

# Korektory i filtry w elektroakustyce (1)

**Korektory charakterystyki częstotliwościowej i filtry nie zniknęły wraz z nadejściem epoki cyfrowej. Spełniają nadal swoją pożyteczną rolę, ale podobnie jak niegdyś, ich nadużywanie nie jest wskazane.**

**K**orekcję charakterystyki częstotliwościowej toru elektroakustycznego stosowano od początku rejestracji sygnałów dźwiękowych. Tor powinien mieć charakterystykę płaską, jednak czasami jest pożądana jej zmiana. Dotyczy to nie tylko ograniczenia pasma przenoszenia od dołu i od góry, ale również korekcji środkowej jego części lub nawet poszczególnych częstotliwości. Do tego celu służą układy korekcyjne wtrącane w tor elektroakustyczny, zwane korektorami i filtrami. Są różne przypadki, kiedy trzeba zmienić charakterystykę częstotliwościową, np.:

- zwiększenie zrozumiałości mowy przez uwydatnienie środkowej części pasma lub obcięcie niskich tonów, zwłaszcza w salach o dużym czasie pogłosu,
- minimalizacja zakłóceń spowodowanych pracą silników elektrycznych, lampami jarze-

niowymi lub nawet krokami wykonawców na scenie,

- zmniejszenie szumu, którego źródłem są nagrania stare lub źle wykonane, przez zmniejszenie wzmocnienia toru dla większych częstotliwości,
- korekcja wadliwych nagrań w różnych częściach pasma,
- uzyskanie specjalnych efektów dźwiękowych drogą zawężenia lub rozszerzenia pasma przenoszenia albo uwypuklenia jego części,
- dostosowanie charakterystyki częstotliwościowej toru do akustyki pomieszczenia.

## Filtry

Podstawowym blokiem wszystkich układów korekcyjnych jest filtr. W zależności od liczby zastosowanych elementów reaktancyjnych

(cewek, kondensatorów) filtry mogą być pierwszego rzędu (1 element), drugiego rzędu (2 elementy), itd. Im wyższy jest rząd filtru, tym silniejsza jest jego reakcja na sygnały spoza pasma przenoszenia.

Na rys. 1 przedstawiono najprostszy układ filtru dolno- i górnoprzepustowego pierwszego rzędu. Podstawowymi parametrami filtrów dolno- i górnoprzepustowych jest częstotliwość  $f_0$ , przy której filtry te zaczynają tłumić (mierzona przy spadku charakterystyki częstotliwościowej o 3 dB) i stopień tłumienia, tj. nachylenie krzywej przenoszenia (określane w dB/oktawę).

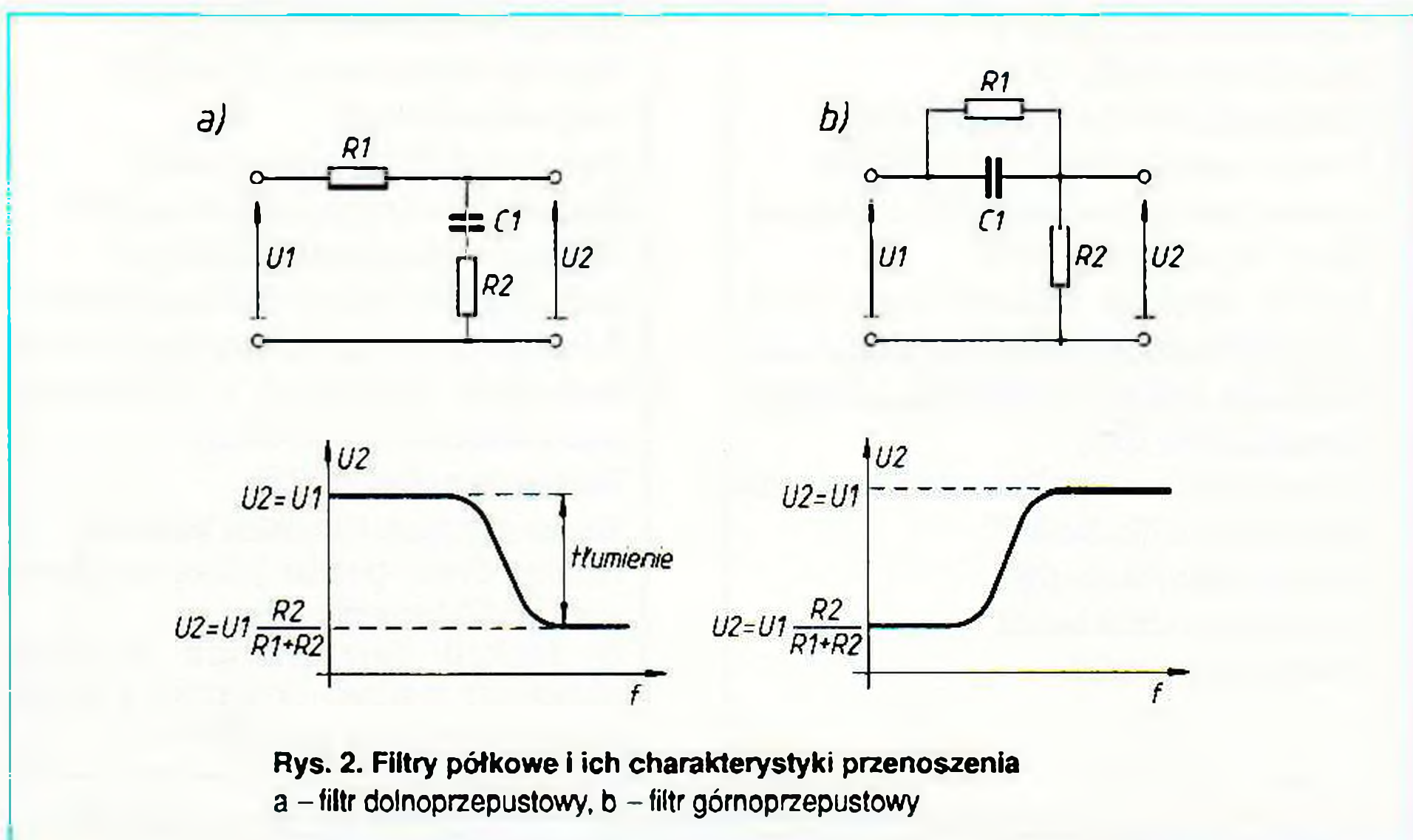
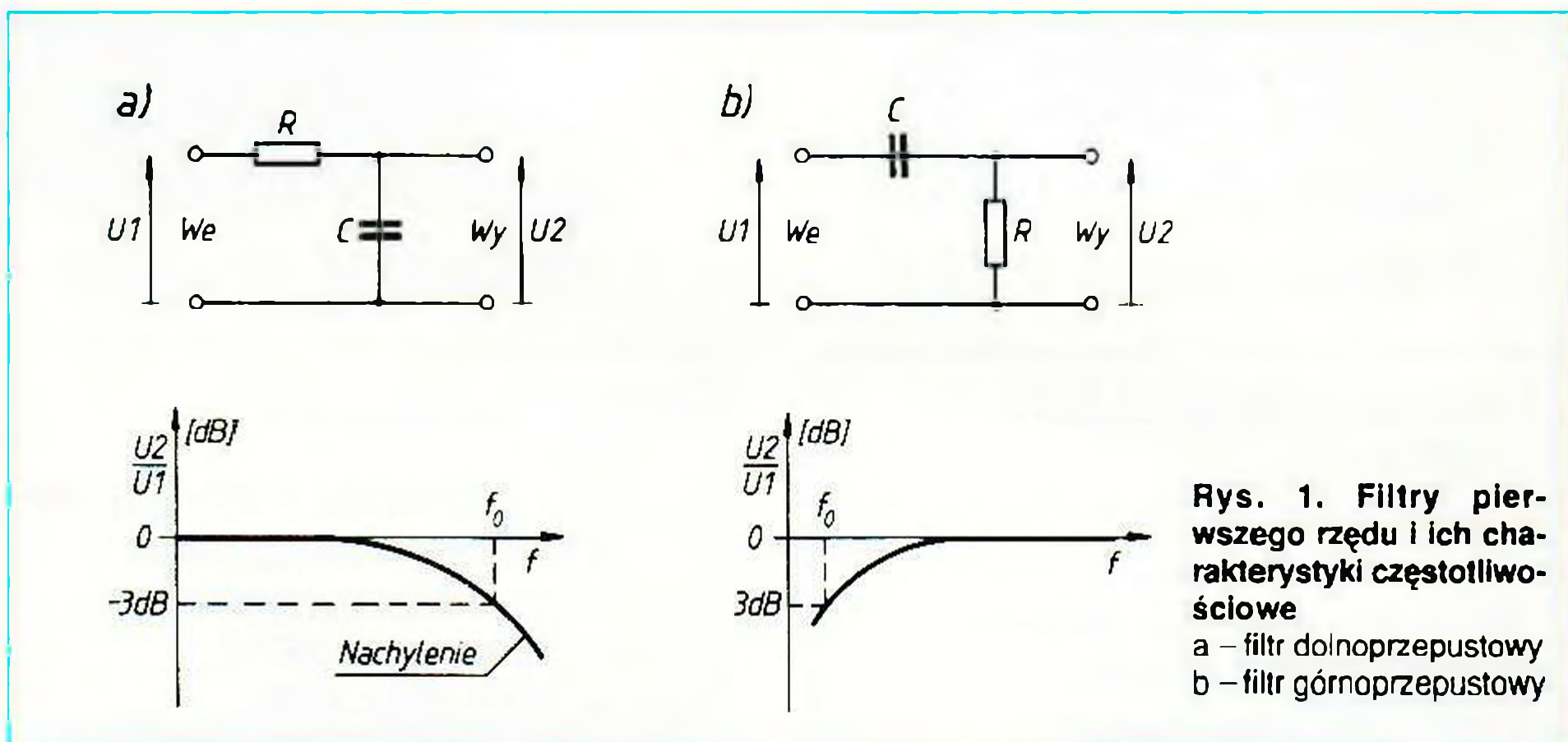
Dla prostych filtrów RC pierwszego rzędu częstotliwość  $f_0$  (3 dB) jest określana wzorem:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$$

Maksymalny stopień tłumienia wynosi 2 (lub 0,5) przy każdym podwojeniu częstotliwości (oktawa). Stąd nachylenie filtrów pierwszego rzędu wynosi 6 dB/oktawę.

Filtry wyższych rzędów (zawierające więcej niż jedną pojemność lub cewkę) mogą wytwarzać bardziej strome zbocza (12 dB/oktawę lub więcej).

Pewną modyfikacją omówionych układów są filtry "półkowe", których odpowiedź narasta lub



opada do wyznaczonej wartości, jak przedstawiono na rys. 2. Są one stosowane w typowych regulatorach barwy dźwięku.

Odpowiednie połączenie filtrów dolnoprzepustowych z górnoprzepustowymi tworzy tzw. filtry pasmowe, których tłumienie częstotliwości na obu krańcach przedstawiono na rys. 3. Filtry pasmowe charakteryzuje, oprócz 3 dB pasma przenoszenia ( $2\Delta f$ ), dobroć, oznaczaną przez  $Q$ . Dobroć świadczy o ostrości filtru. Im większe  $Q$ , tym większa ostrość filtru.

Definicja matematyczna dobroci jest następująca:

$$Q = \frac{f_0}{2\Delta f}$$

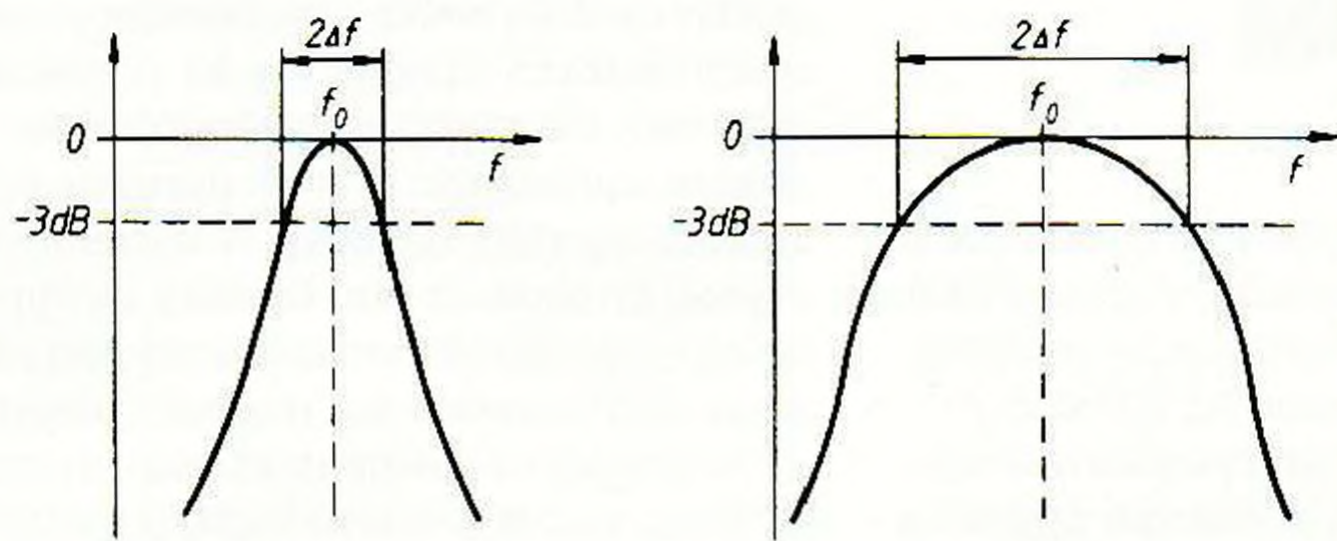
przy czym:

$f_0$  – częstotliwość centralna

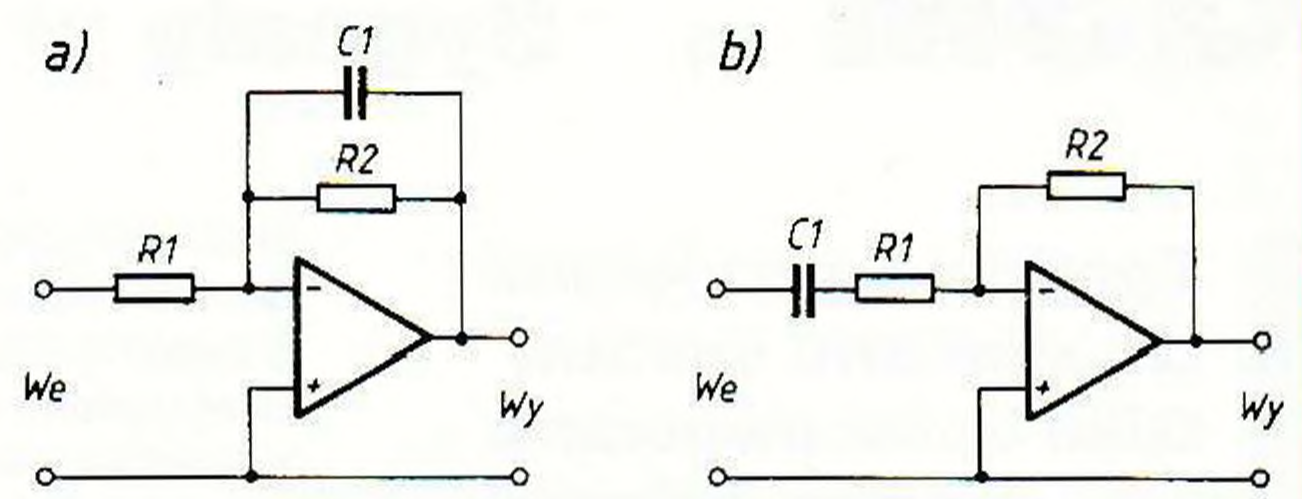
$2\Delta f$  – pasmo częstotliwości 3 dB.

Uzupełnieniem filtrów poprzednio omówionych są filtry pasmowo-zaporowe lub zaporo-

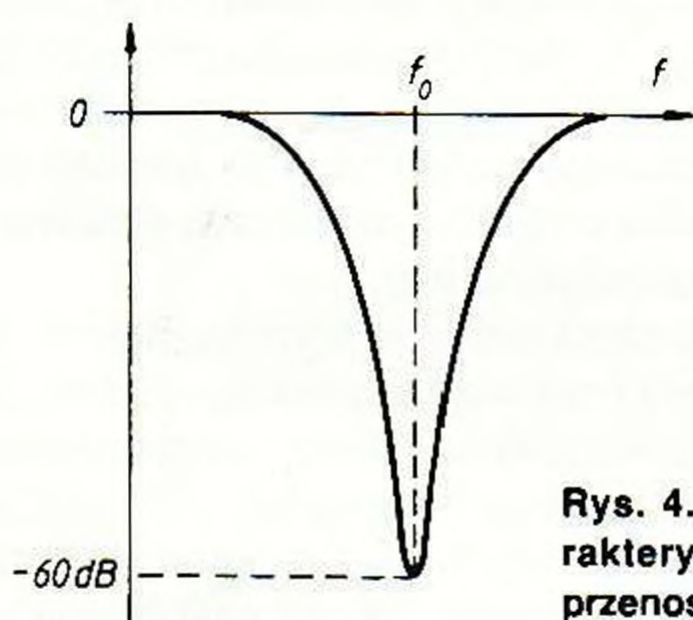




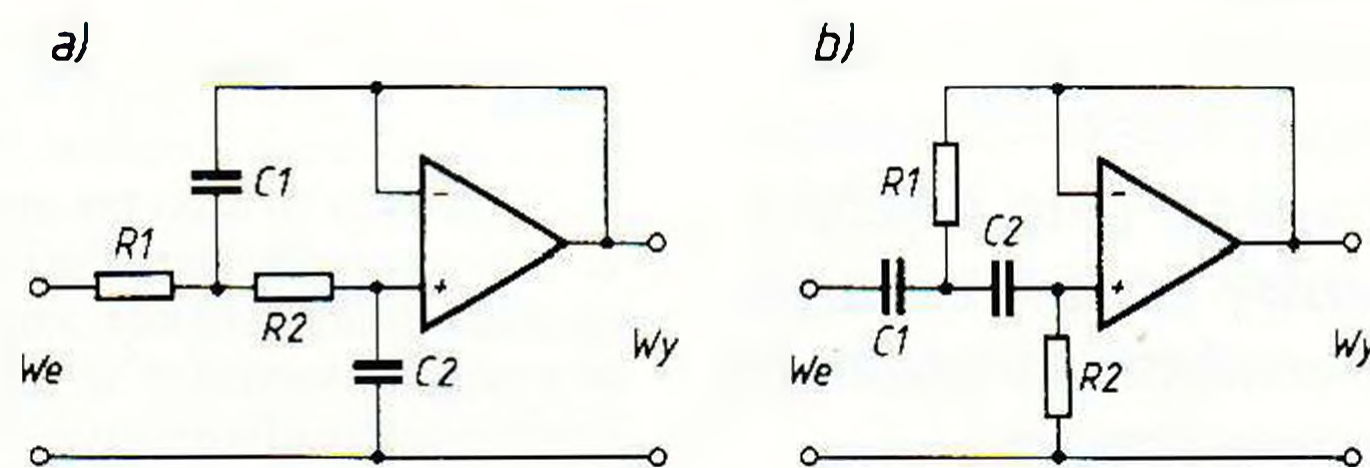
**Duże Q**  
**Małe Q**  
**Rys. 3. Charakterystyki przenoszenia filtrów pasmowych**



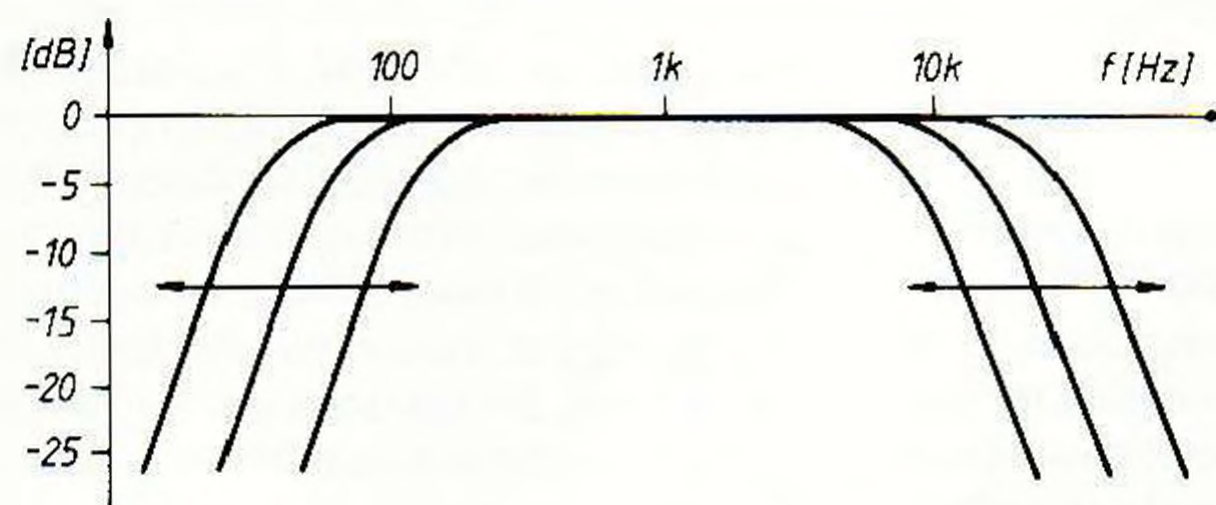
**Rys. 5. Filtry aktywne pierwszego rzędu**  
 a – dolnoprzepustowy, b – górnoprzepustowy



**Rys. 4. Charakterystyka przenoszenia filtru zaporowego**



**Rys. 6. Filtry aktywne drugiego rzędu**  
 a – dolnoprzepustowy, b – górnoprzepustowy



**Rys. 7. Przykładowa charakterystyka częstotliwościowa regulowanego filtru pasmowego stosowanego w torach elektroakustycznych**

we, tłumiące jedną określoną częstotliwość. Charakterystyka przenoszenia takiego filtru jest przedstawiona na rys. 4. W praktyce filtry tego typu mogą mieć płynnie zmienianą częstotliwość środkową  $f_0$ . Filtry bierne są stosowane samodzielnie lub mogą być włączone w obwody sprzężeń zwrotnych wzmacniaczy operacyjnych, tworząc tzw. filtry aktywne. Przykłady filtrów aktywnych pierwszego rzędu są przedstawione na rys. 5, natomiast na rys. 6 przedstawiono filtry aktywne drugiego rzędu o stromości przebiegu charakterystyki 12 dB/oktawę. Rozbudowane układy filtracyjne umożliwiają

płynne zawężanie i rozszerzanie pasma akustycznego. Ich charakterystyki są płaskie w zakresie przenoszenia, natomiast poza pasmem przenoszenia wykazują silny spadek, rzędu 20 dB/oktawę. Przykładowa charakterystyka

częstotliwościowa filtru pasmowego jest przedstawiona na rys. 7.

**Maciej Feszczuk**

**Słowa kluczowe:** ELEKTROAKUSTYKA, KOREKTORY, FILTRY



# KOREKTORY I FILTRY W ELEKTROAKUSTYCE (2)

## Korektory

Korektor jest urządzeniem zawierającym jeden lub więcej filtrów, umożliwiających wzmocnienie lub osłabienie sygnałów z określonych części pasma częstotliwości. Możliwości korektorów rozciągają się od prostej regulacji basów i sopranów w tanim zestawie elektroakustycznym – do kompleksowej regulacji pasma w układzie 1/3 oktawowym. Taka kompleksowa korekcja jest dokonywana w tzw. korektorze graficznym oraz filtrami prezencyjnymi i fizjologiczną regulacją głośności. Na rys. 8a przedstawiono przebieg regulacji charakterystyki częstotliwościowej dla prostego korektora barwy dźwięku. Korektor tego typu zawiera zwykle sieć pierwszego rzędu o nachyleniu maks. 6 dB/oktawę. Z uwagi na coraz lepsze parametry najszabszych fragmentów toru elektroakustycznego stosowany obecnie zakres regulatorów barwy dźwięku nie przekracza na ogół  $\pm 10$  dB. Tego typu korektory są budowane w układzie most-

kowym i mogą występować w postaci biernej i aktywnej, włączone w obwód ujemnego sprzężenia zwrotnego wzmacniacza.

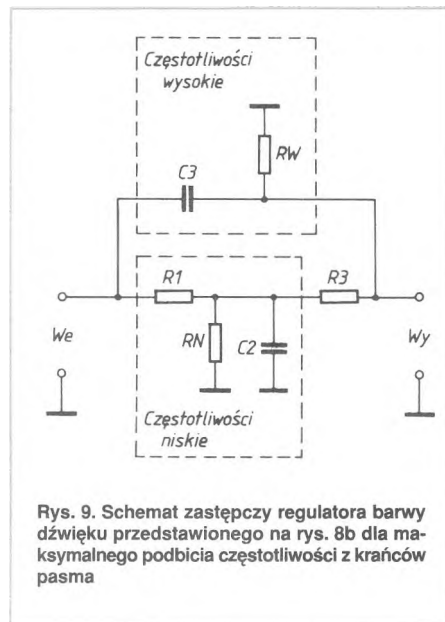
Na rys. 8b przedstawiono szeroko rozposzechniony bierny regulator barwy dźwięku. Potencjometr  $R_N$  służy do regulacji poziomu sygnałów o częstotliwościach mniejszych niż 1 kHz, natomiast za pomocą potencjometru  $R_W$  jest regulowany poziom sygnałów o częstotliwościach większych niż 1 kHz. Aby ułatwić bliższe zapoznanie się z tym regulatorem, na rys. 9 przedstawiono jego schemat zastępczy w położeniu maksymalnego uwydatnienia częstotliwości z krańców pasma. Jak łatwo się zorientować, nastąpiło tutaj równoległe połączenie filtra dolnoprzepustowego (elementy  $R_1$  i  $C_2$ ) z filtrem górnoprzepustowym ( $C_3$  i  $R_W$ ) w niemal klasycznym wydaniu, przedstawionym w pierwszej części artykułu.

Na rysunku celowo pominięto rezystor  $R_2$  oraz kondensator  $C_4$  z uwagi na to, że zarówno rezystancja  $R_2$  stanowiąca 1% rezystancji  $R_N$ , jak i reaktancja kondensatora  $C_4$ , są w tym przypadku pomijalne wobec wartości  $R_N$  i  $R_W$ . Nie wpływają więc na przebieg charakterystyki częstotliwościowej. Kondensator  $C_1$  jest zwarty i nie bierze udziału w kształtowaniu charakterystyki. Rezystor  $R_3$  służy do wzajemnej separacji obu korektorów. Podobnie można przedstawić układ dla przypadku maksymalnego tłumienia częstotliwości z krańców pasma.

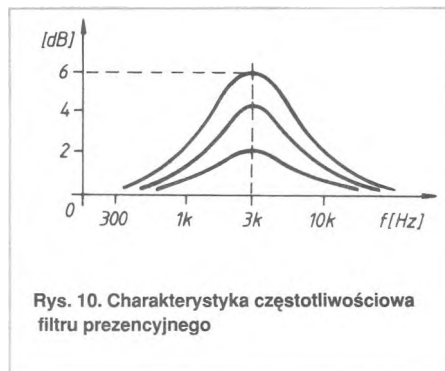
## Filtry prezencyjne

Przy odtwarzaniu audycji słownych za pomocą konwencjonalnych wzmacniaczy elektroakustycznych występuje pogorszenie zrozumiałości mowy wskutek zbyt silnego uwydatnienia częstotliwości z krańców pasma w stosunku do częstotliwości średnich. Pojawiają się wtedy nienaturalne szelesty i dudnienia. Zmiana położenia typowych regulatorów barwy dźwięku nie przynosi oczekiwanych rezultatów. Należy wtedy podnieść o kilka decybeli wzmocnienie częstotliwości średnich w zakresie od 0,5–5 kHz. Praktyczne rozwiązanie tego zagadnienia polega na włączeniu w tor elektroakustyczny filtra środkowoprzepustowego o odpowiedniej charakterystyce przenoszenia, tzw. filtra prezencyjnego. Przykładową charakterystykę częstotliwościową filtra prezencyjnego przedstawiono na rys. 10.

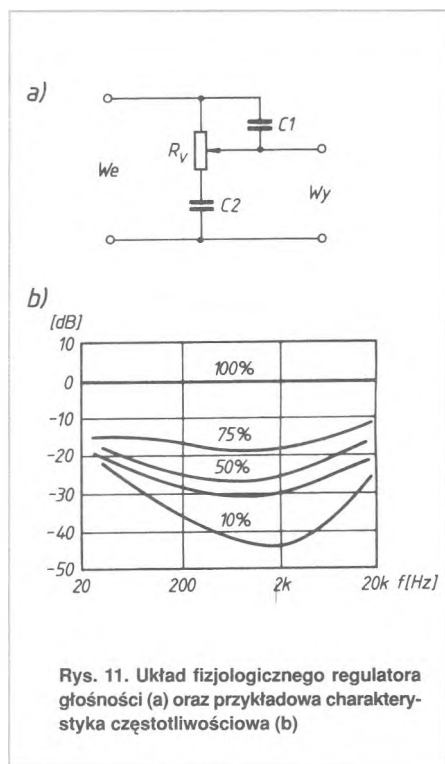
Bardziej rozbudowane układy umożliwiają nie tylko płynną regulację wzmocnienia, ale również wybór jednej z kilku częstotliwości środkowych.



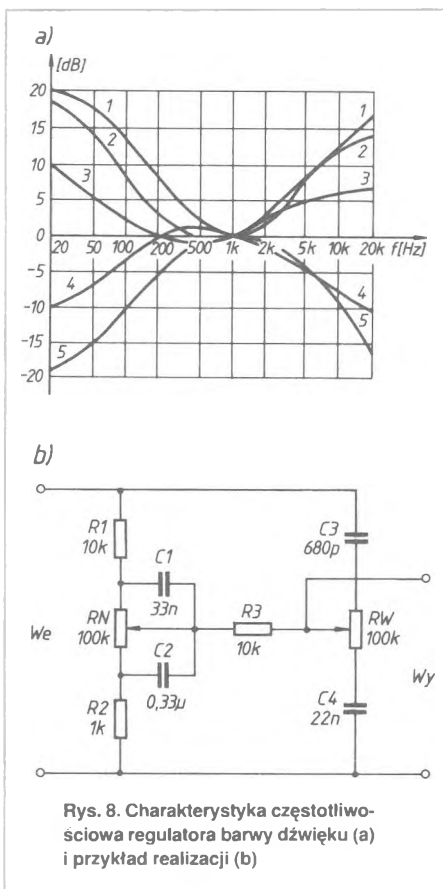
Rys. 9. Schemat zastępczy regulatora barwy dźwięku przedstawionego na rys. 8b dla maksymalnego podbicia częstotliwości z krańców pasma



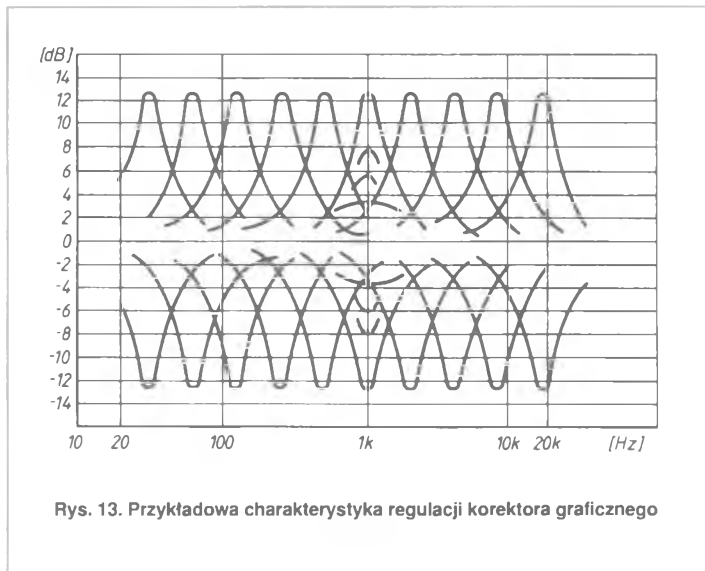
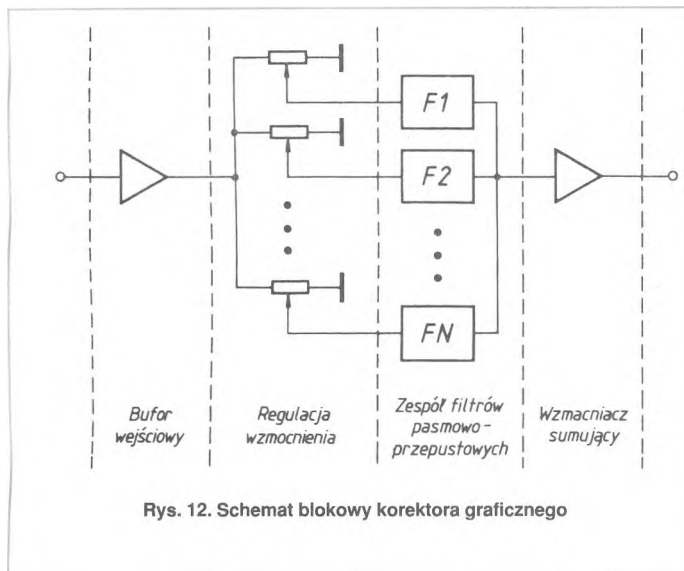
Rys. 10. Charakterystyka częstotliwościowa filtra prezencyjnego



Rys. 11. Układ fizjologicznego regulatora głośności (a) oraz przykładowa charakterystyka częstotliwościowa (b)



Rys. 8. Charakterystyka częstotliwościowa regulatora barwy dźwięku (a) i przykład realizacji (b)



### Fizjologiczna regulacja głośności

Zastosowanie układu regulacji fizjologicznej (kontur) ma na celu kompensację mniejszej czułości ucha w zakresie tonów niskich i wysokich wraz ze zmniejszeniem natężenia emitowanych dźwięków. Korekcja polega więc na wypukleniu częstotliwości dolnego i górnego krańca pasma akustycznego przy przemieszczaniu ślizgacza potencjometru regulacji głośności do zera. Najprościej jest dodać do regulatora głośności dwa kondensatory (rys. 11a). Kondensator C1 uwypukla częstotliwości wielkie przez bocznikowanie części rezystancji potencjometru  $R_v$ , natomiast kondensator C2 uwypukla częstotliwości małe, dodając swoją reaktancję szeregowo z rezystancją potencjometru  $R_v$ . Korekcja działa tym silniej, im niżej znajduje się ślizgacz potencjometru  $R_v$ . Przykład przebiegów regulacji przedstawiono na rys. 11b.

### Korektory graficzne

Korektory wielokanałowe umożliwiają kompleksową korekcję charakterystyki częstotli-

wościowej, łącząc w sobie większość cech układów omówionych poprzednio. Przy zastosowaniu potencjometrów suwakowych do regulacji wzmocnienia w poszczególnych fragmentach pasma akustycznego, układ połączeń regulatorów odzwierciedla w zarysie przebieg charakterystyki częstotliwościowej urządzenia – stąd nazwa korektor graficzny.

Za pomocą korektora graficznego możliwe jest uwydatnienie lub osłabienie wąskich fragmentów pasma akustycznego, co daje nie tylko wyrównanie charakterystyki częstotliwościowej toru, ale także kompensację akustyki pomieszczenia.

Układ korektora jest oparty na zespole filtrów pasmowoprzepustowych o regulowanym wzmocnieniu napięciowym. Sygnały z poszczególnych filtrów są następnie sumowane. Zastosowanie w każdym z nich niezależnej regulacji wzmocnienia umożliwia dowolne kształtowanie charakterystyki częstotliwościowej w obrębie działania danego filtra.

Schemat blokowy korektora graficznego jest przedstawiony na rys. 12, a przykładowa charakterystyka regulacji, na rys. 13.

W prostych układach jest kilka filtrów, w bardziej rozbudowanych kilkanaście, a nawet kil-

kadziesiąt. Częstotliwości środkowe filtrów są zwykle wybrane z odstępem zgodnym z muzycznymi interwałami.

Na rys. 14 przedstawiono widok płyty czołowej profesjonalnego korektora 27-kanalowego, w którym częstotliwości środkowe filtrów są przesunięte względem siebie o 1/3 oktawy. Maksymalny poziom podbicia i obcięcia typowych korektorów nie przekracza na ogół 15 dB. Korektory graficzne nadają się idealnie do wyrównywania wadliwej charakterystyki częstotliwościowej toru elektroakustycznego w całym widmie akustycznym. Są szeroko stosowane w studiach i halach koncertowych, a także do przywrócenia zrównoważenia tonów w "materiale programowym". Dotyczy to szczególnie starych lub źle wykonanych nagrań oraz wyrównywania brzmienia poszczególnych instrumentów bez zakłócania całkowitej równowagi tonalnej.

Na zakończenie trzeba zwrócić uwagę, że należy ostrożnie stosować korektory i filtry, gdyż, chociaż intencją jest poprawa reprodukcji dźwięku, bardzo często może być odwrotnie.

**Maciej Feszczuk**

