

W kilku najbliższych *Listach od Piotra* przedstawię Ci podstawowe informacje o filtrach. Nie będziemy wgłębiać się w meandry teorii filtrów, bo to naprawdę jest bardzo trudna dziedzina. Teoria filtrów prezentowana jest w licznych, gorszych i lepszych książkach, więc jeśli chcesz, zbadaj zagadnienie samodzielnie. Ostrzegam, że nie jest to łatwe. Jedną z przyczyn jest fakt, że warunkiem zrozumienia przedstawianych rozważań i wzorów jest znajomość wyższej matematyki, a poza tym poszczególni autorzy podchodzą do tematu z różnych stron.

Szczerze mówiąc, praktykowi takiemu jak Ty, teoria nie jest potrzebna. Wystarczy, że zrozumiesz podstawowe zasady i zaprojektujesz potrzebne filtry. Jeśli chcesz, możesz wgłębiać się w teorię, by zrozumieć wszystkie szczegóły (często zadziwiające) i by z pełną świadomością projektować nawet bardzo wyszukane filtry. Ja jednak radzę Ci zacząć od praktyki.

Wiem, że nazwy, parametry, określenia i skomplikowane wzory przerażają większość elektroników. Nie bój się! Nie będę Ci tego wbijał do głowy. Nie musisz się na wszystkim znać –

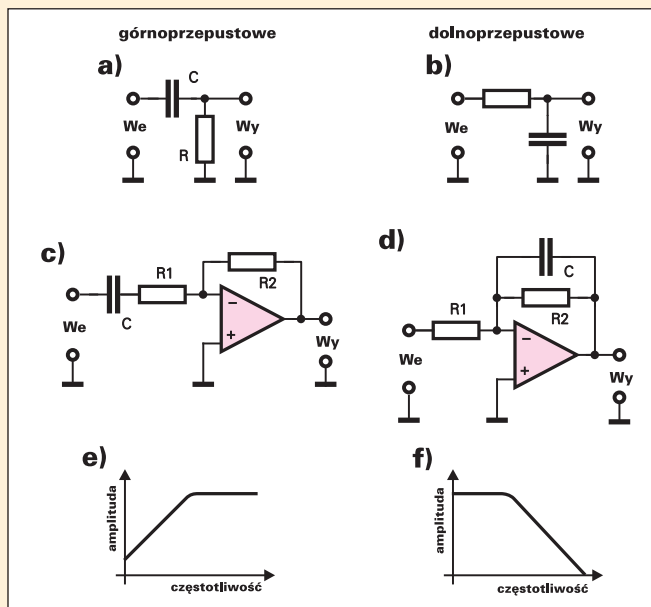
postarałem się z tej ogromnej masy materiału wyselekcjonować to, co dla praktyka najważniejsze.

Najpierw omówimy najważniejsze zagadnienia wstępne. Nie zlekceważ tego materiału – da Ci ogólny obraz zagadnienia. W kolejnych odcinkach podam praktyczne sposoby obliczania podstawowych rodzajów filtrów. Będą to sprawdzone, proste recepty na najpopularniejsze rodzaje filtrów. Bardziej zaawansowani znajdą dodatkowo ogólne wzory, pozwalające dobrać dodatkowe parametry.

W wielu układach elektronicznych trzeba oddzielać od siebie albo tłumić składowe o różnych częstotliwościach. Potrzebne są do tego filtry. Najprostszy filtr można zbudować wykorzystując rezystor i kondensator. **Rysunek 1** pokazuje prościutkie filtry górnoprzepustowy i dolnoprzepustowy oraz ich charakterystyki. Układy ze wzmacniaczami operacyjnymi mogą dodatkowo wzmacniać sygnał. Składając filtr dolno- i górnoprzepustowy można zbudować filtr środkowoprzepustowy, czyli pasmowy. **Rysunek 2** pokazuje przykładowy układ i charakterystykę.

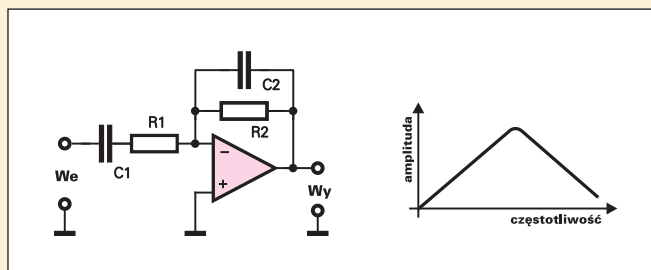
Niestety, proste filtry z rysunków 1, 2 nie są zbyt skuteczne. Są to tak zwane filtry pierwszego rzędu. Słabo tłumią sygnały spoza pasma przepustowego. Charakterystyki najprostszych filtrów mają łagodne zbocza, tymczasem dobre filtry powinny mieć charakterystyki ostre, jak na przykład na **rysunku 3**, gdzie na jednym wykresie zaznaczyłem charakterystyki trzech filtrów.

Nie można radykalnie poprawić stromości charakterystyki, łącząc kilka jednakowych ogniw RC. **Rysunek 4a** pokazuje ideę na przykładzie filtru dolnoprzepustowego. Niestety, kolejne ogniwa obciążają poprzednie i na pewno nie tędy droga do dobrego filtru. Niezbyt dobrym pomysłem jest też dodanie wtórników-buforów separujących ogniwa według **rysunku 4b** albo zastosowanie kilku ogniw według **rysunku 4c**. Co prawda można w ten sposób uzyskać znaczną stromość, ale na krańcach pasma przepustowego powstanie łagodne "kolano" – załamanie cha-



Rys. 1

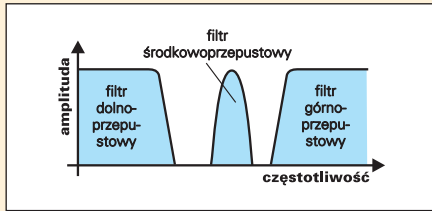
Rys. 2



rakterystyki na krańcach pasma jest zdecydowanie zbyt łagodne.

Szersza analiza nie jest konieczna – wniosek jest prosty: aby uzyskać filtr o charakterystyce zbliżonej do prostokąta, trzeba wykorzystać układy nieco bardziej złożone niż te z rysunku 1b, 1d i zastosować odpowiednio dużą liczbę takich układów.

Dawniej skuteczne filtry realizowano z użyciem cewek i kondensatorów. Były to tak zwane filtry LC. Obecnie filtry LC stosuje się tylko w zakresie wysokich częstotliwości. Natomiast filtry na zakres małych częstotliwości, w tym częstotliwości akustycznych, z powodzeniem realizuje się wykorzystując wzmacniacze operacyjne oraz odpowiednie dobrane obwody RC w pętli sprzężenia zwrotnego. Są to tak



Rys. 3

zwane filtry aktywne. Dzięki zastosowaniu wzmacniacza operacyjnego możliwe jest wyeliminowanie niewygodnych cewek.

Początkujący pytają, jak to się dzieje, że wzmacniacz operacyjny poprawia sytuację i eliminuje cewki? Pełna odpowiedź nie byłaby łatwa do zrozumienia. Z grubsza biorąc, dzięki odpowiedniej pętli sprzężenia zwrotnego wzmacniacz coś dodatkowo dodaje albo dodatkowo ujemnie i poprawia charakterystykę, a nawet ją radykalnie zmienia.

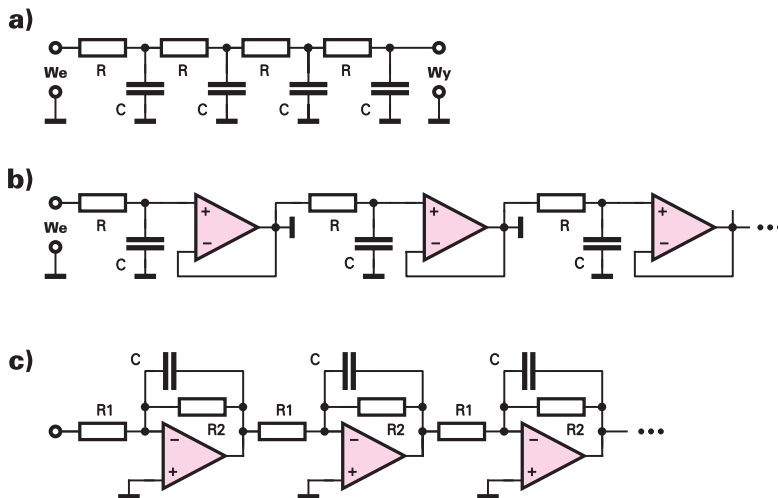
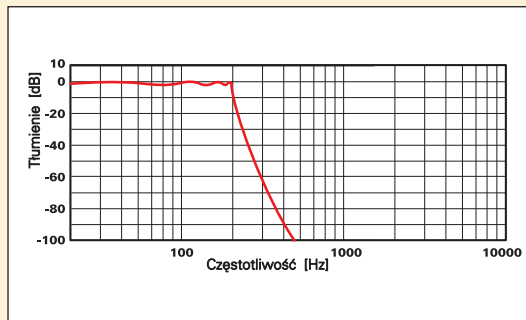
Nie pomyśl jednak, że jeden jedyny wzmacniacz operacyjny rozwiązuje problem stromości zboczy. W praktyce często wykorzystuje-

my podstawowe moduły nazywane ogniwa-
mi, zawierające jeden wzmacniacz operacyj-
ny i kilka elementów RC. W wielu situa-
cjach wystarczy jedno ogniwo. Jeśli filtr ma
mieć ostrzejsze zbocza, musi zawierać kilka
takich ogniw.

Rysunek 5 pokazuje charakterystykę
pewnego filtru. **Rysunek 6** pokazuje dwa
układy, które mają taką właśnie charaktery-
stykę. Zwróć uwagę na obecność w każdym
filtrze czterech podstawowych ogniw.

Tu mógłbym przywołać Ci informac-
ję, że są to filtry LP ósmego rzędu o czę-
stotliwości 3-decybelowej równej 200Hz. Jeden
z nich jest filtrem Sallen-Keya, a drugi fil-

Rys. 5



Rys. 4

trem MFB (z wielokrotnym sprzężeniem
zwrotnym). Oba są filtrami Czebyszewa o fa-
listości charakterystyki 2dB...

Nadążasz?

Takie i podobne określenia, spotykane
w książkach i czasopismach, skutecznie od-
strasza od filtrów nie tylko początkujących.
Nie przestrasz się ich! Spróbujmy najpierw
uporządkować podstawowe pojęcia związane
z filtrami.

LP, BP, HP

W literaturze na temat filtrów niewątpliwie
napotkasz skrót LP, BP, HP. Pochodzą one
od angielskich określeń:

LP – Low Pass – dolnoprzepustowy

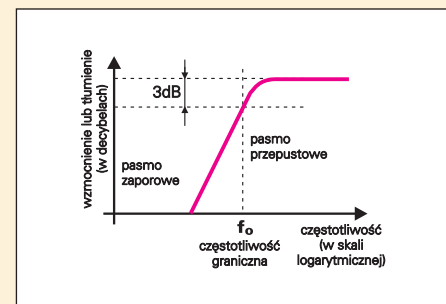
BP – Band Pass – pasmowo-przepustowy
(środkowoprzepustowy)

HP – High Pass – górnoprzepustowy

Być może też spotkasz określenia band-
stop – pasmowo-zaporowy i allpass –
wszechprzepustowy.

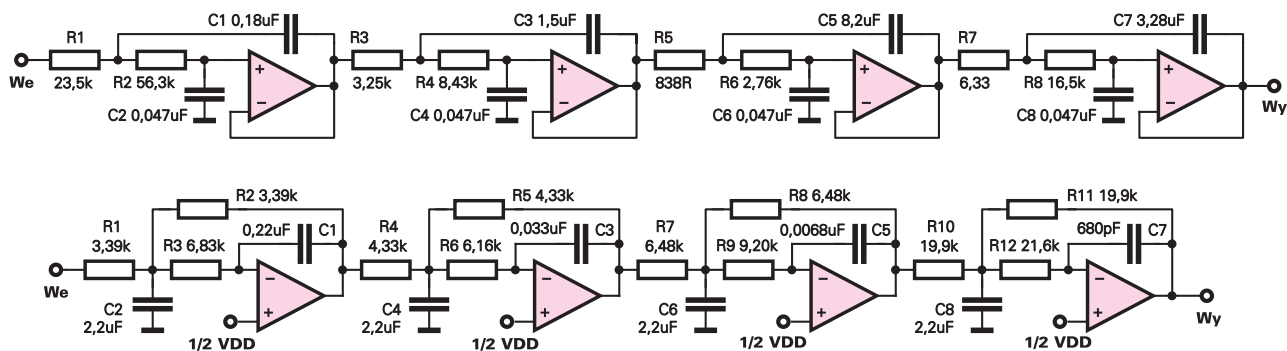
Częstotliwości graniczne Pasma

Na wykresach zazwyczaj częstotliwość i tłu-
mienie zaznaczamy w skali logarytmicznej.
Wartości tłumienia czy też wzmocnienia
(w tym artykule ogólnie: amplituda) podane są
w decybelach. Jednym z najważniejszych pa-
rametrów filtru jest częstotliwość graniczna
(lub częstotliwości graniczne). Jako częstotli-
wość graniczną uznaje się częstotliwość, przy
której wzmocnienie jest o 3 decybele mniejsze,



Rys. 7

Rys. 6



niż największe wzmocnienie w paśmie przepustowym. **Rysunek 7** ilustruje najważniejsze parametry związane z charakterystyką amplitudową.

Rząd filtru

Prościutki filtr z rysunku 1a czy 1b to w sumie dzielnik napięcia, gdzie jeden z elementów jest kondensatorem. Reaktancja kondensatora wyraża się znanym wzorem:

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C}$$

Już to pokazuje, że przy dwukrotnym (o oktawę) wzroście częstotliwości f , reaktancja X_c zmniejszy się dwukrotnie (o 6 decybeli). Przy dziesięciokrotnej zmianie częstotliwości (o dekadę), reaktancja też zmienia się dziesięciokrotnie (o 20 decybeli). Zależność taka powoduje, że najprostsze filtry pokazane na rysunku 1 mają poza pasmem przepustowym ściśle określoną stromość charakterystyki. Fachowo ujmujemy to następująco: tłumienie w paśmie przejściowym i zaporowym prostego filtru wg rysunku 1 zmienia się z szybkością 20dB/dekadę, czyli 6dB/oktawę. Mówimy, że są to filtry pierwszego rzędu. Ilustrują to zielone krzywe

na **rysunku 8**. Na rysunku tym znajdziesz charakterystyki filtrów dolno- i górnoprzepustowych o częstotliwości granicznej f_0 i różnych stromościach charakterystyki.

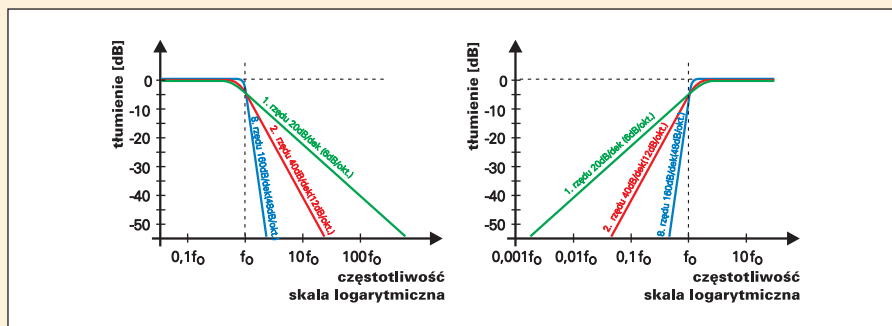
W praktyce wzmacniacz operacyjny współpracuje w dwoma, a czasem trzema kondensatorami). Zapamiętaj, że typowe ogniwa filtrów górno- i dolnoprzepustowych (na przykład te z rysunku 6) mają dwukrotnie większą stromość charakterystyki. **Jeden wzmacniacz operacyjny pozwala łatwo zrealizować filtr o nachyleniu zbocza 40dB/dekadę (12dB/oktawę), czyli tak zwany filtry drugiego rzędu.** Na rysunku 8 są to krzywe czerwone.

Filtr trzeciego rzędu ma stromość 60dB/dekadę (18dB/okt), a np. filtr 8. rzędu – 160dB/dek. (48dB/okt.). Charakterystyki filtrów 8. rzędu zazaczyłem na rysunku 8 kolorem niebieskim. Można je uzyskać w układach z rysunku 6, stosując odpowiednie wartości elementów RC. Ogólnie biorąc, czym bardziej stroma ma być charakterystyka, tym więcej ogniw, czyli filtr wyższego rzędu trzeba zastosować.

Określenie **rzędu filtru** związane jest z matematycznymi sposobami opisu charakterystyki; nie zwracaj sobie tym głowy.

Piotr Górecki

Rys. 8



R E K L A M A · R E K L A M A · R E K L A M A · R E K L A M A

Trzy roczniki EdW na jednej płycie CD-ROM

Koniec z wyrywaniem kartek i kserowaniem pożyczonych egzemplarzy!

- ♦ Wyszukiwarka według słów kluczowych.
Dwie możliwości wyszukiwania.
- ♦ Wszystkie płytki drukowane z lat 1996...2000 w formacie Autotrax .pcb.
Także płytki, do których nie było kitów AVT.
- ♦ Format .pcb umożliwia wykonanie dokumentacji produkcyjnej.

Cena płyty 55 zł (w tym VAT 22%), czyli 1,5 zł za jeden numer EdW.



Zamówienie

(Można przesłać pod adresami: e-mail: dhw@avt.com.pl, tel./fax: (0 22) 636-68-68, 636-67-67, tel.: 634-64-02, poczta: AVT Korporacja Dział Handlowy, 01 900 Warszawa 118, skt. pocz. 72)

- ☐ Zamawiam prenumeratę EdW i chcę otrzymać płytę EdW CD/B w cenie 7,90 zł.
Kwotę 7,90 zł zapłaciłem korzystając z blankietu przekazu dla prenumeratorów (str. 75, 76)
- ☐ Jestem prenumeratorem EdW (nr prenumeratora) i chcę otrzymać płytę EdW CD/B w cenie 7,90 zł (równowartość 1 egz. EdW). Wybieram jedną z dwóch form zapłaty:
- ☐ proszę obciążyć kwotą 7,90 zł konto mojej prenumeraty, czyli skrócić o 1 miesiąc termin zakończenia prenumeraty (Uwaga! Jest to forma dogodna bo nie wymaga żadnych operacji finansowych.)
- ☐ kwotę 7,90 zł zapłaciłem korzystając z blankietu przekazu dla prenumeratorów (str. 75, 76)
- ☐ Nie jestem prenumeratorem - zamawiam płytę EdW CD/B za pobraniem pocztowym w cenie 55 zł (w tym VAT 22%) + koszt przesyłki 13,80 zł
- Uwaga! Prenumeratorki otrzymają płytę EdW CD/B dołączoną do kolejnej wysyłki prenumeraty (bez ponoszenia kosztów przesyłki).

Imię i Nazwisko

Miejscowość

Ulica

nr domu

nr poczty

Wzrost

Data, Podpis