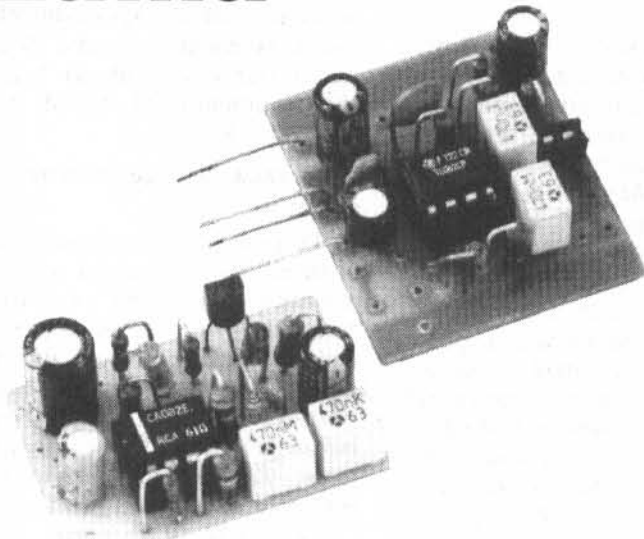


Szумы opisywane szeroko w Notatniku Praktyka to nie tylko zło konieczne i zmora melomanów i elektroników.

Przebiegi o charakterze szumowym często są potrzebne, niekiedy wręcz niezastąpione. Proponujemy wykonanie prostego generatora szumów na zakres częstotliwości akustycznych. Ten mały przyrząd znajdzie wiele zastosowań; przede wszystkim przewidziany jest do współpracy z miernikiem poziomu natężenia dźwięku, który będzie opisany w jednym z najbliższych numerów EP. Znajdzie też dalsze zastosowania - do tematu powrócimy bowiem za kilka miesięcy i zaproponujemy wykonanie całego zestawu pomiarowego dla akustyka.

# Generator szumu



Występujące powszechnie szумы są jednym z głównych utrapień elektroników. Kiedy jednak potrzebne jest dobre źródło szumów, to sprawa nie jest taka zupełnie prosta. Jak napisano w tym odcinku Notatnika Praktyka, szum szumowi nierówny. W praktyce elektroakustyka potrzebny jest przebieg szumowy o charakterystyce spektralnej jak najbardziej zbliżonej do uśrednionej charakterystyki rzeczywistych nagrań audio. Nieprzydatny więc będzie na pewno szum biały, w naszym obszarze zainteresowań leży natomiast szum różowy, choć i ten w zakresie najwyższych częstotliwości pas-

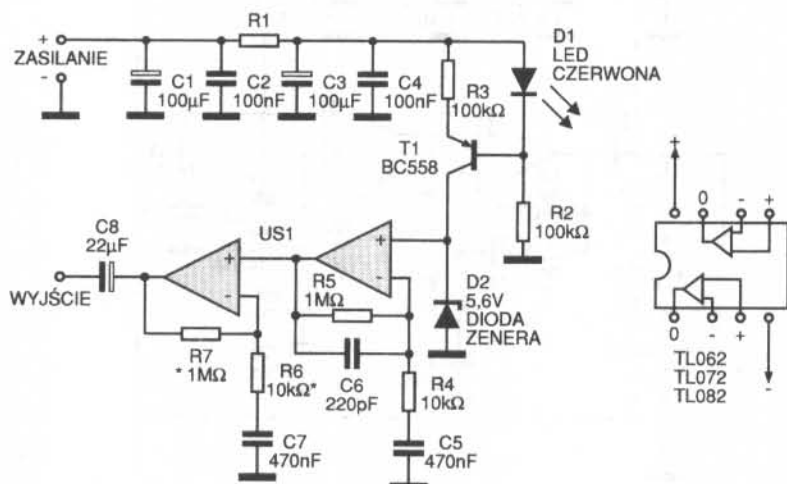
ma akustycznego ma spektralną gęstość energii większą niż typowe przekazy muzyczne (a tym bardziej słowne).

Do generacji szumów stosuje się albo układy cyfrowe (generatory liczb czy ciągów pseudolosowych), albo też niektóre z bardziej szumiących elementów elektronicznych. W naszym prostym układzie jako źródło szumu zastosowaliśmy diodę Zenera. Dioda taka w swoim normalnym układzie pracy jest źródłem znacznego szumu - tym większego, im mniejszy prąd przez nią płynie. Mówi się, że jest to praca „na kolanie” charakterystyki.

## Pierwszy układ generatora szumów

Układ wykonany wg rysunku 1 jest przeznaczony do pracy w szerokim zakresie napięć zasilających. Źródłem szumów jest tu dioda D2. Prąd pracy tej diody ustalony jest przez źródło prądowe zbudowane z elementów R2, R3, T1 i D1. Dwa stopnie wzmocnienia pozwalają uzyskać na wyjściu amplitudę rzędu 2...3V<sub>pp</sub>, co jest wartością wystarczającą dla wszystkich zastosowań. Doborem kondensatorów C4...C7 można ukształtować charakterystykę spektralną szumów według swoich potrzeb. Układ ma też obwody filtracji zasilania (C1...C4, R1). Są one potrzebne dla uniknięcia wzbudzenia wzmacniacza, który ma wzmocnienie dochodzące do 10000.

Ponieważ prąd diody Zenera jest stabilizowany, amplituda przebiegu wyjściowego jest stała w szerokim zakresie napięć zasilających - aż do ponad 30V. Źródło prądowe ma, jak wiadomo, dużą dynamiczną rezystancję wyjściową, więc stanowi niewielkie obciążenie dla diody, która tu jest generatorem o określonej rezystancji wewnętrznej. Jest to niewątpliwą zaletą, bowiem rezystancja obciążenia (dla przebiegów zmiennych) niewiele zależy od wartości R3 i płynącego przez diodę Zenera prądu. Przy wzroście prądu ampli-



Rys. 1. Podstawowy schemat generatora szumów

tuda szumów malała, ustalono więc prąd pracy w granicach 5...10µA.

W zależności od napięcia zasilającego możemy używać diod o różnych napięciach pracy. Generalnie, czym wyższe napięcie nominalne diody, tym większa amplituda szumu.

Niestety, diody o takim samym napięciu pochodzące z jednego opakowania mają zdecydowanie różne charakterystyki szumowe. Pomiedzy egzemplarzami pochodzącymi z jednego pudełka różnice generowanej amplitudy mogą być kilkukrotne. Także charakterystyka spektralna może znacznie się różnić. Niektóre egzemplarze zupełnie nie nadawały się do naszego zastosowania, ponieważ występowało powolne „plywanie” napięcia pracy w znacznych granicach. Część badanych diod generowała znaczne napięcia wybuchowe - objawiało się to przy odsłuchu przez głośnik charakterystyczną barwą szumu z trzaskami - te egzemplarze też nie powinny być stosowane.

W układach zasilanych z sieci warto używać diod o wyższym napięciu stabilizacji. My jednak musimy wykonać generator zasilany z baterii i użyjemy baterii 9V. Na dodatek musimy liczyć się ze spadkiem napięcia w miarę wyladowania, przyjmujemy więc najniższe napięcie zasilające  $6 \times 1,2V = 7,2V$ .

Nasze możliwości wyboru diod ograniczają jeszcze: dopuszczalny zakres napięć wejściowych i wyjściowe napięcie nasycenia użytego wzmacniacza operacyjnego.

Dla wzmacniaczy operacyjnych z rodziny TL 080 w realnych układach napięcie na wejściu powinno być co najmniej o 2V wyższe od ujemnego napięcia zasilającego, a z uwagi na użycie źródła prądowego z tranzystorem T1 musi być niższe o ponad 1V od dodatniego napięcia zasilającego. Jeśli uwzględnimy jeszcze niezbędną wartość amplitudy wyjściowej, zakres dopuszczalnych napięć wejściowych wyniesie w naszym układzie ok. 3...5,6V.

Próby przeprowadzone z licznymi diodami wykazały, że diody 5V1 i 5V6 przy wymaganych małych prądach pracy na poziomie pojedynczych mikroamperów miały praktycznie jednakowe napięcie „stabilizacji” w granicach 3,0...3,2V (trafiła się tylko jedna 3,56V). Rozrzut napięcia wśród ok. 20 szt. diod 6V2 wyniósł 5,3...5,9V, czyli wystąpił

znaczny skok napięcia od poprzedniej wartości około 3V.

W dwóch generatorach użyto diod 5V6. W pierwszym zastosowano mniej szumiącą diodę i wartości elementów jak na schemacie. W drugim układzie użycie bardziej szumiącej diody spowodowało konieczność zmiany wartości R7 z 1MΩ na 100kΩ oraz dodania kondensatora o pojemności 470pF równoległe do R7.

### Uproszczony generator szumów

Po praktycznych próbach przeprowadzonych z opisanymi powyżej generatorami możliwe i celowe okazało się wprowadzenie pewnych zmian. Schemat nowego układu pokazany jest na rysunku 2. Przede wszystkim uproszczono układ, rezygnując ze źródła prądowego na tranzystorze. Zamiast tego użyto stałego rezystora o wartości 1MΩ.

W związku z rozrzutem charakterystyk szumowych poszczególnych diod rozbudowano obwody kształtowania charakterystyki częstotliwościowej układu, przez co możliwe stało się jej dowolne kształtowanie. Kondensatory C5, C7 pozwalają obniżyć zawartość składowych o małych częstotliwościach, obwody R3-C4, R6-C6 i R9-C8 kształtują charakterystykę w zakresie większych częstotliwości.

Elementy R10, R11, S1 i P1 znajdują się poza płytką - w taki prosty sposób, używając trzypołożeniowego przełącznika S1, można uzys-

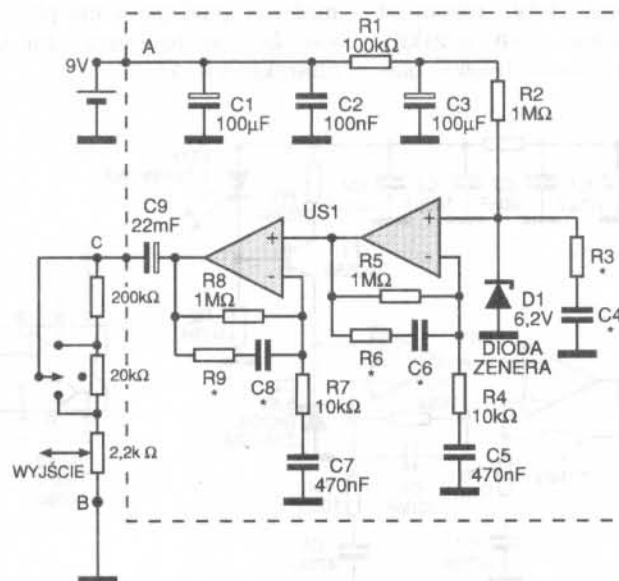
kać trzy zakresy amplitudy, np. 1V, 100mV i 10mV.

### Montaż i uruchomienie

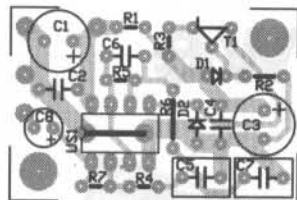
Oba opisane układy można zmontować na płytkach uniwersalnych, „w pająku” lub na płytkach specjalnie zaprojektowanych w tym celu - rys. 3, 4. Przy wykonywaniu montażu na płytkach uniwersalnych oraz montażu bez płytki - „w pająku” - należy zwrócić szczególną uwagę na prowadzenie połączeń masy. Przy wzmocnieniu układu rzędu dziesięciu tysięcy niewłaściwe połączenie masy może doprowadzić do wzbudzenia się układu. Dlatego najlepiej byłoby dołączyć wszystkie końcówki elementów w jednym punkcie, najbliżej nóżki 4 układu scalonego. W związku z dużą czułością układ „łapie wszystkie śmieci” z otoczenia, szczególnie przydźwięk sieci. Konieczne jest zatem ekranowanie całej płytki cienką blachą stalową (choćby z puszek od konserw); ekran ma być połączony z masą.

Po zmontowaniu układu należy sprawdzić jego działanie, dobrać poziomy i skorygować charakterystykę spektralną.

Szum generowany przez większość diod zbliżony jest do szumu białego. Aby uzyskać szum różowy, należy wprowadzić do układu człon całkujący (jednobiegunowy filtr RC). W układzie z rysunku 2 będzie to po prostu kondensator C6 dołączony równoległe do R5 (R6 = 0). W wielu wypadkach obwody R3-C4 i R9-C8 w ogóle nie będą



Rys. 2. Zmodyfikowany schemat generatora szumów



Rys. 3. Rozmieszczenie elementów na płytce drukowanej układu z rys. 1.

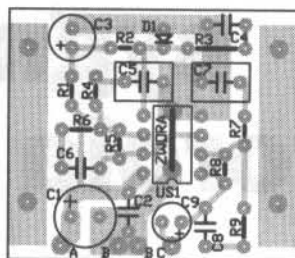
potrzebne. Dla wielu egzemplarzy diod odpowiednia wartość C6 wynosiła 220pF.

Skompensowane wewnętrznie wzmacniacze operacyjne również mogą stanowić filtr dla najwyższych częstotliwości, ponieważ ich iloczyn wzmocnienia i szerokości pasma wynosi od  $10^6$  (TL062) do  $3 \times 10^6$  (TL082). Z tego też względu nie powinno się zwiększać wzmocnienia obu wzmacniaczy ponad proponowane wartości. Bez problemów można zmniejszać wzmocnienie zmniejszając wartość R8.

Należałoby jeszcze sprawdzić charakterystykę spektralną otrzymanego szumu. W najprostszym przypadku należy do tego celu użyć oscyloskopu oraz monitora audio opisanego w poprzednim numerze EP (lub jakiegoś innego wzmacniacza) z dołączoną dobrą kolumną lub głośnikiem.

Na ekranie oscyloskopu można zaobserwować kształt generowanych przebiegów i dobrą egzemplarz diody o możliwie „ładnym” obrazie szumu. Chodzi o unikanie egzemplarzy diod niestabilnych albo z dużą składową szumów wybuchowych.

Dla dokładnego określenia proporcji składników w widmie należy użyć zestawu filtrów okta-



Rys. 4. Rozmieszczenie elementów na płytce drukowanej układu z rys. 2.

wych. Autor użył modułu 9 aktywnych filtrów oktaowych w układzie jak na rysunku 5 (dokładny opis działania tego modułu w jednym z najbliższych numerów EP). Przy okazji uzyskuje się w ten sposób generator szumów wąskopasmowych, idealny do ustawiania equalizera, ponieważ częstotliwości środkowe filtrów odpowiadają częstotliwościom pasm equalizera.

Przy zastosowaniu wzmacniacza TL082 i wartości elementów jak na rys. 2, pobór prądu przez generator wynosił 4mA, układ pracował dobrze z obciążeniem na wyjściu od 100Ω wzwyż.

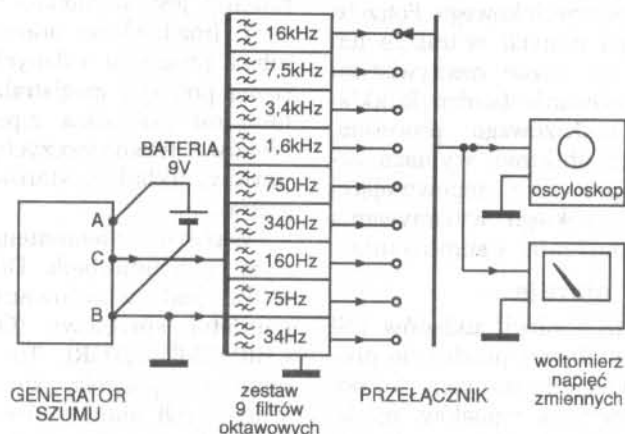
Ten sam moduł, z innym dobranym egzemplarzem diody i układem TL062, pobierał prąd 0,35mA (!) i pracował przy obciążeniach większych od 1kΩ. Do uzyskania właściwej korekcji charakterystyki konieczny okazał się tylko jeden kondensator C6 o pojemności 33pF. Na wyjściu filtrów oktaowych do 1,6kHz poziomy były jednakowe, dla pasma 7,5kHz spadek wyniósł ok. 6dB, w pasmie 16kHz ok. 12dB. Taką charakterystykę spektralną można polecić do większości zastosowań.

W niektórych przypadkach celowe będzie takie ukształtowanie charakterystyki wzmacniacza w naszym generatorze, aby na wyjściu wszystkich filtrów oktaowych przebiegi miały jednakową amplitudę. Ze względu na opisane wcześniej ograniczenia może to wymagać pewnego zmniejszenia wzmocnienia obu wzmacniaczy albo użycia szybszych układów scalonych.

Tak uzyskana, równomierna charakterystyka nie odpowiada jednak średniej charakterystyce spektralnej rzeczywistych nagrań muzycznych (nie licząc może muzyki elektronicznej). W naszym generatorze należałoby dodatkowo ograniczyć składowe o najwyższych częstotliwościach powyżej, powiedzmy, 5...8kHz. Do tego celu najłatwiej użyć kondensatora C8 (R9 = 0) albo C4. Najprawdopodobniej jednak charakterystyka wzmacniaczy operacyjnych wystarczająco ograniczy najwyższe składowe.

Tak skorygowany szum różowy będzie najbardziej przydatny do typowych zastosowań. Pamiętajmy bowiem, że przy większych mocach testowanie zestawów głośnikowych szumem białym skończy się na pewno uszkodzeniem głośnika wysokotonowego, a być może i średniotonowego. Ale nawet gdy zastosujemy C6 i otrzymamy szum różowy, to przy testowaniu pełną mocą głośniki wysokotonowe nadal będą nieco przeciążone i przy dłuższym obciążeniu mogą ulec uszkodzeniu. Nie dajmy się zmylić oznaczeniu mocy głośników wysokotonowych - jest to moc zestawu, w którym ten głośnik może być zastosowany, a nie moc tego głośnika.

Piotr Górecki, AVT



Rys. 5. Schemat układu pomiarowego