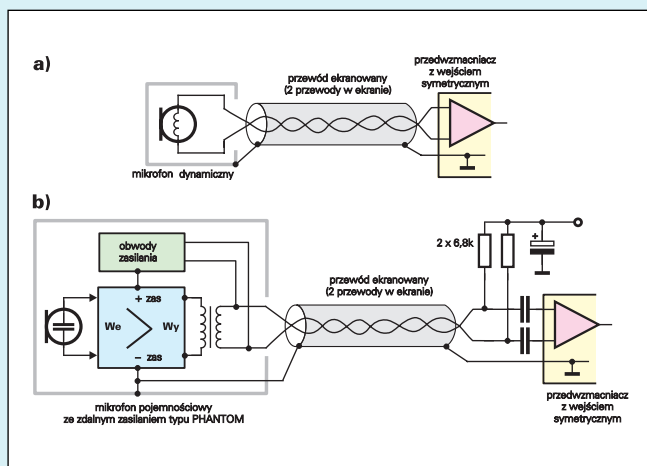
W tym wzmacniaczu, mającym z założenia znakomite parametry, przewidziano foliowe, a nie elektrolitycz-

ne kondensatory sprzęgające. Przewidziano po sześć kondensatorów MKT 1 μF /63V. Wraz z rezystancjami R3 (R4) o wartości 10k Ω daje to dolną częstotliwość graniczną poniżej 3Hz. We wzmacniaczu mikrofonowym nie jest potrzebna tak niska częstotliwość graniczna. Wystarczyłoby pasmo od częstotliwości 20Hz, uzyskane przy zastosowaniu tylko jednego kondensatora o pojemności 1 μF . W układzie celowo zastosowano tak dużą pojemność i złożenie sześciu kondensatorów. Powody są dwa.

Po pierwsze, głównym celem nie jest poszerzenie pasma, tylko zmniejszenie (i tak znikomej) rezystancji szeregowej kondensatorów. Jest to ułkon w stronę audiofilów-purystów, którzy zawzięcie dyskutują nad różnicami w brzmieniu kondensatorów różnego typu: polipropylenowych, poliwęglanowych, polistyrenowych, poliestrowych oraz „elektrolitów” zwykłych i tantalowych. W układzie zastosowane są popularne, niemniej zupełnie przyzwoite kondensatory poliestrowe MKT. Mają one naprawdę niewielki tangens kąta strat, czyli małą szkodliwą rezystancję szeregową. Połączenie równoległe sześciu takich kondensatorów jeszcze bardziej zmniejsza tę rezystancję, przez co zupełnie niepotrzebne jest stosowanie uważanych za nieco lepsze kondensatorów polipropylenowych, poliwęglanowych czy polistyrenowych. Tak duża pojemność przewidziana jest właśnie z uwagi na audiofilskie dyskusje nad właściwościami kondensatorów. W praktyce przy 10-kiloomowych rezystorach R3, R4 całkowicie wystarczy zamontowanie dwóch kondensatorów 1 μF zamiast dwunastu. Kto chce, niech się przekona, że zwiększanie pojemności ma znikomy, wręcz niezauważalny wpływ na dźwięk.

Po drugie, po sześć kondensatorów sprzęgających przewidziano dla purystów, którzy chcą obciążyć mikrofon dynamiczny rezystancją 1...3k Ω , mającą tłumić bezwładność cewki mikrofonu. To szczegół uwzględniany tylko przez niektórych profesjonalistów, nie-mających istotnego znaczenia praktycznego. Zjawisko bezwładności i tłumienia drgań własnych wyraźniej obserwujemy w głośnikach oraz w miernikach wskazówkowych. Zmniejszanie rezystancji dołączonej do głośnika (rezystancja wyjściowa wzmacniacza, określająca parametr zwany współczynnikiem tłumienia) lub ustroju miernika wskazówkowego zmniejsza bezwładność i skłonność do własnych drgań rezonansowych. Tu warto wspomnieć, że obciążeniem dla mikrofonu jest różnicowa rezystancja wejściowa przedwzmacniacza. Czym jest ona mniejsza, tym lepsze tłumienie wspomnianych drgań, ale też mniejszy jest sygnał z tak silnie obciążonego mikrofonu. W literaturze często spotyka się zalecenie, żeby obciążenie mikrofonu dynamicznego wynosiło 2k Ω . Inne źródła

Rys. 2



zalecają rezystancję obciążenia w zakresie $1k\Omega \dots 10k\Omega$.

W opisywanym układzie można śmiało zmniejszyć rezystancje R3 i R4 nawet do $1k\Omega$. Przykładowo zastosowanie rezystorów $1k\Omega$ da dolną częstotliwość graniczną nieco poniżej 30Hz, a rezystancja wejściowa widziana przez mikrofon jako obciążenie spadnie do wartości około $1,75k\Omega$, a przy rezystorach R3, R4 o wartości $1,18k\Omega$ 1% rezystancja wejściowa wyniesie dokładnie $2k\Omega$.

W każdym przypadku rezystory R1, R2, R3, R4 powinny być dobrej jakości rezystorami metalizowanymi o tolerancji 1%. Powody są dwa. Po pierwsze, mają to być rezystory o małych szumach własnych. Praktycznie wszystkie rezystory 1-procentowe to rezystory metalizowane, mające dobre parametry szumowe. Tak samo rezystory R5...R12 powinny być rezystorami metalizowanymi o tolerancji 1% tylko ze względu na szumy własne, a nie na dokładność i stałość rezystancji.

Po drugie, rezystory R1, R3 oraz R2, R4 wyznaczają rezystancję między obydwoma „gorącymi” liniami sygnałowymi a masą. Duże różnice rezystancji spowodowałyby pewne pogorszenie współczynnika tłumienia sygnału wspólnego. Dokładność 1% jest tu absolutnie wystarczająca, niemniej jeśli ktoś chce, można choćby zwykłym multimetrem dokładniej dobrać te rezystancje parami.

Elementy C1...C4 i L1, L2 oraz C17 tworzą filtr dolnoprzepustowy, tłumiący częstotliwości radiowe. Wiele przedwzmacniaczy mikrofonowych nie ma takich obwodów, a mimo to nie występują w nich żadne niespodzianki wynikające ze „zbierania” zakłóceń radiowych. Warto jednak pamiętać, że sygnały w.cz. mogą mieć negatywny wpływ na działanie przedwzmacniacza. Wprawdzie same sygnały w.cz. z natury nie są słyszalne, jednak są one w rozmaity sposób modulowane i w pewnych przypadkach mogą zmieniać punkt pracy stopnia wejściowego, powodując słyszalne efekty. Układ SSM-2017 generalnie ma dobre właściwości pod tym względem, niemniej w module przewidziano na wszelki wypadek symetryczny filtr zawierający elementy C1, L1, C3, C2, L2, C4 oraz C17. W wersji podstawowej można zmontować tylko elementy L1, L2 oraz C17 o podanej wartości.

Wzmocnienie układu SSM-2017 można regulować w niesamowicie szerokim zakresie od $1x$ (0dB) do ponad $2000x$ (66dB) za pomocą rezystancji włączanej między nóżki 1, 8. Wzmocnienie zależy od wypadkowej rezystancji rezystorów dołączonych za pomocą S1. Ponieważ każdy następny rezystor spośród R5...R12 ma wartość dwa razy większą (mniejszą) od poprzedniego, można uzyskać praktycznie dowolne wartości wzmocnienia, włączając kilka rezystorów. W module wzmocnienie można regulować skokowo za pomocą DIP-switcha S1 w zakresie

$1x \dots 2000x$ (0dB...66dB). Wzmocnienie większe niż $100x$ jest potrzebne bardzo rzadko – tylko w warunkach studyjnych, gdy mikrofon dynamiczny o małej skuteczności umieszczony jest w znacznej odległości od źródła dźwięku. Bliższe informacje o zależności wzmocnienia od rezystancji podane są w końcowej części artykułu. W praktyce nie trzeba nic liczyć, tylko za pomocą przełącznika S1 ustawić taką wartość wzmocnienia, żeby przedwzmacniacz nie był przesterowany nawet przy najsilniejszych sygnałach z mikrofonu.

Montaż i uruchomienie

Układ można zmontować na jednostronnej płytce drukowanej, pokazanej na rysunku 3. Warto zacząć od kilku zwór i kolejno montować elementy, począwszy od najmniejszych. Pod układ scalony można dać podstawkę.

Układ po prawidłowym zmontowaniu ze sprawnych elementów nie wymaga żadnego uruchamiania i jest gotowy do pracy. Należy tylko za pomocą styków przełącznika S1 ustawić potrzebne wzmocnienie. Czym mniejsza dołączona rezystancja, tym większe wzmocnienie. W tabeli 1 podane są wartości wzmocnienia, odpowiadające poszczególnym rezystorom. Wartości pośrednie uzyskuje się, dołączając dodatkowo rezystory o większych wartościach. Przy zwarcu wszystkich styków S1 wypadkowa rezystancja wynosi około 5Ω , a wzmocnienie około $2000x$ (66dB).

Najwyższe wartości wzmocnienia są potrzebne bardzo rzadko, tylko w warunkach

studyjnych do współpracy z niektórymi mikrofonami dynamicznymi o małej skuteczności. W innych przypadkach można zwiększyć wartości rezystorów R5...R12. Tabela 2 pokazuje wartości wzmocnienia przy dziesięciokrotnie większych wartościach R5...R12.

Bez zewnętrznego obciążenia pobór prądu przez jeden tor nie przekracza 15mA. Pomiar modelu wykazały, iż przy zasilaniu kostki SSM-2017 napięciem $\pm 12V$, na wyjściu można uzyskać niezniekształcony sygnał o wartości $20V_{pp}$, czyli około 14V wartości skutecznej. Jest to dużo więcej, niż trzeba

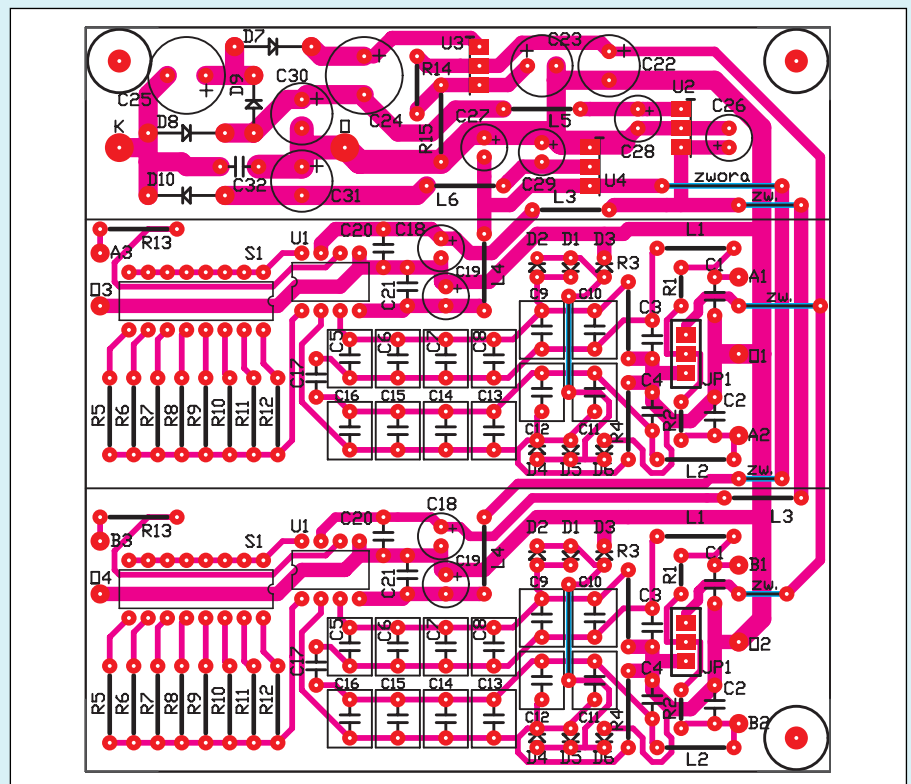
Rezystor	Wartość	Wzmocnienie
R5	$1,27k\Omega$	8,9x 19dB
R6	649Ω	16x 24dB
R7	324Ω	32x 30dB
R8	158Ω	64x 36dB
R9	$80,6\Omega$	125x 42dB
R10	$40,2\Omega$	250x 48dB
R11	20Ω	501x 54dB
R12	10Ω	1001x 60dB
wszystkie	5Ω	2001x 66dB

Tabela 1

Tabela 2

Rezystor	Wartość	Wzmocnienie
R5	$12,7k\Omega$	1,8x 5dB
R6	$6,49k\Omega$	2,5x 8dB
R7	$3,24k\Omega$	4,0x 12dB
R8	$1,58k\Omega$	7,3x 17dB
R9	806Ω	13,4x 23dB
R10	402Ω	26x 28dB
R11	200Ω	51x 34dB
R12	100Ω	101x 40dB
wszystkie	50Ω	201x 46dB

Rys. 3 Schemat montażowy



podać na wejście następnego wzmacniacza (miksera lub wzmacniacza mocy). Oznacza to, że prezentowany wzmacniacz ma duży zapas i trudno go przesterować. Zapas amplitudy (headroom) w odniesieniu do standardowego sygnału 0,775V (0dB) wynosi więc aż 19,2dB.

Dzięki znakomitym właściwościom kostki SSM-2017 górna granica pasma nawet przy wzmacnieniu 1000x (60dB) przekracza 100kHz, a przy mniejszym wzmacnieniu sięga 1MHz i więcej. Parametry dynamiczne są znakomite – generalnie poziom zniekształceń harmoniczných jest mniejszy niż 0,01%.

W pierwszym modelu zastosowany został znakomity układ SSM-2017, który wprawdzie nie jest już produkowany, ale można go jeszcze kupić (np. w poznańskiej firmie ALFINE). W układzie można też śmiało zastosować jego następcę: SSM-2019, który ma odrobinę słabsze parametry (np. gęstość szumów nie 0,95, tylko 1 nanowolt na pierwiastek z herca), ale za to jest zdecydowanie tańszy.

Zamiast układu SSM-2017 produkcji Analog Devices można zastosować układ INA217 firmy Texas Instruments (Burr Brown), który ma bardzo zbliżone parametry. Układ INA217 reklamowany jako zamiennik SSM-2017 ma wprawdzie nieco większe szumy (1,3nV), ale ma to znaczenie tylko przy współpracy ze źródłami o rezystancji wewnętrznej mniejszej niż 200Ω i przy wartościach wzmacnienia większych od 100x (40dB). Mikrofony dynamiczne standardowo mają oporność wyjściową 200Ω, więc układ INA217 powinien zapewnić parametry nie gorsze niż SSM-2017.

W układzie nie należy natomiast stosować wzmacniacza pomiarowego AMP02, który ma identyczny rozkład wyprowadzeń. Jest to precyzyjny układ pomiarowy, który choćby ze względu na większe szumy (9nV) nie jest przeznaczony do sprzętu audio najwyższej klasy.

Gotowy moduł warto umieścić w metalowej obudowie, która będzie też pełnił rolę ekranu (obudowa musi być połączona z masą układu). Można też spróbować umieścić moduł w komputerze, w kasecie w miejscu przewidzianym dla CD-ROM-a – zwykle w komputerze jest wolne miejsce na jeszcze jeden napęd. Wtedy można zasiląć moduł napięciem ±12V z komputera, a gniazdo wejściowe mikrofonu umieścić w zaślepce. Taki sposób jest jednak mniej godny polecenia z uwagi na duży poziom zakłóceń wewnątrz komputera i możliwe zakłócenia obecne w „cyfrowych” obwodach zasilania. Zdecydowanie bezpieczniejsze jest umieszczenie przedwzmacniacza w metalowym pudełku i zasilanie z wtyczkowego zasilacza napięcia zmiennego.

Kto nie przewiduje korzystania z profesjonalnych mikrofonów pojemnościowych i nie potrzebuje zasilania PHANTOM, może uprościć obwody zasilania: nie montować

powielacza napięcia i obwodów stabilizatora LM314. Warto jednak zamontować rezystory R1, R2 i za pomocą zwory JP1 dołączyć je do masy. Nie należy też pochopnie rezygnować z diod ochronnych D1...D6, które chronią przed wszelkimi dużymi impulsami zakłócającymi dostającymi się na wejście. Taka uproszczona wersja bez zasilacza PHANTOM, a tylko ze stabilizatorami U2, U4 z powodzeniem może być zasilana z małego wtyczkowego zasilacza napięcia zmiennego o napięciu nominalnym 12VAC (np. AC 12V 300mA firmy Tatarek). Napięcie zmienne (o wartości skutecznej) 12V powinno z powodzeniem wystarczyć do wytworzenia prawidłowo stabilizowanego (stałego) napięcia symetrycznego ±12V.

Do zasilania wersji z zasilaczem +48V potrzebny będzie zasilacz napięcia zmiennego (transformator) o nieco większym napięciu wyjściowym: 14...16V, z którego uzyskuje się potrzebne napięcia stałe (±12V oraz +48V). Do zasilania pełnej wersji z zapasem wystarczy na przykład wtyczkowy zasilacz AC/AC 15V 600mA firmy Indel. Poszczególne zasilacze (transformatory) mają różne właściwości i ich napięcie wyjściowe przy niewielkim obciążeniu może być znacznie większe od nominalnego. Dlatego w przypadku wykorzystania powielacza i zasilacza PHANTOM, należy się upewnić, czy na kondensatorach C24, C25 nie występuje napięcie większe od ich napięcia nominalnego (63V). Gdyby było większe, należy w szereg z C25 włączyć rezystor o dobrej wartości.

Użycie pojedynczego zasilacza prądu zmiennego jest jak najbardziej uzasadnione w przypadku współpracy z komputerem. Jeśli natomiast moduł miałby być częścią większego urządzenia, na przykład miksera, można nie montować stabilizatorów U2, U3, a do zasilania wykorzystać dostępne w urządzeniu dobrze stabilizowane napięcie symetryczne ±6V...±18 (w przypadku SSM-2017 do ±22V). W takim przypadku część płytki zawierającą obwody zasilaczy można odciąć. Podwyższenie napięcia zasilającego układ scalony jeszcze bardziej zwiększy zapas amplitudy (headroom).

Na płycie drukowanej przewidziano miejsce na dwa identyczne wzmacniacze. W zestawie AVT-2703 zawarte są tylko elementy do budowy jednego toru. Ponieważ znaczna część użytkowników nie będzie wykorzystywać mikrofonów pojemnościowych z zasilaniem PHANTOM, w zestawie AVT-2703 nie występują też elementy zasilacza +48V, a tylko obwody zasilacza napięcia symetrycznego ±12V.

Dla dociekliwych i zaawansowanych

Wzmocnienie układów SSM-2017, SSM-2019 i INA217 jest określone przez rezystancję R_G włączoną między nożki 1, 8. Można ją

zmieniać w zakresie 10Ω do nieskończoności. Oto wzór na wzmocnienie:

$$\text{Wzmocnienie} = (10k\Omega / R_G) + 1$$

W roli rezystancji R_G konieczne trzeba stosować rezystory stałe dobrej jakości. Przy dużych wartościach wzmocnienia parametry szumowe rezystora R_G mogą poważnie wpływać na wypadkowy poziom szumów. Dlatego w module przewidziano regulację skokową przy zastosowaniu precyzyjnych, niskoszumnych rezystorów. Nie należy tych rezystorów zastępować popularnym potencjometrem węglowym, który na pewno będzie miał duże szumy. W przypadku konieczności płynnej regulacji należy wykorzystać cermetowe helitrimy.

Interesująca budowa wewnętrzna tych precyzyjnych układów scalonych zapewnia niewielkie napięcie niezrównoważenia:

SSM-2017 typowo 0,1mV

SSM-2019 typowo 0,05mV

INA217 typowo 0,05mV

Dzięki temu napięcie stałe na wyjściu będzie bliskie potencjału masy. Przy zmianie wzmacnienia może się zmieniać, ale zmiany te będą w sumie niewielkie. W wersji standardowej problem ten można pominąć.

Jedynie gdyby moduł miał pracować w zastosowaniach, gdzie zmiany te byłyby niedopuszczalne, można skorygować niezrównoważenie, podając niewielkie napięcie stałe na nóżkę 5, która standardowo jest dołączona do masy. Należy jednak pamiętać, że wtrącenie między masę a nóżkę 5 rezystancji radykalnie zmniejsza współczynnik tłumienia napięć wspólnych. Szczegółowych informacji na ten temat trzeba szukać w kartach katalogowych układów scalonych.

Jeśli chodzi o obwody wejściowe, to w wersji najprostszej nie trzeba w ogóle montować elementów wejściowego filtra przeciwzakłócenia i wtedy zamiast L1, L2 można wlotować zwory. W wersji standardowej należy zamontować tylko L1, L2 o indukcyjności 22...100μH oraz C17 o pojemności rzędu 1nF. Wpływ zakłóceń radiowych może jednak wystąpić np. w pobliżu silnych nadajników, zwłaszcza długo-, średnio- i krótkofalowych, w tym stacji radiokomunikacyjnych i CB. W takich bardzo rzadkich przypadkach, gdyby zakłócenia dawały o sobie znać, może zająć potrzeba zwiększenia indukcyjności L1, L2 i zastosowania kondensatorów C1...C4, C17 o pojemności stosownej do częstotliwości zakłócającej. Elementy filtru należy dobrać we własnym zakresie, zależnie od sytuacji. Nie ma jednoznacznej odpowiedzi, jakie powinny być elementy tego filtra - ponieważ w grę wchodzi tu różne czynniki, nie sposób podać jednej prostej recepty. Na przykład dławik, który z założenia powinien stanowić duży opór dla przebiegów w.c.z., może okazać się ferrytową anteną odbiorczą, która wręcz pogorszy sytuację. Ratunkiem będzie wtedy staranne zaekranowanie całego modułu

i podłączenie ekranu do masy urządzenia. Pasożytnicze pojemności własne cewki oraz szkodliwa indukcyjność kondensatorów i przewodów mogą nieoczekiwanie stworzyć obwody rezonansowe, które nie zmniejszą, tylko zwiększą wrażliwość na zakłócenia o pewnych częstotliwościach. Dlatego gdyby zakłócenia radiowe dały o sobie znać, należy dobrać filtr wejściowy metodą praktycznych prób. Pomocne mogą się też okazać dodatkowe w zewnętrzne filtry, między innymi z wykorzystaniem kondensatorów przepustowych.

W miarę możliwości warto zwiększyć napięcie zasilania. Według karty katalogowej zakres napięć zasilania to $\pm 6V... \pm 18V$ (SSM-2017 do $\pm 22V$), a pobór prądu dla SSM-2017 i INA217 typowo wynosi 10mA, maksymalnie 14mA. Dla SSM-2019 jest mniejszy: typowo 4,7mA, maksymalnie 8,5mA.

A oto jeden z kluczowych parametrów: zniekształcenia harmoniczne (THD+N, 1kHz) przy wzmacnieniu $G=100$:

SSM-2017	0,005%
SSM-2019	0,0085%
INA217	0,004%

Blizsze szczegóły podane są na **rysunku 4**. Szybkość zmian napięcia wyjściowego jest duża:

SSM-2017	typ. 17V/ μs , min 10V/ μs
SSM-2019	typ. 16V/ μs
INA217	typ. 15V/ μs

co zapewnia znakomite parametry dynamiczne. Prąd polaryzacji wejść:

SSM-2017	typ. 6 μA , max 25 μA
SSM-2019	typ. 3 μA , max 10 μA
INA217	typ. 2 μA , max 10 μA

Tłumienie sygnału wspólnego (CMRR) przy $G=100$:

SSM-2017	typ. 92dB, min 60dB
SSM-2019	typ. 113dB, min 90dB
INA217	typ. 116dB, min 100dB

Tłumienie tętnień zasilania (100Hz) przy $G=100$:

SSM-2017	typ. 118dB, min 60dB
SSM-2019	typ. 118dB, min 90dB
INA217	typ. 120dB

Tłumienie sygnału wspólnego i tłumienie tętnień zasilania są bardzo dobre i niewiele zmieniają się w całym zakresie częstotliwości akustycznych.

Rezystancja wejściowa dla sygnału różnicowego (użytecznego) nawet przy wzmacnieniu $G=1000$ nie powinna być mniejsza niż 1M Ω . Rezystancja wejściowa dla sygnału wspólnego jest jeszcze większa.

Wyjścia wszystkich kostek mają obwody ograniczające prąd zwarcia do $\pm 50...60mA$. Układy SSM-2019 i INA217 nie boją się ciągłego zwarcia wyjścia do masy. Wyjście kostki SSM-2017 nie ulegnie uszkodzeniu ani przegrzaniu przy zwarciu do masy przez czas do 10 sekund.

Co istotne, dość duża prądowa gęstość szumów:

SSM-2017	2pA/(Hz) ^{1/2}
SSM-2019	2pA/(Hz) ^{1/2}
INA217	0,8pA/(Hz) ^{1/2}

typowa dla wzmacniaczy na tranzystorach bipolarnych wskazuje, że małe szumy wyjściowe uzyskuje się tylko we współpracy z źródłami o małej rezystancji wewnętrznej.

Napięciowa gęstość szumów przy wzmacnieniu $G=1000$ (w nanowoltach na pierwiastek z herca) wynosi:

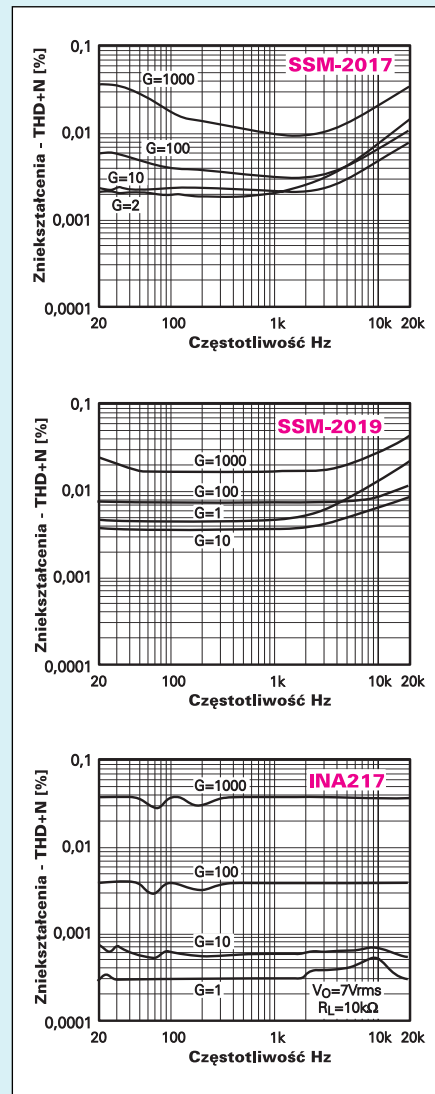
SSM-2017	0,95
SSM-2019	1,0
INA217	1,3

Podane w katalogu gęstości szumów napięciowych dla różnych wartości wzmacnienia mogą budzić zdziwienie, ponieważ czym mniejsze jest wzmacnienie, tym większe wydają się szumy. W rzeczywistości wcale nie jest tak źle, ponieważ podane wartości odniesione są do wejścia, a w rzeczywistości interesują nas wartości szumów na wyjściu, a te przecież są większe od szumów na wejściu mniej więcej tyle razy, ile wynosi wzmacnienie (analogiczna zasada dotyczy tłumienia

sygnału wspólnego CMRR). Warto natomiast pamiętać, że na całkowity poziom szumów ma wpływ rezystancja R_G włączona między nóżki 1, 8, w tym jej szumy termiczne. Można powiedzieć, że przy dużych wartościach wzmacnienia szumy odniesione do wejścia są mniej więcej takie, jak szumy termiczne rezystancji R_G . Oznacza to między innymi, że przy wzmacnieniu mniejszym od 1000 nie można liczyć na osiągnięcie podawanej w materiałach reklamowych liczbowej gęstości szumów wejściowych, ale to nie zmienia faktu, że opisywany wzmacniacz jest naprawdę ultraniskoszumny i jego szumy własne są porównywalne z szumami własnymi rezystancji 200-omowego mikrofonu (gęstość szumów termicznych rezystancji 200 Ω wynosi 1,8nV/(Hz)^{1/2}).

ciąg dalszy na stronie 33.

Rys. 4



Wykaz elementów

Rezystory

R1,R2	.....	6,81k Ω 1%
R3,R4	.....	10k Ω 1%
R5	.....	1,27k Ω 1%
R6	.....	649 Ω 1%
R7	.....	324 Ω 1%
R8	.....	158k Ω 1%
R9	.....	80,6 Ω 1%
R10	.....	40,2 Ω 1%
R11	.....	20 Ω 1%
R12	.....	10 Ω 1%
R13	.....	220 Ω
R14	.....	301 Ω 1%
R15	.....	11,3k Ω

Kondensatory

C1,C2,C3,C4	.....	patrz tekst
C32	.....	10nF
C5-C16	.....	1 μF MKT
C17	.....	1nF ceram.
C18,C19	.....	10 μF /25V
C20,C21	.....	100n ceramiczny.
C22,C23	.....	22 μF /63V
C24,C25	.....	470 μF /63V
C26-C29	.....	22 μF /25V
C30	.....	1000 μF /25V
C31	.....	1000 μF /25V

Półprzewodniki

D1-D6	.....	LED zielona 3mm
D7-D10	.....	1N4001
U1	.....	SSM2017, SSM-2019 lub INA217
U2	.....	7812
U3	.....	LM317
U4	.....	7912

Pozostałe

JP1	.....	jumper x 3
L1,L2,L5,L6	.....	22 μH
L3,L4	.....	22 μH
S1	.....	DIP-switch x 8

Podstawka precyzyjna 8-pin

Uwaga 1. Nominale rezystorów R5...R12 mogą różnić się o kilka... kilkanaście procent od podanych (sąsiednie wartości z szeregu). W każdym razie powinny to być rezystory o tolerancji 1%.

Uwaga 2. Zestaw AVT-2703/B zawiera tylko elementy do montażu jednego kanału wzmacniacza. Nie zawiera też wszystkich elementów obwodu zasilacza +48V. W skład kitu nie wchodzi więc elementy D7, D9, C22...C25, R14, R15, U3.

Komplet podzespołów z płytką jest dostępny w sieci handlowej AVT jako kit szkolny AVT-2703

Ciąg dalszy ze strony 17.

Karty katalogowe układów SSM-2017, SSM-2019, INA217 i AMP02 można ściągnąć ze stron internetowych ich producentów (www.analog.com, www.ti.com) lub ze strony internetowej EdW (www.edw.com.pl)

Piotr Górecki

P.S. 1 Po wykonaniu model został udostępniony do prób i sprawdzenia znanemu Czytelnikom EdW Ryszardowi Ronikierowi. Poniżej zamieszczona jest treść e-maila opisującego wyniki pomiarów:

Witam Piotrze! Wreszcie udało mi się uwieńczyć sukcesem pomiary parametrów elektroakustycznych wzmacniacza mikrofonowego. Pomiary były dokonane w warunkach profesjonalnych, w Polskim Radiu. Do pomiaru użyto nowoczesnego skomputeryzowanego zestawu „System One, Audio Precision”.

Wzmocnienie ustawiłem wysokie 60dB (1000x). Do wejścia symetrycznego badanego wzmacniacza (o impedancji wejściowej około 3kΩ) doprowadzony był sygnał akustyczny o poziomie mikrofonowym (1,5mV). Na wyjściu wzmacniacza napięcie wyniosło 1,55V, czyli 6dBu (w odniesieniu do 0,775V) – typowy „radiowy” poziom nominalny.

Pasma przenoszenia przy tak dużym wzmocnieniu wyniosło 20Hz (-1dB) do 50kHz (-3dB). Pomiar zawartości harmonicznych w całym paśmie akustycznym THD. Współczynnik harmonicznych THD wy-

niósł 0,01%, co przy wzmocnieniu 1000x jest doskonałym wynikiem.

Maksymalny poziom wyjściowy przy współczynniku harmonicznych 1% wynosił +18dBu (parametr istotny ze względu na przesterowanie).

Badany moduł wzmacniacza umieszczony został w obudowie metalowej, która została połączona z masą elektryczną wzmacniacza. Do pomiaru zakłóceń włączony został filtr pasmowy 22Hz-22kHz, wejścia zwarte „na krótko”. Odczytana została wyjściowa wartość szumów i zakłóceń -80dBu (77,5uV), co daje nominalny odstęp od własnych szumów i zakłóceń równy 86dB (80dB+6dB) i całkowitą dynamikę 98dB (80dB+18dB). Wynik jest znakomity uwzględniając, że jest to wzmacniacz mikrofonowy mogący pracować przy bardzo małych sygnałach z mikrofonu, a nie wzmacniacz sygnałów liniowych.

Przy pomiarze szumów własnych wejście wzmacniacza było zwarte rezystorem 200Ω, filtr psfometryczny (A) włączony, odczytana wartość na wyjściu 245μV (-70dBu), co daje znakomity ważony psfometryczny poziom szumów odniesiony do wejścia równy 0,245μV. Potwierdziło to moje wrażenia słuchowe z wcześniejszych testów. Jak pamiętasz, zachwyciłem się, że po dołączeniu do wejścia mikrofonu lub rezystora 200Ω szumy gwałtownie się zmniejszają. Ma to związek z szumami prądowymi – wejście niepodłączone (rozwarne) szumi ze względu na te szumy prądowe. Po dołączeniu typowej oporności roboczej 200Ω szumy te radykalnie maleją. Uzyskana wartość zastępczego poziomu szumów wejściowych 0,245μV jest rewela-

cyjna. Przeprowadziłem też badania charakteru tych szumów, zarówno w System One, jak i „na ucho”. Mam porównanie z innymi urządzeniami i stwierdzam, że szumy są nie tylko małe, ale też mają specyficzny miękki i nie agresywny skład spektralny.

Uzyskane wyniki potwierdzają moje wcześniejsze opinie z prób odsłuchowych, że badany wzmacniacz mikrofonowy z układem SSM2017 bez wątplenia nosi cechy urządzenia profesjonalnego. Świadczą o tym zarówno wyniki pomiarów elektroakustycznych, a także przemyślana konstrukcja. Zaletą jest skokowy przełącznik wzmocnienia, którym można ustawić potrzebne wzmocnienie. Według mnie zamiast przełącznika DIP-switch warto byłoby dać przełącznik obrotowy, charakterystyczny dla profesjonalnych wzmacniaczy mikrofonowych, pozwalający skokowo zmieniać wzmocnienie w sekwencji: 30dB, 40dB, 50dB, 60dB. Moduł może stanowić podstawę budowy stołów mikserskich.

pozdrawiam

Ryszard Ronikier,

szef techniczny Radia Bogoria

P.S. 2. Przełącznik DIP-switch można śmiało zastąpić przełącznikiem obrotowym z zestawem rezystorów, dających potrzebne wartości wzmocnienia. Można go na przykład wlutować przewodami w otwory przewidziane dla DIP-switcha. Ze względu na zewnętrzne zakłócenia przełącznik taki powinien być umieszczony blisko układu scalonego. Nie zaleca się natomiast użycia potencjometrów ze względu na ich szumy własne, większe niż szumy rezystorów metalizowanych.