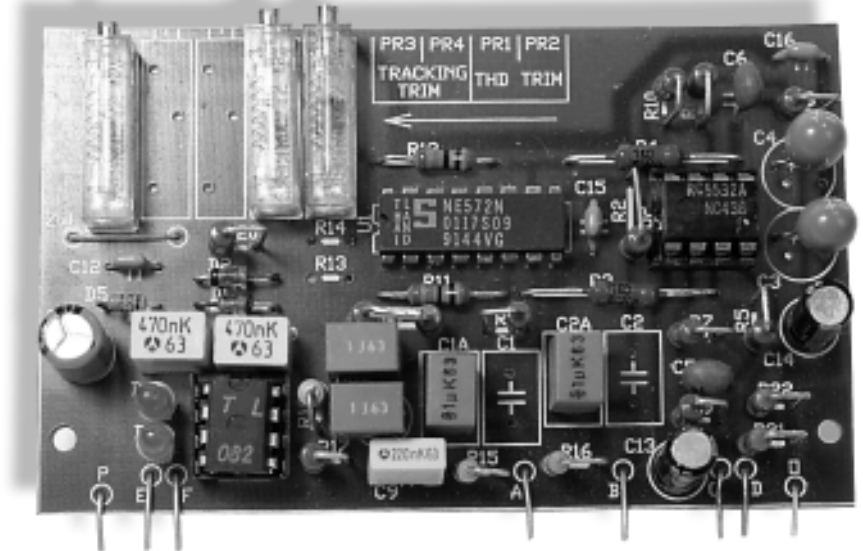


Bramka szumu, część 1

kit AVT-231

W artykule opisano układ bramki szumów. Zastosowanie układu scalonego komparatora NE572 firmy Philips umożliwiło osiągnięcie bardzo dobrych parametrów odsłuchowych, dzięki czemu urządzenie może znaleźć szereg zastosowań w sprzęcie audio.



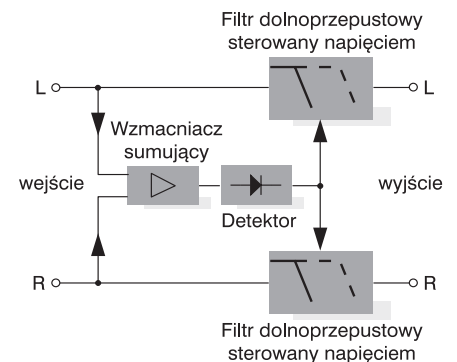
Nieco teorii

Na łamach EP przedstawiliśmy już wiele modułów AVT serii audio. Zanim zamknijemy ten cykl, zaprezentujemy jeszcze kilka pożytecznych modułów.

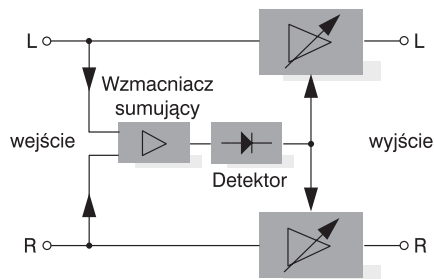
Urządzeniem, które musi się znaleźć w prezentowanej serii, jest układ bramki szumu. Zanim przedstawimy opis układu, przypomnimy garść informacji na temat redukcji szumów. Jakiś czas temu zaprezentowaliśmy moduł AVT-241, czyli układ dynamicznej redukcji szumów DNR z kostką LM1894 produkcji National Semiconductor. Układ DNR pracuje na zasadzie filtra dolnoprzepustowego, którego częstotliwość graniczna zmienia się w zależności od poziomu sygnału wejściowego. Jeśli w sygnale wejściowym występuje znaczna liczba składowych o częstotliwościach z górnego zakresu pasma akustycznego (powyżej 2..3kHz), wtedy filtr ma najszersze pasmo przepustowe. Gdy w sygnale jest mało takich wyższych składowych, wtedy pasmo przepustowe filtra jest ograniczone, nawet do około 1..1,5kHz. Ponieważ szumy mają największą energię właśnie w zakresie wyższych częstotliwości, obcięcie pasma od góry daje subiektywnie odczuwaną redukcję szumów mniej więcej o około 10dB, czyli trzykrotnie. Blokowy

schemat układu dynamicznej redukcji szumów jest pokazany na rys. 1.

Prezentowany dziś moduł bramki szumu pracuje na podobnej zasadzie. Jego schemat blokowy jest pokazany na rys. 2. Różnica między obydwoimi układami polega na tym, że w bramce szumu zamiast filtra stosuje się wzmacniacz o wzmacnieniu regulowanym napięciem stałym. Przy braku sygnału użytecznego, gdy na wejściu występują tylko szumy, wzmacniony i wyprostowany sygnał sterujący jest mały i bramka jest zamknięta, czyli sygnał na wyjściu jest całkowicie stłumiony. Pojawienie się sygnału użytecznego, większego niż ustalony poziom progowy, powoduje niejako



Rys. 1. Schemat blokowy dynamicznego ogranicznika szumów.



Rys. 2. Schemat blokowy układu AVT-231.

otwarcie bramki, czyli przepuszczenie sygnału wejściowego na wyjście.

W zasadzie nie ma tu żadnej prawdziwej redukcji szumów - jest tylko wyciszanie sygnału. W praktyce okazuje się jednak, że bramka szumu daje naprawdę dobry efekt.

Każdy przyzna bowiem, że najbardziej dokuczliwy jest szum wydobywający się z głośnika w przerwach między utworami. Natomiast ten sam szum występujący jednocześnie z dużym sygnałem użytecznym jest niezauważalny. Daje tu o sobie znać pewna specyficzna właściwość naszego słuchu. Ponieważ wchodzi tu w grę fizjologia, nie można opierać się na pomiarach elektrycznych, należy natomiast przeprowadzić eksperymenty i ocenić wrażenia słuchowe u różnych słuchaczy. Eksperymenty takie przeprowadzono już wielokrotnie. Chyba nie warto ich powtarzać, należy tylko zapoznać się z końcowym wynikiem: najogólniej mówiąc, dźwięki silne mogą całkowicie zamaskować, czyli przestłonić dźwięki słabe. Wykorzystuje

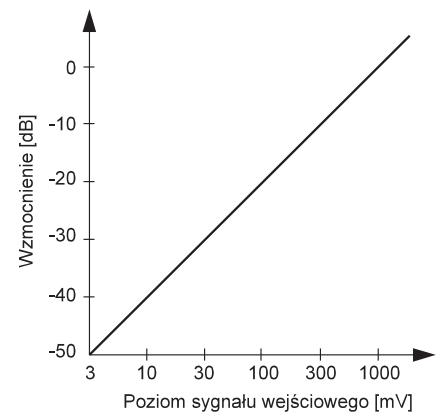
się to w układzie redukcji szumów DNR, dzięki temu również bramka szumu w dużym stopniu redukuje subiektywnie odczuwane szумы.

Marzeniem wielu jest bowiem sytuacja, gdy w przerwach utworu następuje „krystaliczna” cisza, a potem dźwięk jakby wylania się z tej ciszy. Oczywiście można to zrealizować, gdy do dyspozycji jest sprzęt wysokiej klasy i korzystna się z dobrze nagranych płyt kompaktowych. Niestety nie każdy sprzęt ma tak mały poziom szumów własnych, żeby zapewnić potrzebną „krystaliczną” ciszę. Poza tym często korzystamy z nagrań, które już „od urodzenia” mają znaczny poziom szumów.

Wtedy rzeczywiście bramka szumu może zapewnić pożądany efekt. Po prostu całkowicie wytnie w przerwach utworu wszystkie śmieci, czyli szумы i ewentualny przydźwięk. Natomiast sygnały użyteczne przepuści bez zmian.

Wydawałoby się więc, że bramka szumu to urządzenie bliskie ideału i powinno znajdować się w każdym zestawie elektroakustycznym.

W rzeczywistości nie jest to takie proste. Po pierwsze sprawa wspomnianego poziomu progowego włączania i wyłączania bramki. Na pewno poziom progowy powinien być nieco wyższy niż spodziewany poziom szumów. Ale niestety, jeśli bramka będzie się włączać czy wyłączać natychmiast, w jednej chwili, to ucho nasze wyraźnie zarejestruje pulsowanie

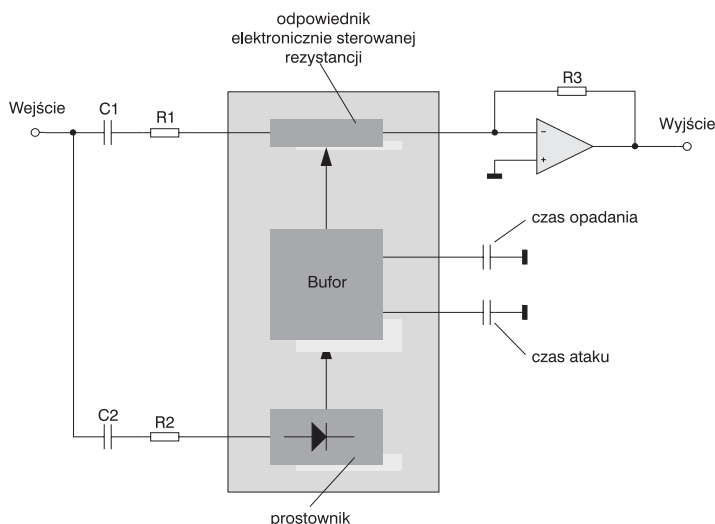


Rys. 4. Charakterystyka dynamiczna układu z rys. 3.

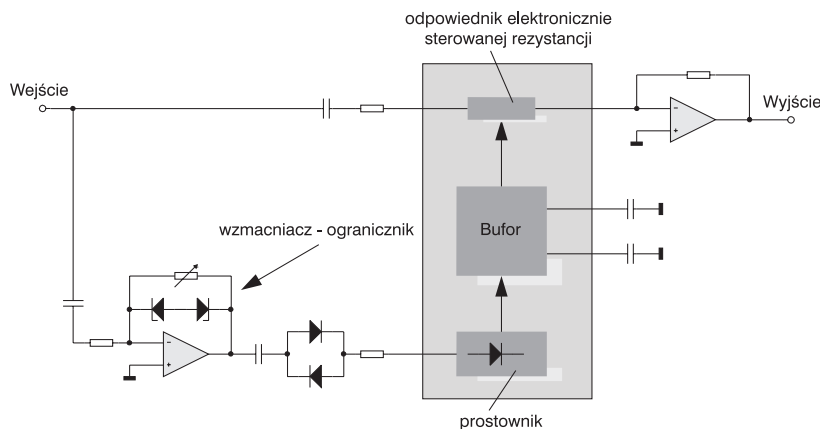
szumu. Objawi się to jako tzw. pompowanie. Pozbędziemy się wprawdzie szumu w przerwach utworu, ale pojawi się nienaturalne pompowanie podczas włączania i wyłączania bramki. Wypływa stąd wniosek, że bramka powinna włączać się i wyłączać płynnie, wtedy szумы będą znikać (i pojawiać się) stopniowo. W tym miejscu widać jasno, dlaczego nie można zrealizować wysokiej jakości bramki szumu przy użyciu popularnych kluczy analogowych, na przykład zawartych w kostce CMOS4066. Należy użyć elementu, który pozwoli płynnie wyciszyć tor.

A więc w torze sterującym należy wprowadzić obwody, które będą włączać i wyłączać bramkę z odpowiednią szybkością, zazwyczaj inną przy włączaniu, a inną przy wyłączaniu. Tor sterujący pracą bramki musi zawierać prostownik sygnału i dynamiczne obwody czasowe ustalające optymalne czasy narastania i wyciszania dźwięku. Doszliśmy więc do wniosku, że pierwszym ważnym zadaniem jest dobranie takich czasów narastania i opadania, żeby efekt pompowania był jak najmniej zauważalny podczas odsłuchu.

Drugim ważnym problemem praktycznym jest wybór właściwych podzespołów realizujących płynne wyciszanie. Krótko mówiąc, potrzebny jest dobry układ elektronicznej regulacji wzmocnienia. W grę wchodzi tu tranzystory złączowe (FET), które w pewnych warunkach pracy można traktować jako zmienne rezystory. Niestety tranzystory takie mogą pracować z sygnałami o amplitu-



Rys. 3. Schemat blokowy ekspandora.



Rys. 5. Układ ekspandora z wzmacniaczem-ogranicznikiem.

dzie rzędu 50mV - przy większych amplitudach sygnały ulegają zniekształceniu. Tak mały dopuszczalny poziom nie zapewnia właściwego stosunku sygnał/szum.

Dobrym i liniowym elementem regulacyjnym jest fotorezystor, ale skonstruowanie we własnym zakresie transoptora składającego się z diody LED i fotorezystora, a później wyregulowanie całego układu, jest dla wielu zbyt trudnym zadaniem.

Obecnie wszelkie regulacje przeprowadza się elektronicznie, przy czym zwykle wykorzystuje się tu różne wersje wzmacniacza różnicowego. Można znaleźć wiele kostek mogących realizować elektroniczną regulację wzmocnienia, choćby popularne procesory dźwięku np. TDA1524. We wszystkich układach tego typu krytycznym parametrem są szумы własne oraz zmiany napięcia stałego na wyjściu, pod wpływem sygnału sterującego wzmocnieniem. Takie zmiany napięcia stałego na wyjściu są słyszalne jako stuk, w najlepszym przypadku jako zauważalne zniekształcenia. Niestety, w praktyce tranzystory wchodzące w skład danego regulatora nie są identyczne, co objawia się występowaniem wspomnianych zmian (skoków) napięcia. Należy więc stosować układy, w których opisane zjawisko jest niewielkie, lub też istnieje możliwość jego kompensacji. W prezentowanym dalej układzie zastosowano elementy umożliwiające taką właśnie kompensację.

Cały ten fragment rozważań wskazuje, że zbudowanie dobrej bramki szumu nie jest sprawą prostą. Zgodnie z maksymą „nic

za darmo“, redukcja szumów w przerwach utworu jest okupiona pewnymi zauważalnymi i nie-naturalnymi zjawiskami w momentach zadziałania bramki.

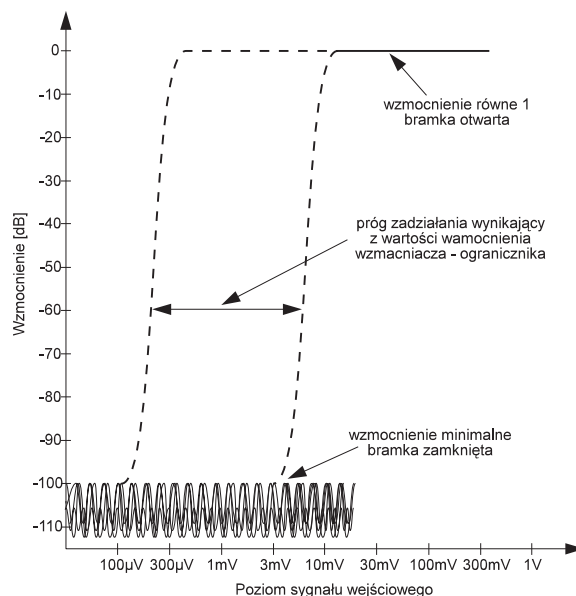
Dlatego też dyskusyjny jest sens stosowania bramki szumu w domowym zestawie akustycznym wysokiej klasy. Natomiast dobra bramka szumu oddaje nieocenione usługi we wszelkich instalacjach nagłośnieniowych oraz przy obróbce i odtwarzaniu starszych, nieco zaszumionych audycji. W sumie ocenę działania bramki należy przeprowadzić na słuch. Opinię o jej zaletach i wadach są rozmaite i zależą w dużym stopniu od upodobań i oczekiwań słuchacza. W każdym razie, każdy elektroakustyk-amator powinien osobiście dotknąć tego tematu i wyrobić sobie własne zdanie na ten temat. Dobrą ku temu okazją jest wykonanie i przetestowanie opisanego dalej urządzenia.

Opis układu

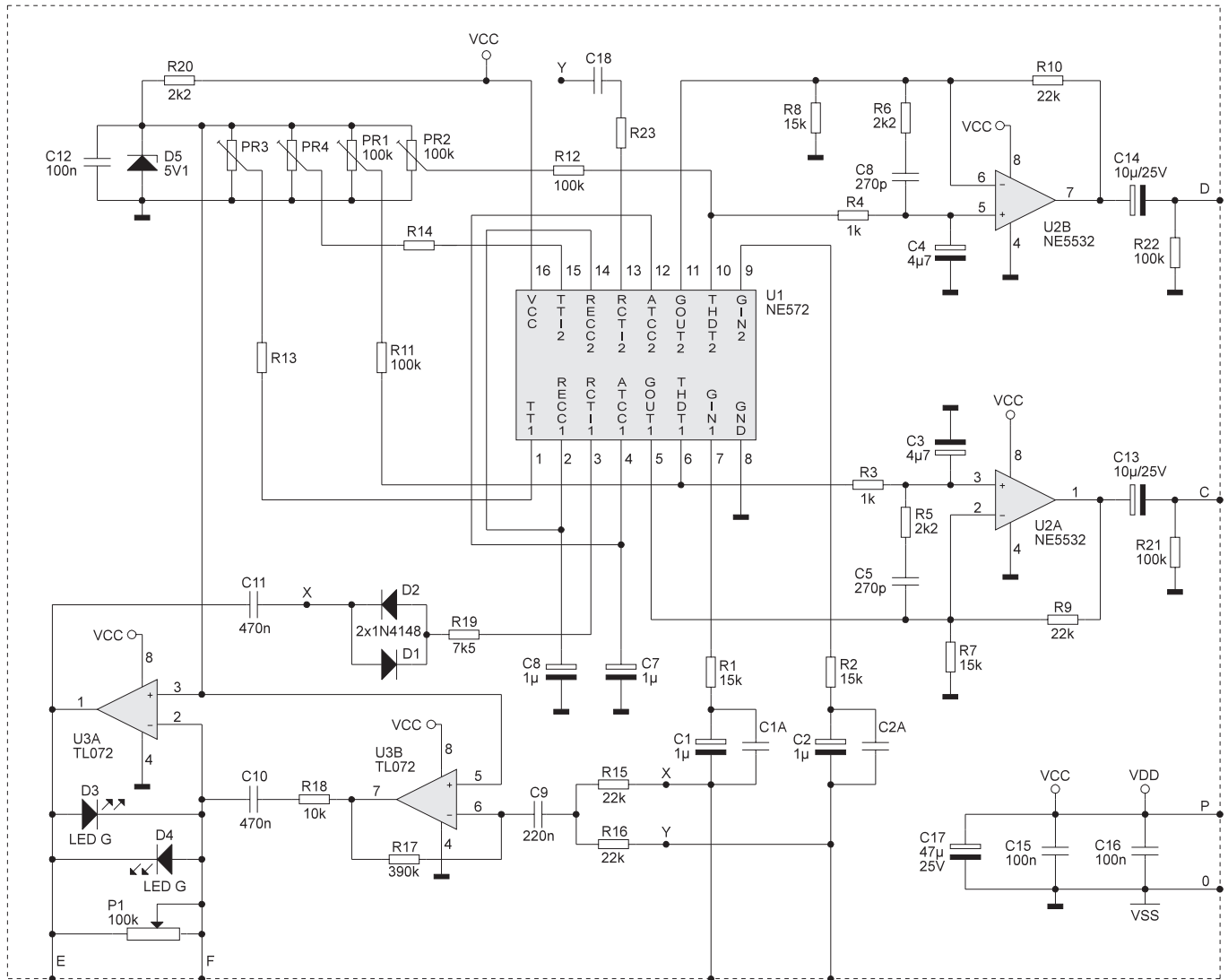
„Sercem“ modułu jest scalony kompanador NE572. Układ ten został wyczerpująco opisany w EP5/94 i EP6/94. Nie będziemy przypominać szczegółów działania, należy po nie sięgnąć do wspomnianych publikacji. Trzeba jednak przypomnieć, że według zapewnień producenta, przy pomocy układu NE572 można w pewnych warunkach osiągnąć stosunek syg-

nał/szum sięgający 110dB (300000 razy). Oczywiście w praktyce będzie trochę gorzej, ale rzeczywiście kostka ma parametry predysponujące ją do sprzętu wysokiej klasy.

W naszym module kostka pracuje w charakterze ekspandora, z tym, że klasyczny układ ekspandora (zobacz układ i zależność wzmocnienia od poziomu sygnału (rys. 3 i 4) został uzupełniony o dodatkowy wzmacniacz-ogranicznik o wzmocnieniu regulowanym za pomocą potencjometru. Schemat blokowy modułu jest pokazany na rys. 5, a charakterystyki wzmocnienia w funkcji poziomu sygnału na rys. 6. Jak widać z rysunku 6, przy małych poziomach sygnału bramka jest zamknięta, a otwiera się po przekroczeniu pewnego progu. Żeby uzyskać takie działanie progowe, zastosowano diody D1, D2. Dopiero, gdy sygnał na wyjściu wzmacniacza sterującego jest większy od napięcia progowego diod (ok. 0,55V), zaczynają one przewodzić i wzmocnienie gwałtownie rośnie. Z kolei, żeby uniezależnić się od napięcia zasilającego, zastosowano diody (LED) D3, D4. Diody te pracują w charakterze diod Zenera i ograniczają amplitudę sygnału na wyjściu wzmacniacza sterującego do $\pm 2,2V$. Tak więc z uwagi na duże wzmocnienie obu stopni wzmacniacza sterującego oraz dzięki obecności diod D3, D4, przy większych sygnałach wejścio-



Rys. 6. Charakterystyka dynamiczna układu z rys. 5.



Rys. 7. Schemat elektryczny układu.

wych na wyjściu wzmacniacza sterującego występuje przebieg praktycznie prostokątny. Rezystor R19 jest tak dobrany, żeby w tych warunkach wzmocnienie toru było równe 1.

Próg zadziałania bramki dobiera się zmieniając wzmocnienie wzmacniacza sterującego przy pomocy potencjometru P1.

Szczegółowy schemat ideowy modułu pokazano na rys. 7.

Jak widać, moduł jest zasilany pojedynczym napięciem 10..25V.

Rezystory R1 i R2 ustalają maksymalny poziom sygnału, jaki bez obawy powstania zniekształceń może być podany na wejścia A i B. Przy wartości 15kΩ maksymalny sygnał nie powinien być większy niż 6V_{pp} (co odpowiada 2,2V_{sk}, czyli +8,7dB). Jeśli sygnały wejściowe byłyby większe, należy stosownie zwiększyć R1 i R2 tak,

aby prąd szczytowy płynący przez te rezystory (i wewnętrzną, szeregową rezystancję 6,8kΩ) nie był większy niż 140mA.

W układzie przewidziano po dwa kondensatory C1 i C2, co może być potrzebne, gdyby przetwarzane były małe sygnały i dla zachowania dobrego stosunku sygnał/szum rezystory R1 i R2 zostałyby zmniejszone poniżej 8kΩ. Zamiast kondensatorów stałych, w roli C1 i C2 można oczywiście użyć kondensatorów elektrolitycznych o pojemności 2,2..47μF, należy tylko pamiętać o ich biegunowości.

W roli kondensatorów filtrujących napięcie odniesienia (C3, C4) użyto kondensatorów tantalowych z uwagi na ich mniejsze szumy. Dwójniki R5, C5 i R6, C6 poprawiają właściwości dynamiczne wzmacniacza operacyjnego U2. W roli wzmacniacza głównego za-

stosowano niskoszumną kostkę NE5532.

Rezystory R7 i R8 decydują o wartości napięcia stałego na wyjściu - powinno on być zbliżone do połowy napięcia zasilającego. Ich wartość nie jest krytyczna.

Potencjometry PR1 i PR2 pełnią bardzo ważną rolę, umożliwiają bowiem wyeliminowanie zmian napięcia stałego na nóżkach 5 i 11, wywołanych zmianami sygnału sterującego.

Diode Zenera D5 zastosowano tylko dla uzyskania stabilnego napięcia odniesienia dla wzmacniacza sterującego i potencjometrów montażowych PR1..PR4.

Tor sterujący zawiera wzmacniacz sumujący sygnały z obydwu kanałów, zbudowany z układem U3B, oraz wzmacniacz-ogranicznik o wzmocnieniu regulowanym

potencjometrem P1, zbudowany z układem U3A. Zamiast potencjometru umieszczonego na płycie, można zastosować zewnętrzny potencjometr (najlepiej tzw. logarytmiczny o charakterystyce B). Zewnętrzny potencjometr jest szczególnie przydatny, jeśli układ współpracowałby z różnymi źródłami o różnym poziomie szumów. Wtedy taki potencjometr umieszczony na płycie czołowej umożliwi precyzyjne dobranie progu działania bramki w zależności od występujących aktualnie szumów.

Bardzo ważną rolę pełnią kondensatory C7 i C8 umieszczone w obwodzie prostownika kostki U1. Należy przy tym zauważyć, iż przez połączenie nóżek 2, 14 oraz 4, 12 zastosowano wspólne sterowanie obu niezależnych kanałów. Kondensator C7 decyduje o czasie ataku, czyli o szybkości otwierania bramki, a C8 o czasie opadania, czyli wyłączenia bramki. Elementy te można zmieniać w szerokim zakresie 10nF..100μF posługując się metodą „na słuch”. Podane na schemacie wartości (1μF + 1μF) dobrano eksperymentalnie według upodobań autora.

Układ umożliwia również wykonanie klasycznego ekspandora (patrz rysunek 3). Niepotrzebne są wówczas elementy U3, D1..D4, R15..R18, P1 i C9..C11. Należy natomiast wykonać zwory oznaczone X-X oraz Y-Y, zamontować rezystory R19, R23 oraz dwa kondensatory elektrolityczne 2,2..10μF: jeden jako C18, drugi zamiast diody D1 lub D2. Biegunowość tych kondensatorów należy ustalić we własnym zakresie, zależnie od poziomu napięcia stałego na wejściach A i B. Wartość tych jednakowych rezystorów R19 i R23 należy dobrać eksperymentalnie, zależnie od potrzeb. W każdym razie ich rezystancja musi być na tyle duża, żeby w szczytach sygnału maksymalna wartość prądu przez nie płynącego nie przekraczała 300mA.

W układzie ekspandora warto też zamontować dodatkowo potencjometry montażowe PR3 i PR4 o wartości 22..100kΩ, oraz rezystory R13 i R14 o wartości 910kΩ..1MΩ. Umożliwią one uzyskanie jednakowych parametrów (wzmocnienia) w obu kanałach przy najmniejszych poziomach sygnału.

Piotr Górecki, AVT

WYKAZ ELEMENTÓW

Rezystory

R1, R2, R7, R8: 15kΩ
 R4, R3: 1kΩ
 R5, R6, R20: 2,2kΩ
 R9, R10, R15, R16: 22kΩ
 R11, R12, R21, R22: 100kΩ
 R17: 390kΩ
 R18: 10kΩ
 R19: 7,5kΩ
 PR1, P1, PR2: 100kΩ helitrim

Kondensatory

C1, C2, C7, C8: 1μF/16V
 C1A, C2A: nie stosować
 C4, C3: 4,7..22μF/10V tantalowy
 C6, C5: 270pF
 C9: 220nF
 C10, C11: 470nF
 C12, C15, C16: 100nF ceramiczny
 C13, C14: 10μF/25V
 C17: 47μF/25V

Półprzewodniki

D2, D1: 1N4148
 D3, D4: LED 3mm zielona
 D5: dioda Zenera 5V1
 U1: NE572
 U2: NE5532
 U3: TL072

*R13, R14, R23, PR3, PR4, C18:
 tylko w układzie ekspandora, patrz
 tekst*