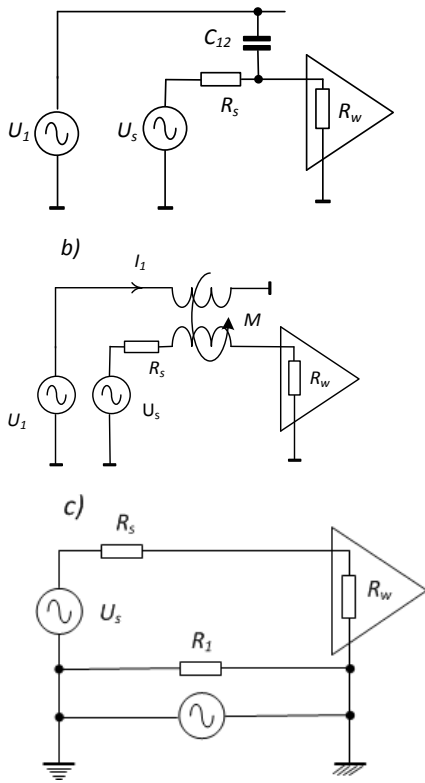


Sygnaly zakłócające (interferences)

Rys. 3. Zakłócenia o charakterze pojemnościowym (a), indukcyjnym (b) lub konduktancyjnym (c)



Źródłem zakłóceń są zazwyczaj inne urządzenia generujące pole elektromagnetyczne (electromagnetic pollution). Sygnaly ter mogą dostawać się do naszego urządzenia różnymi drogami.

Zakłócenia o charakterze pojemnościowym dostają się przez pojemności rozproszone i są proporcjonalne do napięcia U_z sygnału zakłócającego. Sygnaly pasożytnicze mogą też dostawać się przez indukcyjności wzajemne M i są one wtedy proporcjonalne do prądu zakłócającego.

Zakłócenia mogą też dostawać się do układu przez różnicę potencjałów między różnymi uziemieniami (masami) – rys. 3c. Dlatego za generalną zasadę zawsze przyjmujemy że w układzie może być tylko jedno uziemienie.

Szumy

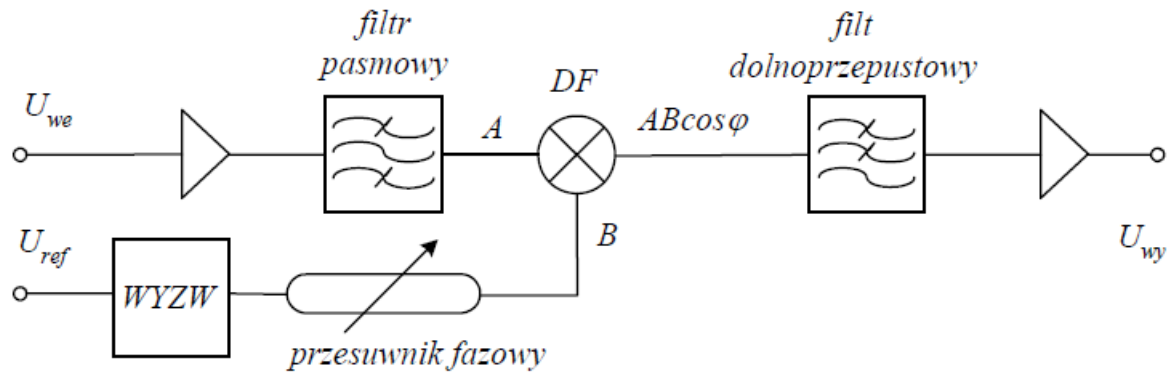
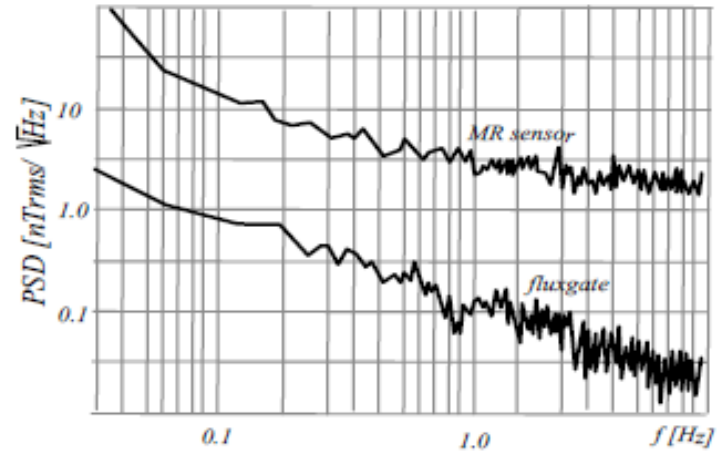
- Szumy cieplne:

$$U_{st} = \sqrt{4kTR\Delta f}$$

- Szumy őrutowe:

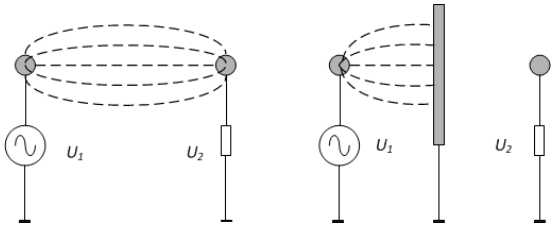
$$I_{ss} = \sqrt{2qI\Delta f}$$

- Szumy 1/f

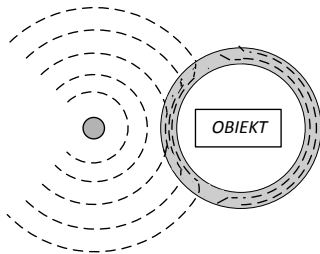


Zmniejszanie wpływu zakłóceń

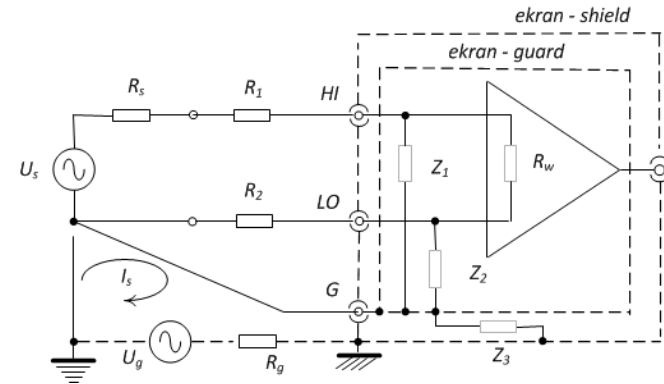
Rys. 4. Ekran elektrostatyczny – pole elektryczne zamyka się w uziemionym ekranie z materiału dobrze przewodzącego i oddzielającym źródło zakłóceń od obiektu



Rys. 5. Ekran magnetyczny – pole magnetyczne nie przenika przez materiał o dużej przenikalności magnetycznej.

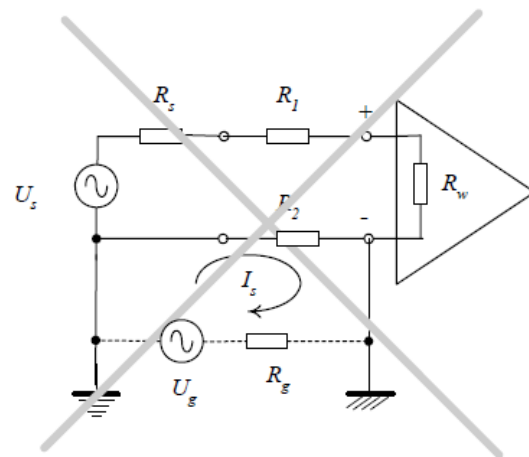
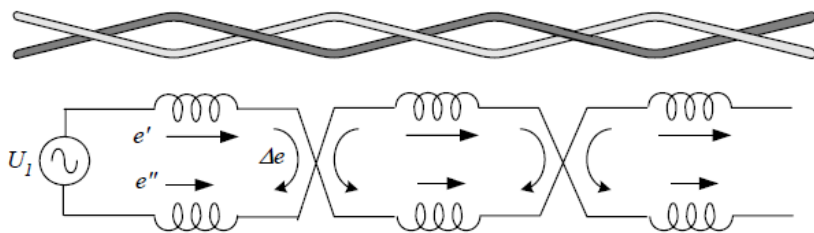
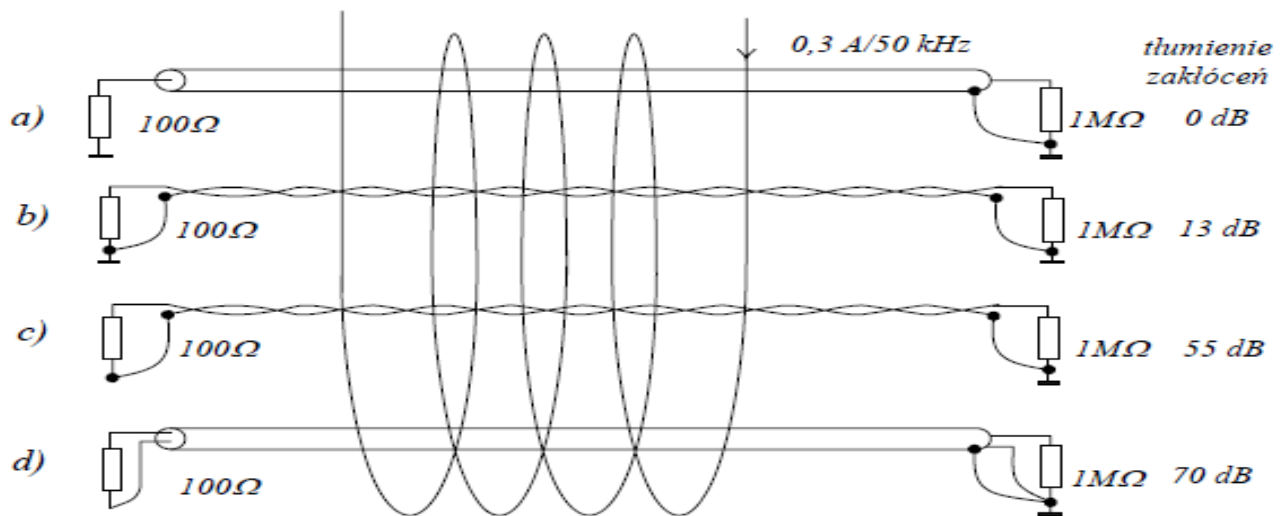


Skuteczną metodą zmniejszania wpływu zakłóceń konduktancyjnych jest ekran typu guard (oznaczany zazwyczaj literą G) – rys. 6

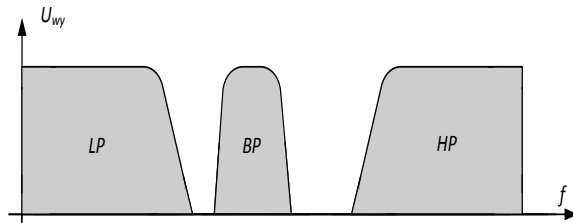


Rys. 6. Zasada działania ekranu Guard

W ekranie typu guard zaciski wejściowe nie są uziemione natomiast uziemiony jest ekran – zacisk G. Prądy wyrównawcze między różnymi masami płyną poza naszym wejściem.

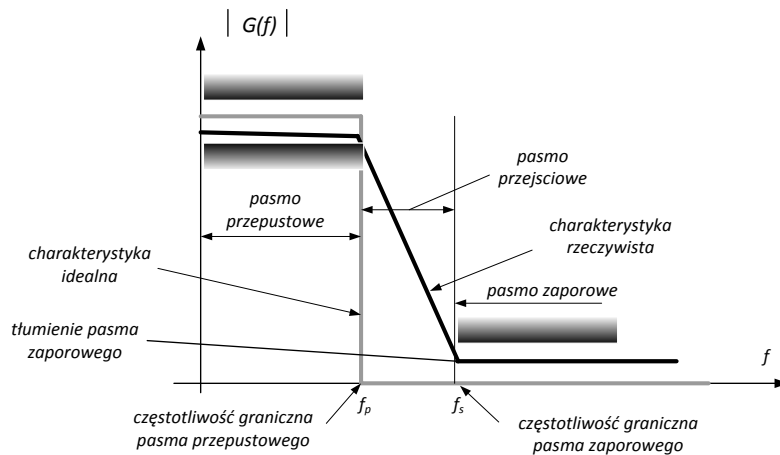


Filtry analogowe



Rys. 1. Rodzaje filtrów

Rys. 2. Charakterystyka filtru



Filtry służą głównie do przepuszczania (lub nieprzepuszczania) sygnałów o określonym pasmie częstotliwości.

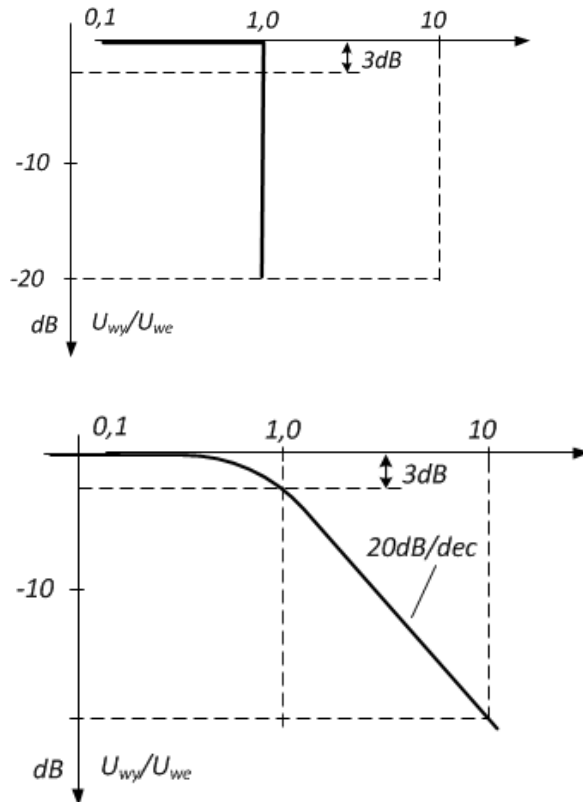
I tak mamy filtry dolnoprzepustowe (lowpass filter) nie przepuszczające sygnałów o wyższych częstotliwościach, górnoprzepustowe (highpass filter), środkowoprzepustowe (bandpass filter) lub środkowo-zaporowe. Filtry pasmowe mogą powstać z kombinacji filtru dolnoprzepustowego i górnoprzepustowego.

Charakterystycznym parametrem filtru jest częstotliwość graniczna - rys.2.

Szczególnym rodzajem filtrów są filtry EMI (electromagnetic interferences) nieprzepuszczające sygnałów zakłócających (interferences).

Charakterystyka amplitudowa filtru

Rys. 7. Charakterystyka idealna i rzeczywista filtru dolnoprzepustowego



Jak wynika z rys. 7 rzeczywista charakterystyka filtru znacząco odbiega od idealnej. Głównym problemem jest powolne zwiększanie tłumienia sygnału powyżej częstotliwości granicznej – w tempie 20 dB/dekada. Jeśli typowy sygnał akustyczny muzyki symfonicznej ma dynamikę 100 dB to oznacza że stłumienie tego sygnału uzyskamy po pięciu dekadach (jeśli $f_g = 1$ kHz to stłumienie nastąpi po 100 MHz).

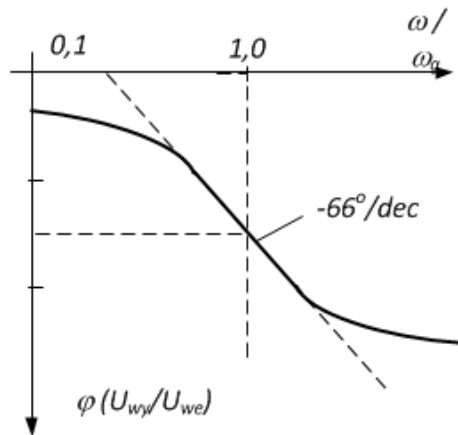
Tempo zmiany tłumienia możemy zwiększać zwiększając rząd filtru – filtr drugiego rzędu to dwa filtry jeden za drugim itd.

W przypadku filtrów pasywnych rzadko stosuje się rząd powyżej 3 co oznacza 60 dB/dek.

W przypadku filtrów aktywnych można realizować filtry do 5 rzędu co oznacza 100 dB/dek.

Charakterystyka fazowa filtru

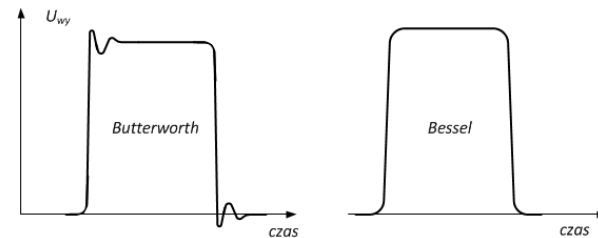
Rys. 8. Typowa charakterystyka fazowa filtru



Charakterystyka fazowa filtru też odbiega od charakterystyki idealnej (prostoliniowej). Kiepska charakterystyka fazowa jest źródłem zniekształcenia sygnału - np. tzw. Efekt dzwonienia filtru.

Problem w tym że filtry o dobrej charakterystyce fazowej (np. filtr Bessela) mają kiepską charakterystykę amplitudową.

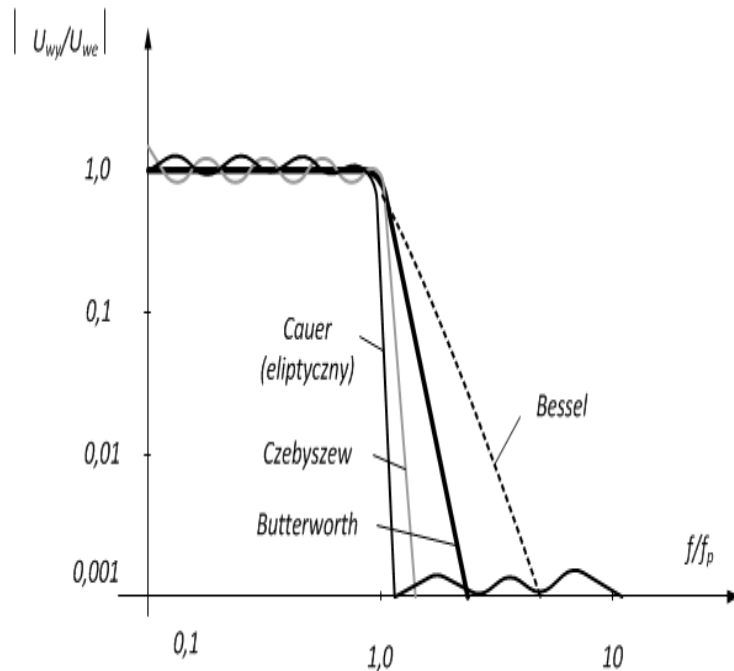
I odwrotnie filtry o dobrej charakterystyce amplitudowej (np. filtr Butterwortha) mają kiepską charakterystykę fazową.



Rys. 9. Zniekształcenie sygnału przez filtr o kiepskiej i dobrej charakterystyce fazowej

Główne rodzaje filtrów

Rys. 10. Charakterystyki amplitudowe podstawowych rodzajów filtrów



Matematycy opracowali kilka podstawowych rodzajów filtrów różniących się charakterystyką amplitudową.

Najbardziej popularny jest filtr Butterwortha. Jest to niemal filtr idealny o płaskiej charakterystyce w pasmie przewodzenia i przyzwoitym spadku tłumienia.

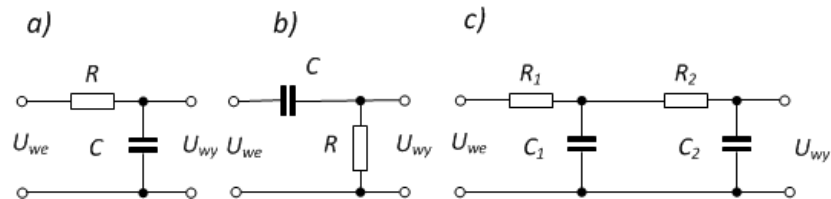
Jeśli zależy nam na szybszym spadku tłumienia to można wybrać filtr Czebyszewa (Tschebyshev albo Chebychev po ang.). Filtr ten ma szybszy spadek tłumienia niż filtr Butterwortha ale kosztem pojawienia się zafalowań w pasmie przewodzenia. Im szybszy spadek tym większe zafalowania.

Najszybszy spadek tłumienia ma filtr eliptyczny – ale kosztem zafalowań w paśmie przewodzenia i zaporowym.

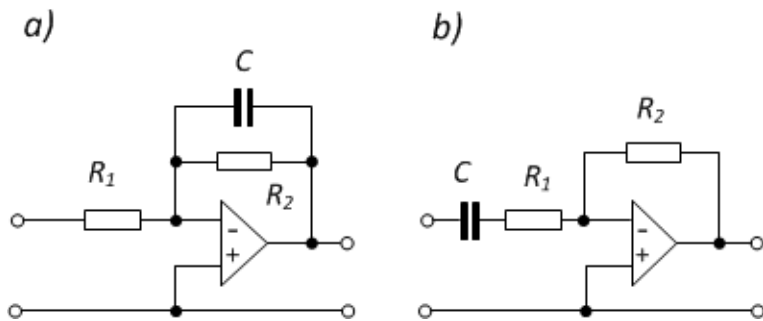
Najlepszą charakterystykę fazową ma filtr Bessela ale kosztem wolnego spadku tłumienia.

Filtry pasywne i wspomagane wzmacniaczem

Rys. 11. Filtry pasywne RC – a) filtr dolnoprzepustowy, b) filtr górnoprzepustowy, c) filtr dolnoprzepustowy drugiego rzędu



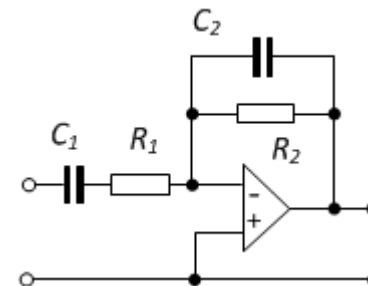
Rys. 12. Dolnoprzepustowy *a) i górnoprzepustowy (b) filtr wspomagany wzmacniaczem



Zazwyczaj stosuje się filtry RC (rys. 11). Dla wszystkich filtrów obowiązuje generalna zasada że przejście od filtra dolnoprzepustowego do górnoprzepustowego następuje po zamianie miejscami R i C.

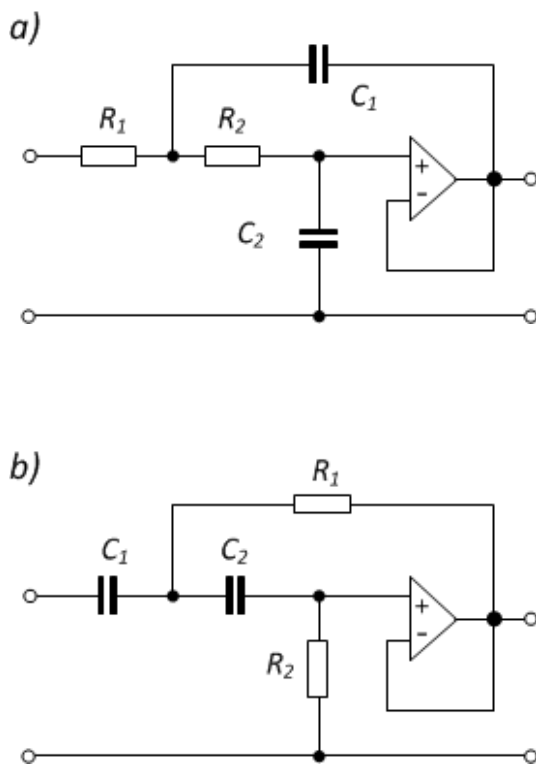
Filtry pasywne znacząco osłabiają sygnał dlatego rzadko stosuje się rząd większy niż 3. Wady tej nie mają filtry wspomagane wzmacniaczem. Pojedynczy filtr pasywny lub wspomagany wzmacniaczem są filtrami pierwszego rzędu.

Rys. 13. Filtr pasmowy – kombinacja filtra dolno- i górnoprzepustowego



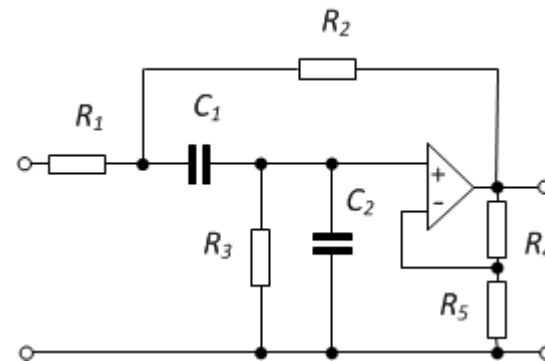
Filtry aktywne – filtry Sallen-Key

Rys. 14. Dolno- i górnoprzepustowy (b) filtr Sallen-Key



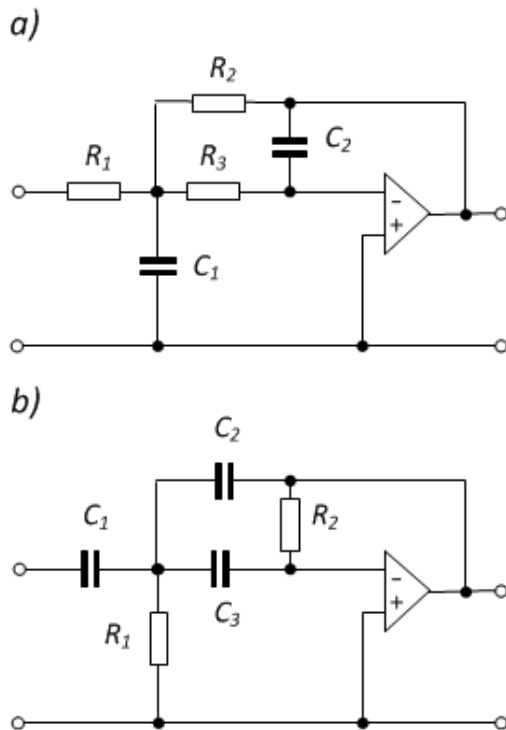
Filtry Sallen-Keya zostały zaprojektowane z wykorzystaniem elementów RC w pętli sprzężenia zwrotnego. Są to filtry drugiego rzędu – a więc dwa filtry połączone szeregowo dają filtrem czwartego rzędu.

Rys. 15. Filtr pasmowy Sallen-Key



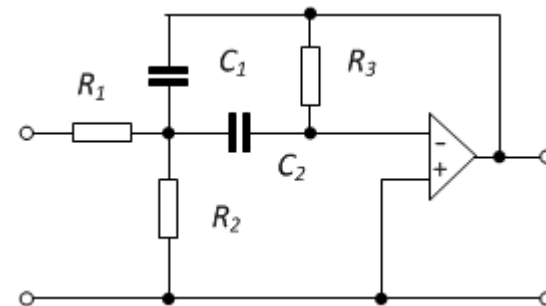
Filtry aktywne – filtry MFB

Rys. 16. Dolno- i górnoprzepustowy (b) filtr MFVB



Alternatywą dla filtrów Sallen-Keya (najbardziej popularnych) mogą być filtry MFB (multi feedback) – z inaczej podłączonymi elementami RC w pętli sprzężenia zwrotnego.

Rys. 17. Filtr Pasmowy MFB



Matematyczny opis filtru RC

Transmitancję filtru dolnoprzepustowego pierwszego rzędu opisuje równanie:

$$K(s) = \frac{1}{1 + sRC}$$

Zazwyczaj na etapie projektowania przyjmuje się $R = 1 \text{ om}$, $C = 1 \text{ F}$ i $\omega = 1 \text{ rad/sec}$ i wtedy równanie przyjmuje postać:

$$K = \frac{1}{1 + s}$$

A więc filtr czwartego rzędu będzie opisany równaniem

$$K = \frac{1}{a + bs + cs^2 + ds^3 + s^4}$$

Zazwyczaj jeszcze bardziej upraszcza się równanie pisząc tylko mianownik

We współczynnikach a, b, c... zapisany jest rodzaj filtru. I tak dla filtru Butterwortha mamy:

$$s + 1$$

$$s^2 + \sqrt{2}s + 1$$

$$s^3 + 2s^2 + 2s + 1$$

$$s^4 + 2,61s^3 + 3,414s^2 + 2,61s + 1$$

$$s^5 + 3,236s^4 + 5,236s^3 + 5,236s^2 + 3,236s + 1$$

Uwzględniając że filtry aktywne są filtrami drugiego rzędu współczynniki te zapisuje się też inaczej, jako

$$s + 1$$

$$1 + 1,414s + s^2$$

$$(1 + s)(1 + s + s^2)$$

$$(1 + 1,848s + s^2)(1 + 0,765s + s^2)$$

$$(1 + s)(1 + 1,618s + s^2)(1 + 0,618s + s^2)$$

Przykład projektu filtru

Zaprojektujemy filtr o następujących parametrach:

- Dolnoprzepustowy
- Czwartego rzędu
- Sallen Key
- Butterworth
- $f_g = 1 \text{ kHz}$

Oczywiście robimy to tylko de celów dydaktycznych bo wszędzie można znaleźć proste narzędzia do projektowania.

Jeśli przyjmiemy że $R = 1 \text{ om}$ to filtr można opisać równaniem

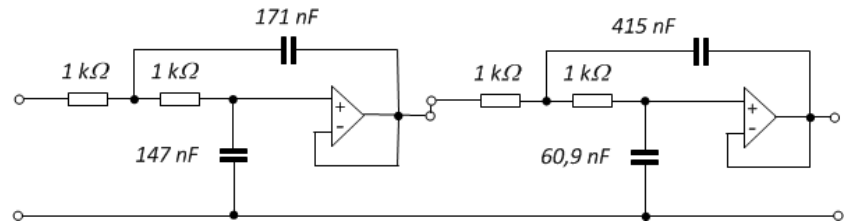
$$K = \frac{1}{1 + (2C_2)s + (C_1C_2)s^2}$$

A więc zgodnie ze współczynnikami podanymi na poprzednim slajdzie mamy dla pierwszego filtru $2C_2 = 1.84$ i $C_1C_2 = 1$

A więc pojemności w pierwszym filtrze są $C_2 = 0.92 \text{ F}$ i $C_1 = 1.08 \text{ F/}$.

Dla drugiego filtru mamy odpowiednio $2C_2 = 0.76$ i $C_1C_2 = 1$ a więc pojemności w drugim filtrze są $C_2 = 0.38 \text{ F}$ i $C_1 = 2.61 \text{ F}$.

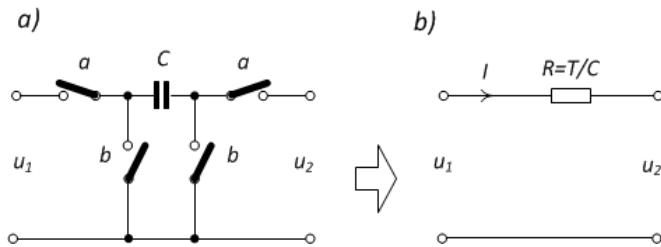
Teraz wracamy do zwykłego układu jednostek. Jeśli przyjmiemy że R są 1000 omów i $f = 1000 \text{ Hz}$ to pojemności trzeba podzielić przez $2\pi \cdot 10^6$ I otrzymamy układ ja na rys. 18



Rys. 18. Układ zaprojektowanego filtru

Filtry typu Switching Capacitor

Rys. 19. Zasada układu switching capacitor



A więc kondensator przełączany cyklicznie z częstotliwością zegara między wejściem i wyjściem jest równoważny rezystancji $R = 1/fC$.

Korzyści układów z przełączanym kondensatorem są następujące:

- Technologicznie dużo łatwiej jest zrobić scalony kondensator niż opornik
- Taki filtr z przełączanymi kondensatorami można łatwo zdalnie stroić przez zmianę częstotliwości zegara

Rys. 20. Tradycyjny filtr RC i jego modyfikacja

