

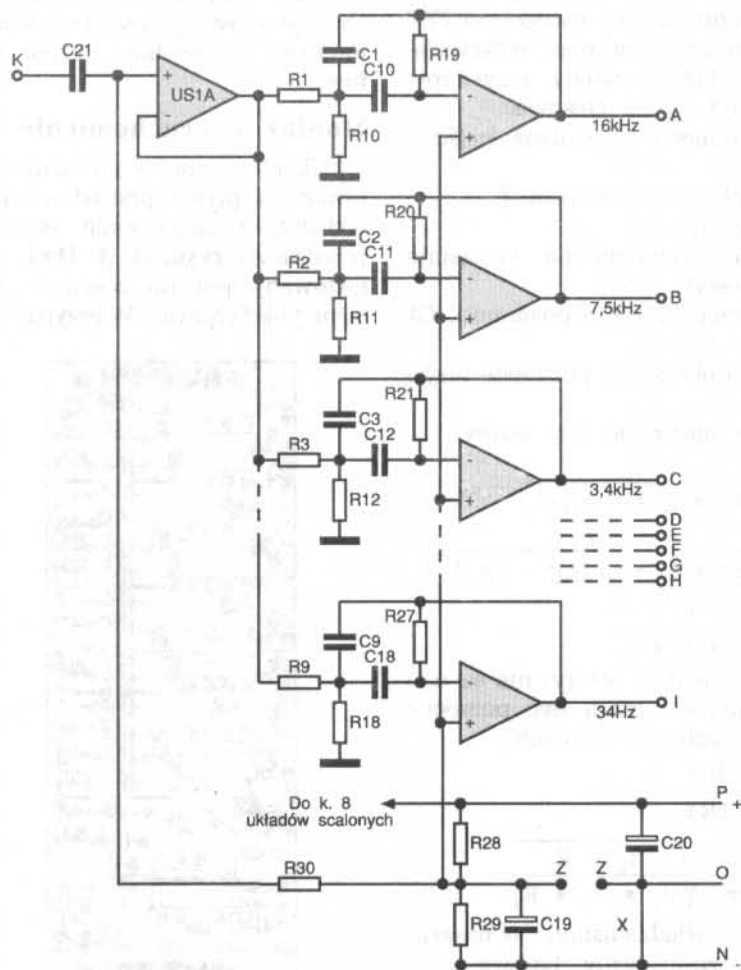
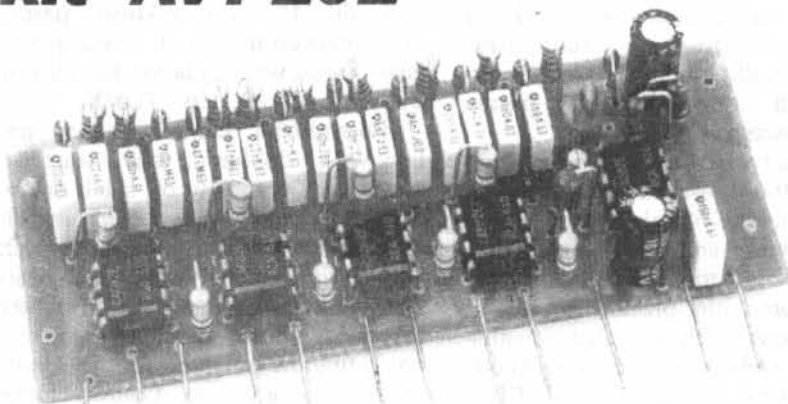
Przedstawiono moduł dziewięciu filtrów pasmowych, przeznaczony w pierwszej kolejności do zestawu pomiarowego audio.

Podano także podstawowe wzory umożliwiające wykonanie filtrów pasmowych o różnych częstotliwościach i dobrociach.

Umożliwi to Czytelnikom wykorzystanie modułu do różnorodnych samodzielnych konstrukcji.

# Moduł filtrów pasmowych

## kit AVT-191



Rys. 1. Schemat elektryczny modułu dziewięciu filtrów pasmowych

W poprzednich numerach EP opisaliśmy szeroko generator szumu, equalizer i miernik natężenia dźwięku. Wspominaliśmy też o pomiarach charakterystyk częstotliwościowych obiektów. Opisujemy dziś moduł filtrów otwiera nowe, szerokie możliwości w tym zakresie.

Schemat elektryczny modułu jest pokazany na **rysunku 1**.

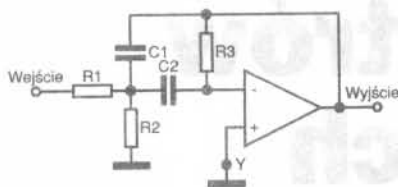
Układ zawiera bufor wejściowy ze wzmacniaczem operacyjnym US1A oraz dziewięć filtrów pasmowych.

Podstawowe założenia są tu podobne jak w układzie equalizera opisanego w EP 8/94. Ponieważ nasz moduł ma współpracować z tym equalizerem wybrano te same częstotliwości środkowe filtrów: 34, 75, 160, 340, 750, 1,6k, 3,4k, 7,5k i 16kHz. Dla ułatwienia życia naszym Czytelnikom znów zastosujemy typowe kondensatory z szeregu.

Układ może być zasilany napięciem pojedynczym lub symetrycznym.

Najważniejsze w naszym module są filtry i im poświęcimy teraz więcej uwagi.

Istnieją różne realizacje filtrów; my stosujemy środkowoprzepustowe filtry ze wzmacniaczem odwracającym i wielokrotną pętlą sprzężenia zwrotnego. Do realizacji takiego filtru wystarczy jeden wzmacniacz operacyjny i pięć elementów biernych.



Rys. 2. Podstawowy układ filtru

Najważniejszymi parametrami takiego filtru są częstotliwość środkowa i dobroć, definiowana jako stosunek częstotliwości środkowej do szerokości 3-decybelowego pasma przepustowego.

W praktycznych zastosowaniach często istotne jest, jaką maksymalną dobroć można uzyskać przy danej częstotliwości środkowej. Filtry tego typu można stosować, gdy wymagana dobroć nie przekracza 10.

W naszych filtrach zastosowaliśmy dość szybkie wzmacniacze TL082 i ustaliliśmy wzmocnienie filtru równe 1. W zasadzie powinniśmy przyjąć dobroć filtrów równą stosunkowi częstotliwości środkowych kolejnych pasm, czyli w naszym przypadku 2,2. Ponieważ jednak docelowo chcemy zastosować nasz moduł do analizatora widma, zastosujemy filtry o nieco większej dobroci, aby zmniejszyć zachodzenie pasm na siebie. Wybraliśmy więc dobroć około 3,5.

Na samą myśl o obliczaniu filtrów spora część Czytelników dostaje gęsiej skórki, tymczasem w rzeczywistości jest to dziecinnie proste.

Za książką „Wzmacniacze operacyjne i ich zastosowania. Część 2. Realizacje praktyczne” Z. Kulki i M. Nadachowskiego podajemy podstawowe wzory potrzebne w praktyce. Nie będziemy straszyć transmitancjami, rzecz jasna zespolonymi; podane wzory dotyczą filtru z rysunku 2, w którym dla ułatwienia oba kondensatory są jednakowe.

Przy projektowaniu filtru wiemy oczywiście, jaka ma być częstotliwość środkowa, przyjmujemy potrzebną wartość dobroci i zakładamy jakąś pojemność kondensatorów  $C1 = C2$ . Określamy też jakie wzmocnienie ma mieć nasz filtr w pasmie przepustowym.

Ma to znaczenie przy większych częstotliwościach, rzędu kiloherców - wtedy bowiem zdecydowanie spada wzmocnienie skompensowanych wewnętrznie wzmacniaczy operacyjnych, a przy większych amplitudach ograniczeniem jest prędkość naras-

tania napięcia wyjściowego (katalogowy parametr Slew Rate - SR wyrażony w woltach na mikrosekundę). Dlatego może się okazać, że przy założeniu dużego wzmocnienia i dużej dobroci zastosowany wzmacniacz operacyjny „nie wyrobi się” i nie osiągniemy założonych parametrów filtru.

Przy wzmocnieniu około 1 i dobroci do 10, dla zakresu pasma akustycznego można stosować popularne, tanie wzmacniacze, jak choćby z rodziny TL08X czy TL07X.

Pojemności kondensatorów należy tak dobrać, aby wartości rezystorów wynosiły od setek omów do - co najwyżej - pojedynczych megaomów. Przy stosowaniu dużych wartości rezystancji (największą wartość ma zwykle  $R3$  wg rys. 2) należy też uwzględnić obecność wejściowych prądów polaryzujących wzmacniacza operacyjnego. Celowe może być niekiedy zastosowanie rezystora  $R4 = R3$  włączonego na wejście nieodwracające wzmacniacza (punkt Y). Tym bardziej korzystne jest tu użycie wzmacniaczy z wejściami FET mającymi znikomą prąd polaryzujący, np. TL082, wtedy rezystorów takich nie trzeba stosować.

Przyjmujemy więc dane wejściowe:

- częstotliwość środkową  $f_0$
- dobroć  $Q$
- moduł wzmocnienia w pasmie przepustowym  $|A_v|$
- założoną wstępnie pojemność  $C1 = C2 = C$

Z tego obliczamy potrzebne rezystancje.

A oto niezbędne trzy wzory:

$$R1 = \frac{Q}{2\pi \cdot f_0 \cdot C \cdot |A_v|}$$

$$R2 = \frac{Q}{2\pi \cdot f_0 \cdot C (2Q^2 - |A_v|)}$$

$$R3 = \frac{Q}{\pi \cdot f_0 \cdot C}$$

I kolejne dwa wzory; nie są one niezbędne, ale mogą być pomocne w niektórych obliczeniach.

$$|A_v| = \frac{R3}{2R1}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi C} \sqrt{\frac{R1 + R2}{R1 \cdot R2 \cdot R3}}$$

Jak powiedzieliśmy, w naszym układzie zastosujemy typowe kondensatory 220nF; 100nF; 47nF; 22nF...470pF odpowiednio dla częstotliwości 34; 75; 160; 340...16kHz.

We wszystkich trzech niezbędnych wzorach występuje iloczyn  $\pi \cdot f_0 \cdot C$ . U nas dla wszystkich dziewięciu filtrów ma on stałą wartość około  $23,5 \cdot 10^{-6}$ .

Przyjęliśmy moduł wzmocnienia równy 1 i dobroć 3,5, więc łatwo obliczymy  $R1, R2, R3$  - będą one jednakowe we wszystkich filtrach. Otrzymujemy:

$$R1 = 74,468k\Omega$$

$$R2 = 3,168k\Omega$$

$$R3 = 148,93k\Omega$$

Przyjmujemy najbliższe wartości z szeregu:

$$R1 = 75k\Omega$$

$$R2 = 3k\Omega \text{ lub } 3,16k\Omega \text{ lub } 3,3k\Omega$$

$$R3 = 150k\Omega$$

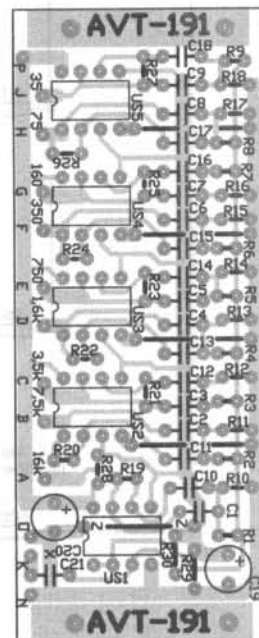
I to już koniec obliczeń.

Do sprawdzenia rzeczywistych charakterystyk filtrów można użyć generatora-wobulatora (zestawy AVT-184 i AVT-190).

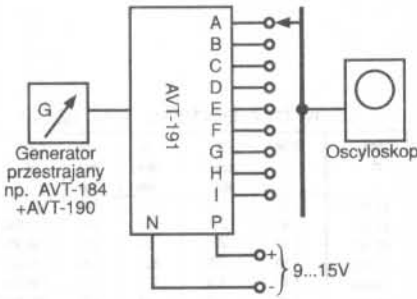
Korzystając z podanych wzorów można zaprojektować i wykonać na opisanej dalej płytce filtry o innych charakterystykach, przykład podamy w niedalekiej przyszłości - zbudujemy wtedy urządzenie iluminofoniczne o dowolnej liczbie kanałów.

### Montaż i uruchomienie

Układ z rysunku 1 można zmontować na płytce przedstawionej na wkladce; rozmieszczenie elementów przedstawia rysunek 3. Druk zaprojektowany jest do zasilania napięciem pojedynczym. W przypadku za-



Rys. 3. Rozmieszczenie elementów na płytce



Rys. 4. Układ pomiarowy do sprawdzania charakterystyk filtrów

silania symetrycznego należy przeciąć ścieżkę łączącą punkty N, O w punkcie opisanym X, nie są też potrzebne rezystory R28 i R29. Należy za to wykonać zworę pod układem US1 między punktami oznaczonymi Z, Z. Przy zasilaniu unipolarnym zwory tej nie należy montować.

W każdym wypadku należy wlotować cztery zwory podające ujemne napięcie zasilania na wzmacniacze operacyjne.

Montaż wszystkich elementów biernych i czynnych nie powinien sprawić kłopotu. Układ zmontowany ze sprawnych elementów od razu pracuje poprawnie i nie wymaga uruchamiania.

Charakterystyki poszczególnych filtrów dobrze byłoby sprawdzić za pomocą płynnie przestrajanego generatora i oscyloskopu według rysunku 4. Jeśli elementy były spraw-

ne, a montaż bezbłędny, to sprawdzenie nie jest konieczne.

### Zastosowanie

Moduł znajdzie szerokie zastosowanie w pracowni każdego elektroinika-akustyka.

W EP 7/94 opisano proste generatory szumu. Generator szumu różowego jest nieocenionym narzędziem w rękach akustyka. Ponieważ zastosowane generatory szumu (diody Zenera) szumią bardziej „biało” niż „różowo”, konieczne jest odpowiednie ukształtowanie charakterystyki częstotliwościowej dołączonego wzmacniacza. Do uzyskania pożądanej charakterystyki spektralnej, czyli do kalibracji generatora szumu użyjemy naszego modułu filtrów. W drugiej wersji generatora szumu przewidziano kilka obwodów kształtowania charakterystyki częstotliwościowej. Przedstawiony dziś moduł filtrów o stałej dobroci pomoże sprawdzić i dokładnie ukształtować wspomnianą charakterystykę. Aby otrzymać prawdziwy szum różowy, należy uzyskać jednakowe napięcia na wyjściach wszystkich dziewięciu filtrów. Można to wykonać w układzie według rysunku 5, używając oscyloskopu lub miernika szerokopasmowego.

Dalszą możliwością rozbudowy jest wykonanie generatora szumów wąskopasmowych. W tym celu umieścimy w jednej obudowie ge-

### WYKAZ ELEMENTÓW

#### Rezystory

- R1-R9: 75kΩ
- R10-R18: 3...3,3kΩ
- R19-R30: 150kΩ

#### Kondensatory

- C1, C10: 470pF
- C2, C11: 1nF
- C3, C12: 2,2nF
- C4, C13: 4,7nF
- C5, C14: 10nF
- C6, C15: 22nF
- C7, C16: 47nF
- C8, C17: 100nF
- C9, C18, C21: 220nF
- C19, C20: 47...100μF/16V

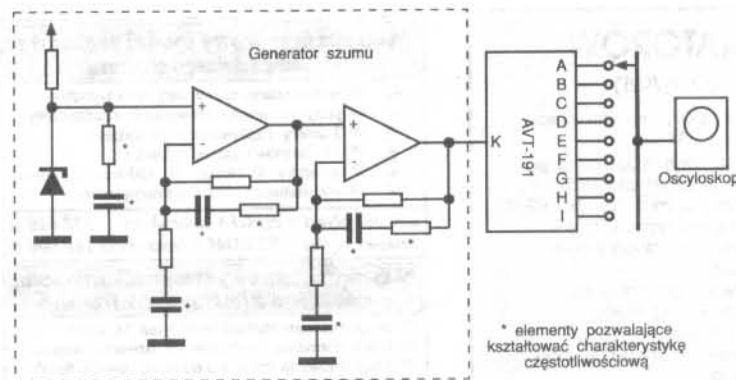
#### Półprzewodniki

- US1-US5: TL082

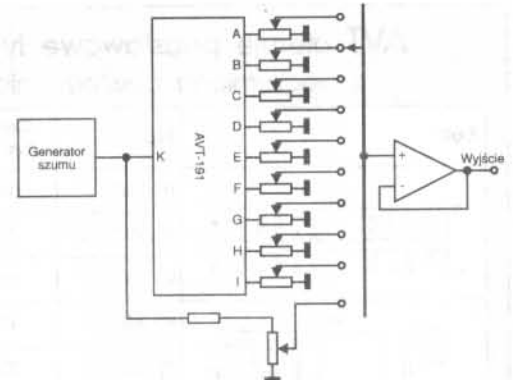
nerator szumu i moduł filtrów, bądź według rysunku 5, bądź według rysunku 6. Tu do uzyskania jednakowego szumu we wszystkich zakresach wykorzystujemy potencjometry montażowe. Taki generator szumu będzie znakomitą pomocą przy pomiarach charakterystyki pomieszczeń i pozwoli ją skorygować za pomocą equalizera AVT-186.

Następnym krokiem będzie dodanie kolejnych modułów i wykonanie pasmowego analizatora widma pracującego w czasie rzeczywistym. Tę konstrukcję przedstawimy szczegółowo w dalszych numerach EP.

Piotr Górecki, AVT



Rys. 5. Układ kalibracji generatora szumu



Rys. 6. Generator szumów wąskopasmowych