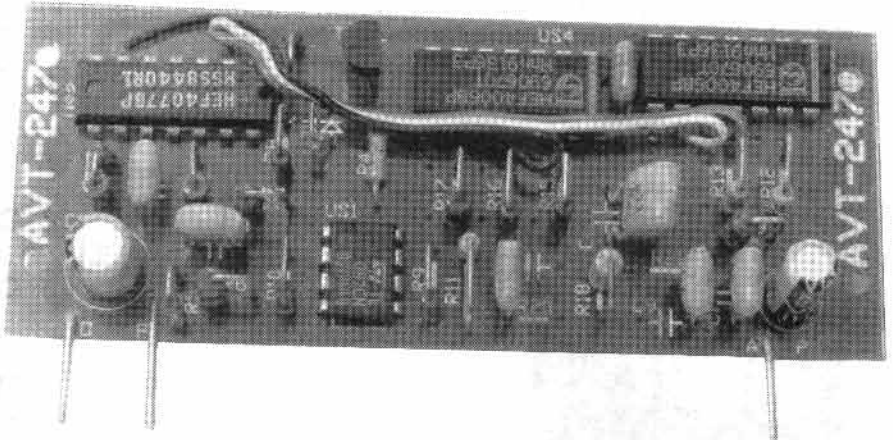


# Cyfrowy generator szumu różowego

## kit AVT-247



*Generator szumu różowego to znakomite narzędzie elektroakustyka i poważnego melomana. Jest to jednak przyrząd zbyt słabo doceniany i mało popularny.*

*W artykule przypominamy podstawowe informacje o praktycznym wykorzystaniu szumu różowego. W krajowej literaturze pojawiło się niewiele informacji na ten temat, a przykłady rozwiązań nie zachęcały do zajęcia się bliżej tą sprawą. Tymczasem generator szumu różowego to znakomity przyrząd do sprawdzania wzmacniaczy, głośników, mikrofonów, całych zestawów i systemów elektroakustycznych.*

*Prosty układ elektroniczny i powtarzalność parametrów z pewnością zachęcą wielu Czytelników do wykonania tego pożytecznego przyrządu.*

*A w jednym z najbliższych numerów przedstawimy kompletny zestaw pomiarowy zawierający 16-kanalowy analizator widma i prezentowany dziś generator szumu różowego.*

Na początek przypomnijmy, po co w ogóle potrzebny jest generator szumu.

Mówiąc najprościej, wszystkie źródła dźwięku mają jakąś charakterystykę widmową, to znaczy składają się z określonej mieszanki różnych częstotliwości, charakterystycznej dla danego źródła. Ucho ludzkie odbiera częstotliwości z zakresu około 16Hz...16kHz. Jednym z najważniejszych parametrów urządzeń elektroakustycznych jest szerokość pasma przenoszenia i nierównomierność charakterystyki częstotliwościowej w tym pasmie. Dla idealnie wiernego przekazywania muzyki, oprócz wielu innych wymagań, szerokość pasma przenoszenia całego toru elektroakustycznego powinna być nawet większa niż wspomniane 16Hz...16kHz, a nierównomierność lepsza niż 1dB. W praktyce bywa zupełnie inaczej, a przyczyną są zwykle kolumny, sposób ich ustawienia oraz właściwości pomieszczenia odsłuchowego.

Przy pomiarach sprzętu audio i sprawdzaniu jakości nagłośnienia całych systemów elektroakustycznych potrzebne są jakieś sygnały testowe. Do sprawdzania aparatury zwykle stosuje się po prostu pojedyncze czyste tony, czyli sygnały sinusoidalne - najczęściej o częstotliwości 1kHz. W czasie normalnej

pracy urządzeń czyste sygnały sinusoidalne występują jednak bardzo rzadko. Przeprowadzane pomiary mogą więc być i najczęściej są obarczone błędami. Najgorzej jest przy próbach pomiaru właściwości akustycznych pomieszczeń za pomocą sygnałów sinusoidalnych. Powstaje wtedy fala stojąca, wynikająca z odbić i rezonansów pomieszczenia. Wyniki pomiarów zależą wtedy od miejsca umieszczenia mikrofonu pomiarowego. Do takich pomiarów czyste sygnały sinusoidalne w zasadzie się nie nadają, idealny jest natomiast szum, czyli mieszanka sygnałów o różnych przypadkowych częstotliwościach i fazach. Intuicyjnie wyczuwamy, że zawartość poszczególnych częstotliwości w takim sygnale testowym powinna być „równomierna”. Szczegółowe i przystępne informacje na temat szumów można znaleźć w cyklu Notatnika w EP7/94 - 1/95. Przypomnijmy tylko, iż tym potrzebnym „równomiernym” szumem nie jest szum BIAŁY, który ma stałą gęstość widmową mocy, ale szum RÓŻOWY mający widmową gęstość energii odwrotnie proporcjonalną do częstotliwości, czyli stałą ilość energii w każdej oktawie (lub dekadzie) pasma częstotliwości. Okazuje się, że przeciętna gęstość widmowa

audycji muzycznych na charakter zbliżony właśnie do szumu różowego. Jeśli szum różowy zostanie podany na popularny „słupkowy” analizator widma, to wszystkie słupki będą jednakowej wysokości.

Taki sygnał testowy ma więc ważną dodatkową zaletę, że umożliwia jednoczesne sprawdzenie całego pasma częstotliwości - wystarczy zastosować wielokanałowy analizator widma.

Opisany dalej układ generatora szumu może więc być wykorzystany jako niezależny przyrząd, jak pokazują fotografie albo jako moduł stanowić część zestawu pomiarowego audio. W jednym z najbliższych numerów opiszemy taki zestaw pomiarowy, w który składa się prezentowany dziś generator szumu i rozbudowany, 16-kanałowy analizator widma, który oprócz funkcji pomiarowych stanowić będzie efektywne uzupełnienie domowego zestawu elektroakustycznego.

### Cyfrowy generator szumu

Ponieważ szum składa się z wielu niezależnych przebiegów o różnych częstotliwościach i fazach, do jego generacji najlepiej byłoby użyć jakiegoś źródła sygnałów przypadkowych. Takim źródłem może być choćby dioda Zenera. Szumy poszczególnych egzemplarzy diod mają jednak różne rozkłady gęstości, czyli różną barwę. Niemniej nawet takie proste rozwiązania w praktyce okazują się użyteczne. Aby uzyskać szum dokładnie „różowy” należy zastosować filtr i indywidualnie dobrać jego charakterystykę dla danego egzemplarza diody, co bez odpowiednich przyrządów rzeczywiście nie jest sprawą łatwą.

Inną metodą uzyskiwania szumu jest cyfrowe generowanie sygnału przypadkowego lub pseudo-przypadkowego. Jednak taki „cyfrowy” szum zazwyczaj także nie jest ani szumem różowym, ani nawet białym. Odpowiednią „barwę” otrzymuje się tu także po odpowiedniej filtracji. W układach cyfrowych można jednak uzyskać powtarzalne parametry i charakterystyka filtru może być dokładnie określona.

Tu przypomnijmy, że aby z szumu białego otrzymać szum różowy należy zastosować filtr o nachyle-

niu charakterystyki częstotliwościowej równym  $-3\text{dB/oktawę}$ . Nie jest to wcale łatwe do wykonania, bowiem typowy obwód RC wnosi tłumienie  $-6\text{dB/oktawę}$  i aby uzyskać tłumienie niejako o połowę mniejsze należy zastosować dość złożony obwód składający się z kilkunastu dokładnie dobranych elementów RC. Jeśli już jesteśmy przy kolorach wspomnijmy, że przepuszczenie szumu białego przez filtr o nachyleniu  $-6\text{dB/oktawę}$  daje szum CZERWONY, gdy zastosujemy filtr  $+6\text{dB/oktawę}$  otrzymamy zimny i ostry szum NIEBIESKI.

Z powyższych rozważań wynika, iż otrzymanie dokładnie „różowego” szumu nawet w układach cyfrowych naprawdę nie jest takie łatwe. Aby uzyskać przepisany rozkład energii z dokładnością choćby  $\pm 1\text{dB}$  należałoby stosować generatory taktujące o dokładnie dobranej częstotliwości, a elementy filtru musiałyby mieć wąskie tolerancje. W warunkach amatorskich jest to bardzo trudne do zrealizowania.

Wyjaśnijmy tu jednak, że w praktyce taka dokładność nie jest wcale konieczna. Nawet jeśli nasz szum miałby nierównomierność rozkładu gęstości  $\pm 3\text{dB}$  to i tak uznamy go za szum „dobrej jakości”. Przy wielu pomiarach taka dokładność w zupełności wystarczy. A gdyby miały być przeprowadzane jakieś dokładne pomiary należy najpierw zmierzyć analizatorem widma sam generator szumu, zanotować występujące odchyłki i potem przeprowadzić pomiar porównawczy obiektu. W jednym z następnych numerów zaprezentujemy wykorzystanie omawianego dziś układu do budowy profesjonalnego generatora szumów wyposażonego w filtry pozwalające uzyskać także szumy wąskopasmowe. W rozwiązaniu tym zupełnie innym sposobem uzyskamy bardzo dobrą równomierność charakterystyki.

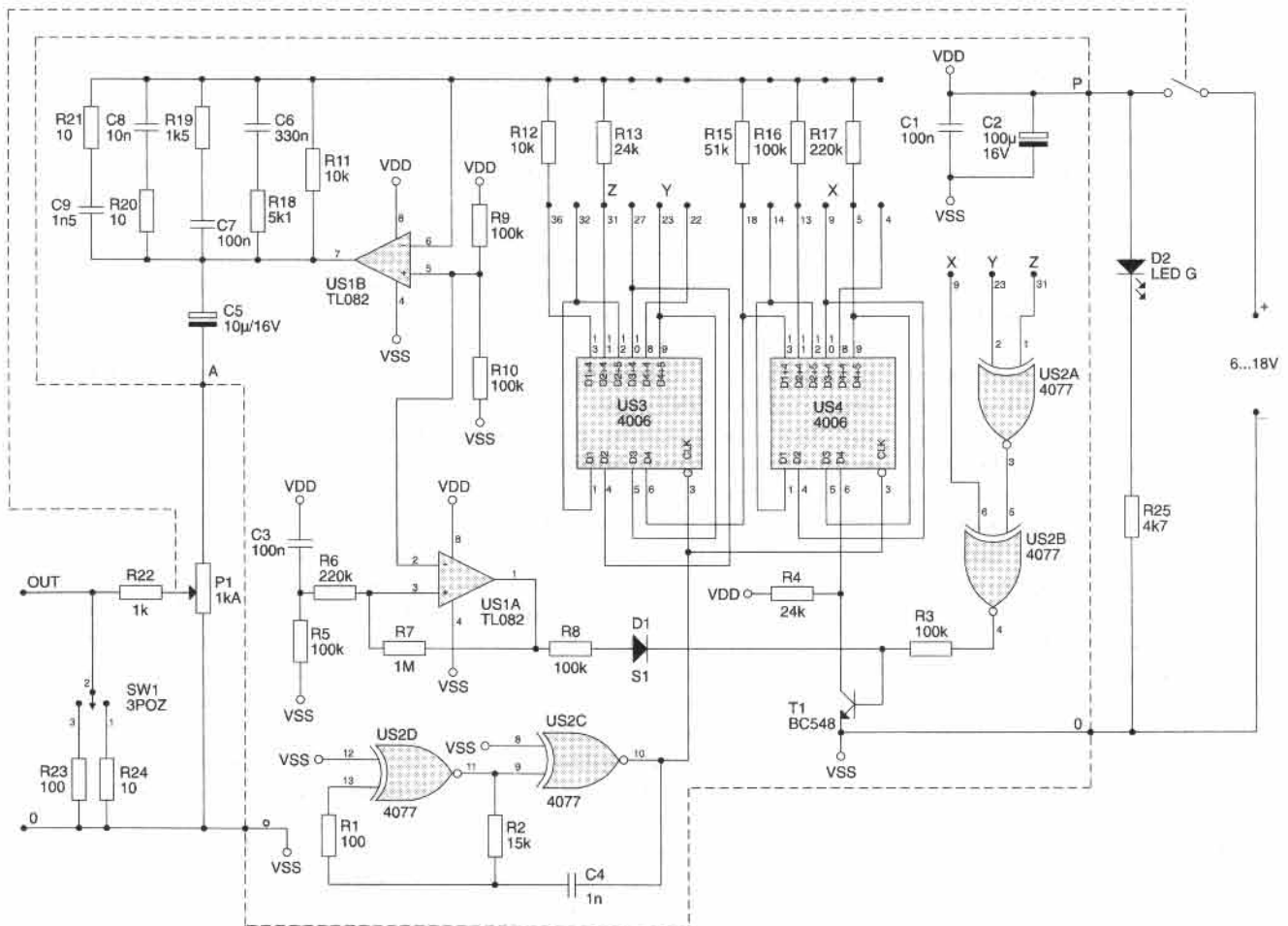
### Opis układu

Działanie generatora szumu polega na wytwarzaniu pseudolosowego ciągu zer i jedynek za pomocą rejestru przesuwonego oraz kombinacyjnego układu sprzężenia zwrotnego. Informacja w rejestrze przesuwonym zbudowanym z przerzutników typu D jest przemiesz-

czana pod wpływem sygnału zegarowego o stałej częstotliwości. Na wejście rejestru podawany jest z układu kombinacyjnego stan logiczny zależny od stanu poszczególnych wyjść, do których podłączone są wejścia układu kombinacyjnego. Wyjściem może być dowolne z wyjść przerzutników (stopni rejestru), przecież na wszystkich wyjściach pojawia się ta sama informacja, tyle że opóźniona w czasie. Do budowy układu kombinacyjnego stosuje się powszechnie bramki EX-OR lub EX-NOR. Przy odpowiednim dobraniu sprzężenia zwrotnego cykl powtarzania generowanego ciągu może być wielokrotnie dłuższy od długości użytego rejestru, a rozkład zer i jedynek zbliżony do przypadkowego. Zależy to od długości rejestru przesuwonego i zastosowanego sprzężenia zwrotnego. Dokładna analiza matematyczna procesu i praktyczna interpretacja wyników jest bardzo trudna. Na pewno rejestr nie może być zbyt krótki - w literaturze amatorskiej pokutuje kilka rozwiązań wykorzystujących rejestr osiemnastobitowy, niektórzy z naszych Czytelników być może „nacięli” się już na taki układ. Jak się okazuje w praktyce trudno przy tej długości rejestru uzyskać zadowalające parametry. W naszym rozwiązaniu wykorzystujemy rejestr o użytecznej długości 31 bitów. W praktyce efekt bardzo zależy od tego, do których wyjść rejestru podłączony zostanie układ sprzężenia zwrotnego: niektóre połączenia dają ciąg o krótkim cyklu powtarzania, nawet krótszym niż długość używanego rejestru. Oczywiście takie ciągi są zupełnie nieprzydatne dla naszego celu. W opisywanym układzie odpowiednie połączenia sprzężenia zwrotnego zostały dobrane metodą eksperymentalną.

W realnych układach po włączeniu zasilania zawartość rejestru przesuwonego może być różna dla poszczególnych egzemplarzy użytych kostek. Dlatego ważną częścią układu jest blok zerowania - zapewnia bowiem jednakowe warunki startu po włączeniu zasilania i gwarantuje przez to powtarzalność parametrów generowanego ciągu pseudolosowego.

Do przesuwania informacji w re-



Rys. 1. Schemat elektryczny generatora.

jestrze służy generator taktujący.

W większości znanych rozwiązań wytworzony przebieg dwustanowy jest filtrowany dla uzyskania odpowiedniej gęstości spektralnej. W naszym rozwiązaniu wprowadziliśmy dodatkowo prosty układ przypominający pięciobitowy przetwornik C/A, dzięki czemu uzyskiwany sygnał nie jest dwustanowy, tylko 32-stanowy. Taki sygnał w znacznie większym stopniu przypomina prawdziwy analogowy szum. Ponieważ tak otrzymany przebieg ma mimo wszystko zbyt dużą gęstość mocy w zakresie wyższych częstotliwości, wprowadzono filtr korekcyjny. W trakcie prac nad układem autor przeprowadził wiele prób i pomiarów. Do dobrania charakterystyki filtru trzeba było zastosować symulację komputerową.

Schemat ideowy cyfrowego generatora szumu pokazany jest na rysunku 1. Jak widać układ jest bardzo prosty, zawiera raptem czte-

ry kostki. Przy takiej prostocie układu uzyskane wyniki są więcej niż zadowalające.

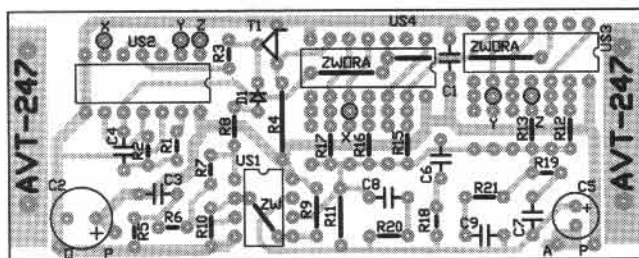
Główny blok urządzenia: rejestr przesuwany, zbudowany został z dwóch kostek CMOS 4006 (US3, US4). Układ 4006 zawiera cztery rejestry: dwa czterobitowe i dwa pięciobitowe (w których wyprowadzone są także wyjścia czwartego stopnia). W każdej kostce spośród dostępnych jest sześć. Informacja we wszystkich rejestrach jest przesuwana w takt wspólnego sygnału zegarowego podawanego na nóżkę 3. Do przesuwania informacji w rejestrach służy generator zbudowany z dwóch bramek Ex-NOR pracujących jako negatory (US2C, US2D). W naszym rozwiązaniu wszystkie poszczególne rejestry kostek US3 i US4 zostały połączone szeregowo dając rejestr 36-bitowy. Wejściem jest nóżka 6 US4. Dla użytkownika dostępne jest dwanaście wyjść. Jak mówiliśmy, właściwości generowa-

nego ciągu pseudolosowego zależą od zastosowanego sprzężenia zwrotnego. Dobre wyniki daje sprzężenie wykorzystujące wyjścia rejestru oznaczone 9, 23 i 31 (na schemacie oznaczone literami X, Y, Z). Sprzężenie to realizuje układ kombinacyjny wykorzystujący dwie bramki EX-NOR US2A, US2B oraz tranzystor T1 „zatrudniony“ w roli negatora (bowiem zabrakło jeszcze jednej bramki). W stanie pracy w rejestrze pojawia się ciąg zer i jedynek o bardzo długim okresie powtarzania, wielokrotnie dłuższym niż zdawałoby się wynikać z długości rejestru przesuwanego (31 bitów). Ciąg ten ma rozkład zer i jedynek rzeczywiście zbliżony do przypadkowego.

Układ zerujący zawiera wzmacniacz operacyjny US1A, rezystory R5 - R7 i kondensator C3 tworzące przerzutnik Schmitta (znów zabrakło bramek, a wzmacniacz ten był niewykorzystany).

Układ przetwornika C/A tworzą





Rys. 2. Rozmieszczenie elementów na płytce drukowanej.

rezystory R13 - R17 (R14 nie występuje w układzie), wzmacniacz operacyjny US1B pracujący jako sumator oraz rezystor sprzężenia zwrotnego R11. Rezystory R13 - R17 tworzą sieć, drabinę wagową, w której następną rezystancja jest mniej więcej dwukrotnie większa od poprzedniej.

Elementy obwodu sprzężenia zwrotnego US1B (R18-R21, C6-C9) tworzą z rezystorem R11 filtr kształtujący potrzebny szum różowy.

W momencie włączenia zasilania zaczyna pracować generator taktujący, a ponieważ pojemność C3 ładuje się powoli przez R5, więc na wyjściu US1A (nóżka 1) napięcie jest bliskie napięciu zasilającemu i tranzystor T1 przewodzi. Na wejściu rejestru przesuwne wymuszony zostanie stan logiczny niski - przez czas ładowania kondensatora C3 do rejestru wpisywane są wyłącznie logiczne zera, następuje zerowanie rejestru i przygotowanie go do pracy. Gdy C3 zostanie naładowany napięcie na wyjściu US1A spadnie (ale nie do zera, stąd obecność diody D1) i do wejścia rejestru będą wpisywane sygnały logiczne wytwarzane przez układ kombinacyjny US2A, US2B.

Wymagany kształt charakterystyki filtru dla egzemplarza modelowego został dobrany z pomocą programu symulacji komputerowej z dokładnością lepszą niż  $\pm 1$ dB.

Ponieważ w układzie generatora taktującego, przetwornika C/A i filtru zostaną zastosowane standardowe rezystory i kondensatory o tolerancji 5% i 10%, więc nie można liczyć na tak małą nierównomierność, nie powinna jednak ona przekraczać 3dB.

Zastosowanie podanych na schemacie wartości elementów i połączeń układu kombinacyjnego (oznaczonych X-X, Y-Y, Z-Z) gwarantuje poprawny efekt. Chcielibyśmy jed-

nak zachęcić naszych niezawodnych Czytelników do eksperymentów polegających na zmianie punktów dołączenia układu kombinacyjnego oraz zmianie wartości elementów. Może zechcą uzyskać lepsze parametry, być może tylko zdobędą kolejne doświadczenia dotyczące pracy generatorów ciągów pseudolosowych. Naprawdę warto poświęcić na to trochę czasu!

### Montaż i uruchomienie

Elementy układu można zmontować na płytce drukowanej pokazanej na na wkładce. Montaż jest klasyczny, nie powinien sprawić żadnych trudności. Na początek, jak zwykle, należy wykonać trzy zwoje pod układami scalonymi, później kolejno wlotować elementy bierne i czynne. Na koniec izolowanymi przewodami wykonać zwoje X-X, Y-Y, Z-Z.

Jeśli płytka zostanie użyta do budowy prostego generatora szumu zasilanego z baterii 9V i umieszczona w obudowie KM-33, należy montować elementy możliwie nisko, blisko płytki, a ponadto kondensator C2 zamontować poziomo pochylając go w kierunku układu US2. Chodzi o to, aby płytka z elementami zmieściła się w obudowie razem z przełącznikiem SW1 i gniazdem wyjściowym.

Przy uruchamianiu układu nie wystąpiły większe problemy. W którymś z kolejnych egzemplarzy układ nie chciał pracować poprawnie i co było bardzo dziwne, wręcz niezrozumiałe, przebiegi na poszczególnych wyjściach rejestrów przesuwne były zupełnie inne. Powodem okazały się oscylacje na zboczach przebiegu taktującego. Winny był generator z brankami US2C i US2D. Zmniejszono wartość rezystancji R1 i kłopoty znikły. Co ciekawe, jeśli stosowano kostki innej firmy układ pracował poprawnie także przy

wartości R1 przekraczającej 100k $\Omega$ .

Na krawędzi płytki dwa razy występuje punkt P (plus zasilania); można wykorzystać którykolwiek z nich.

Przenośny generator szumu z zasilaniem bateryjnym jest znakomitym narzędziem przydatnym do szybkiego sprawdzania urządzeń elektroakustycznych, a niezbędnym wręcz przy „odsluchu” wszelkich nagłaśnianych obiektów, w tym domowego studia lub kąjaka odsluchowego. W postaci modułu może być wbudowany do zestawów pomiarowych audio, wielofunkcyjnych generatorów itp.

**Piotr Górecki, AVT**

### WYKAZ ELEMENTÓW

R1: 100 $\Omega$
R2: 15k $\Omega$
R3, R5, R8...R10, R16: 100k $\Omega$
R13, R4: 24k $\Omega$
R6, R17: 220k $\Omega$
R7: 1M $\Omega$
R11, R12: 10k $\Omega$
R15: 51k $\Omega$
R18: 5,1k $\Omega$
R19: 1,5k $\Omega$
R21, R20: 0 $\Omega$ (zwoja)
P1: 1k $\Omega$ A lub B z wyłącznikiem (można użyć 10k $\Omega$ B)
<b>Kondensatory</b>
C1: 100nF ceramiczny
C2: 100mF/16V
C3, C7: 100nF
C4: 1nF
C5: 10mF/16V
C6: 330nF
C8: 10nF
C9: 1,5nF
<b>Półprzewodniki</b>
D1: 1N4148
T1: BC548
US1: TL082
US2: 4077
US3, US4: 4006
D2: LED zielona $\phi 3$ mm * przewody połączeniowe
SW1: przełącznik 3-pozycyjny pokrętło potencjometru gniazdka słuchawkowe minijack $\phi 3,5$ mm obudowa złącze baterii 9V
Uwaga! R14 nie występuje w układzie