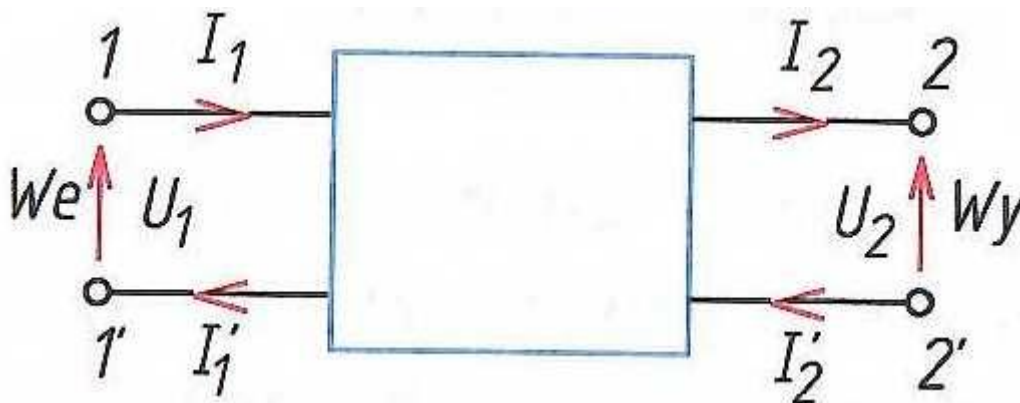


Czówniki i Filtry

Czówniki

Czównikiem (dwuwrotnikiem) nazywamy układ mający dwie pary uporządkowanych zacisków czyli łącznie cztery zaciski. Dla czównika musi być spełniony warunek: $I_1 = I_1'$ oraz $I_2 = I_2'$



Rys. 1 Symbol graficzny czównika bez wnikania w jego strukturę wewnętrzną.

Jedną parę zacisków nazywamy wejściem, a drugą wyjściem. Wielkości związane z wejściem oznaczmy indeksem 1, zaś związane z wyjściem indeksem 2.

Zwykle do zacisków wejściowych dołączone jest źródło energii zaś do zacisków wyjściowych odbiornik. Jeżeli wszystkie elementy wchodzące w skład struktury czównika są liniowe, to taki czównik nazywamy **czównikiem liniowym**. Jeżeli czównik zawiera chociaż jeden element nieliniowy to wówczas mówimy o czówniku nieliniowym.

Czównikiem symetrycznym nazywamy czównik, w którym po zamianie zacisków wyjściowych z wejściowymi rozpył prądów oraz rozkład napięć nie ulegnie zmianie. Czówniki dzielimy na odwracalne i nieodwracalne. Jeżeli do zacisków wejściowych czównika odwracalnego doprowadzimy idealne źródło napięcia E , które w zwartym obwodzie wyjścia wywoła prąd I , to po przeniesieniu tego źródła do wyjścia w zwartym obwodzie wejścia też po płynie prąd I .

Czównik, dla którego spełniony jest podany warunek, zwany warunkiem odwracalności, nazywamy **czównikiem odwracalnym**. Czówniki dzielimy również na pasywne i aktywne.

Czównik nazywamy **pasywnym**, jeżeli całkowita energia pobrana przez elementy czównika przy dołączeniu do jego zacisków źródła energii, jest nieujemna, tzn. dodatnia albo równa zero. Jeżeli do czównika pasywnego nie dołączymy źródła energii to prąd w nim nie płynie. Czównik pasywny zbudowany jest z elementów pasywnych czyli np. z rezystorów, cewek i kondensatorów. Przeciwnieństwem czównika pasywnego jest czównik aktywny – w jego strukturze zastępczej będzie wówczas występowało źródło.

Równania czównika.

Parametry wejściowe czyli napięcie i prąd na wejściu z parametrami wyjściowymi mogą być powiązane różnymi równaniami. Wyróżniamy sześć postaci równań czównika:

1. Impedancyjną,
2. Admitancyjną,
3. Łańcuchową prostą,
4. Łańcuchową odwrotną,

5. Hybrydową (mieszaną),
6. Hybrydową odwrotną.

W opisie czwórników jednym z najczęściej spotykanych opisów jest układ równań łańcuchowych prostych, w których parametry wejściowe napięcie U_1 i prąd I_1 są powiązane z wielkościami wyjściowymi napięciem U_2 i prądem I_2 :

$$\begin{aligned} U_1 &= A \cdot U_2 + B \cdot I_2 \\ I_1 &= C \cdot U_2 + D \cdot I_2 \end{aligned}$$

, gdzie współczynniki A, B, C, D nazywamy współczynnikami łańcuchowymi.

Współczynnik łańcuchowy A jest równy stosunkowi napięcia wejściowego U_1 do napięcia wyjściowego U_2 w przypadku, gdy prąd wyjściowy I_2 jest równy zero ($I_2=0$). O tym parametrze mówimy jako o przekładni napięciowej w stanie jałowym – jest on wielkością bezwymiarową.

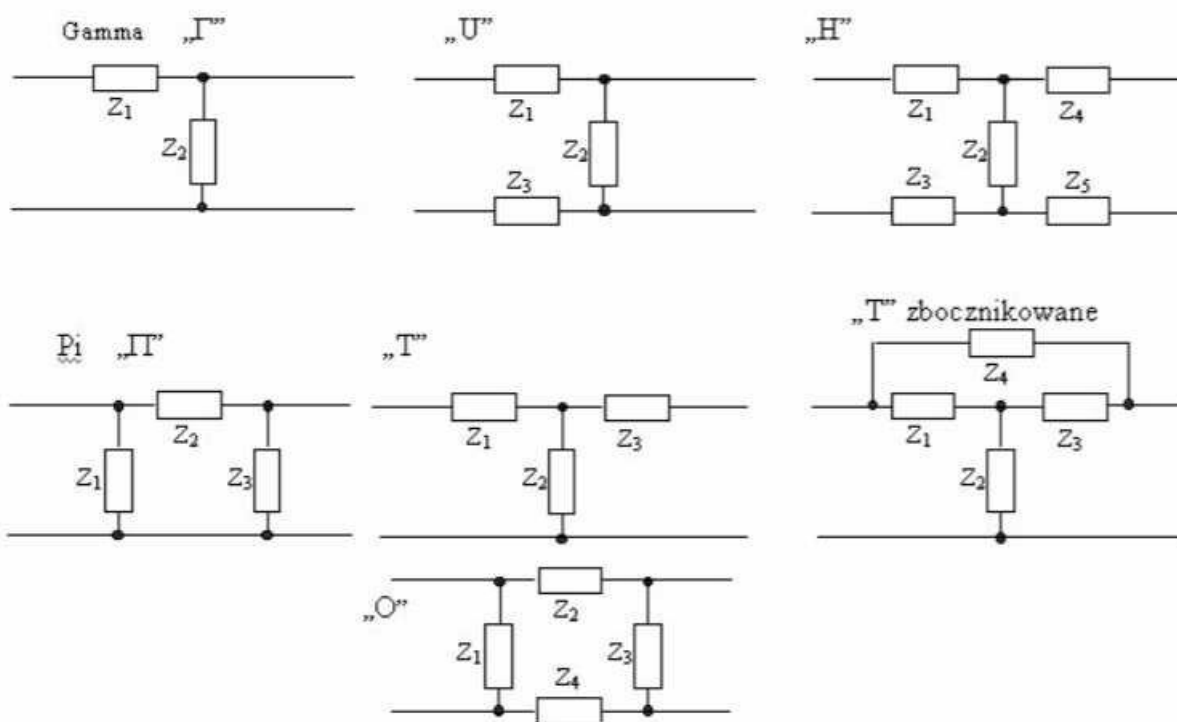
Współczynnik łańcuchowy B jest równy stosunkowi napięcia wejściowego U_1 do prądu wyjściowego I_2 w przypadku, gdy napięcie wyjściowe U_2 jest równe zero ($U_2=0$). W tym przypadku mówimy o stanie zwarcia czwórnika. Parametr ten ma wymiar impedancji i jednostką jest Ω .

Współczynnik łańcuchowy C jest równy stosunkowi prądu wejściowego I_1 do napięcia wyjściowego U_2 w przypadku, gdy prąd wyjściowy I_2 jest równy zero ($I_2=0$). W tym przypadku mówimy o stanie zwarcia czwórnika. Parametr ten ma wymiar odwrotności impedancji (czyli admitancji), jego jednostką jest S ($1/\Omega$).

Współczynnik łańcuchowy D jest równy stosunkowi prądu wejściowego I_1 do prądu wyjściowego I_2 w przypadku, gdy napięcie wyjściowe U_2 jest równe zero ($U_2=0$). O tym parametrze mówimy jako o odwrotności przekładni prądowej w stanie zwarcia – jest on wielkością bezwymiarową.

Schematy zastępcze czwórników.

Czwórniki pasywne, jako schematy zastępcze wielu urządzeń, można prawie zawsze przedstawić za pomocą trzech impedancji tworzących strukturę taką jak widać na rysunku poniżej.



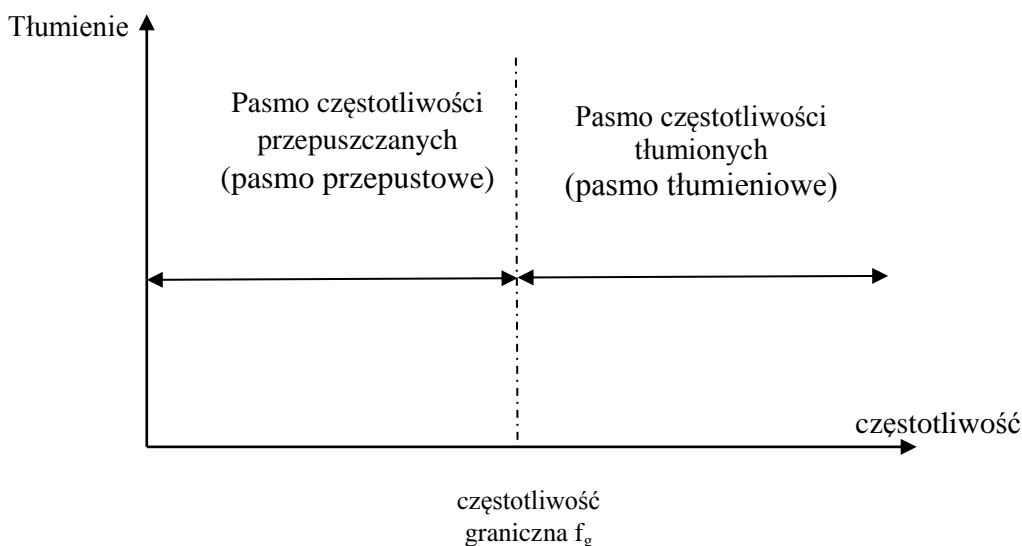
Filtry

Filtrowanie polega więc na eliminacji z naszego otoczenia czynników szkodliwych a pozostawieniu tych które nam nie przeszkadzają.

W układach elektronicznych mamy również do czynienia z filtrami, które mają na celu wyeliminować lub też zmniejszyć wpływ sygnałów o niepożądanym częstotliwości czyli oddzielić od siebie albo tłumić składowe o różnych częstotliwościach.

Filtrem częstotliwości nazywamy układ o strukturze czwórnika (czwórnik to układ mający cztery zaciski – jedna z par zacisków pełni rolę wejścia, zaś druga wyjścia), który przepuszcza bez tłumienia lub z małym tłumieniem napięcia i prądy o określonym paśmie częstotliwości, a tłumi napięcia i prądy leżące poza tym pasmem. Filtry częstotliwości mają głównie zastosowanie w urządzeniach elektronicznych i energetycznych. Umieszczone pomiędzy źródłem sygnału a odbiornikiem powodują, że do odbiornika dostaje się sygnał o pożądanym widmie częstotliwości, co oznacza, że z sygnału dostarczanego przez źródło został wyeliminowany sygnał o częstotliwości mieszczącej się w paśmie tłumieniowym.

Pasmo częstotliwości, które filtr przepuszcza bez tłumienia (lub z małym tłumieniem) nosi nazwę **pasma przepustowego**, zaś pasmo, w którym napięcia i prądy podlegają tłumieniu nosi nazwę **pasma tłumieniowego**. Częstotliwość, która stanowi granicę pomiędzy pasmem przepustowym a pasmem tłumienia, nazywana jest **częstotliwością graniczną**. Filtr może mieć kilka częstotliwości granicznych. Częstotliwość graniczna f_g wyrażana w Hz może być również opisana za pomocą pulsacji granicznej ω_g , której jednostką jest rad/s. Wartość częstotliwości granicznej filtru może być wyznaczana zarówno w oparciu o wartości elementów, z których zbudowany jest filtr jak i z częstotliwościowej charakterystyki napięciowej ($U_{wy}=f(U_{we})$) lub prądowej filtru.

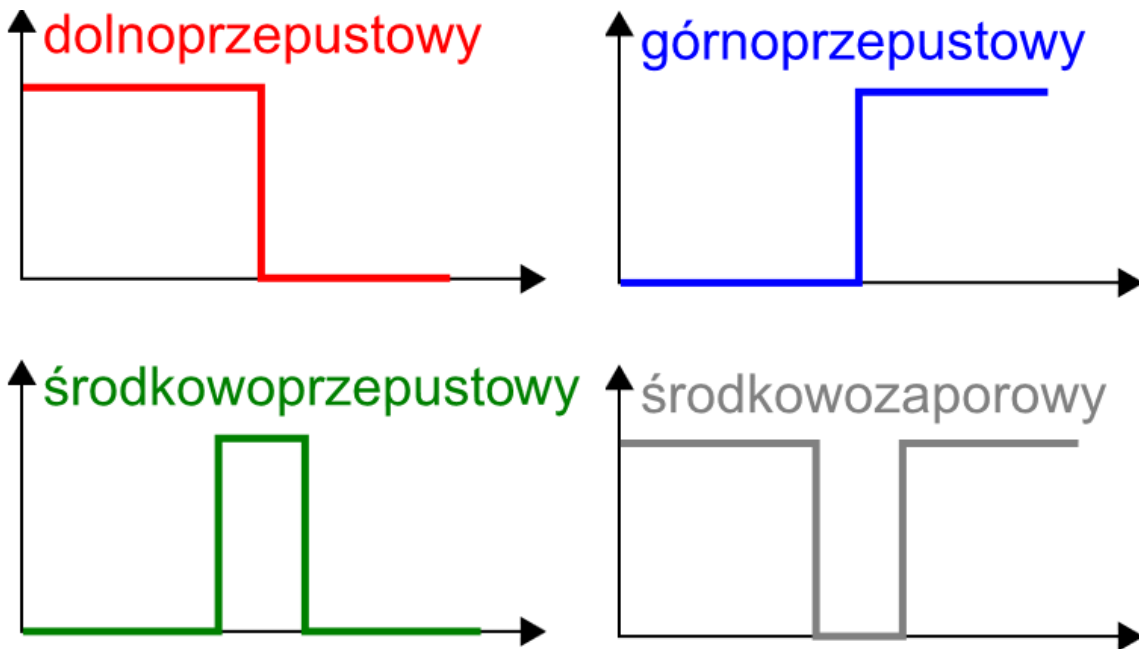


Rys.3. Przykładowa charakterystyka sposobu tłumienia filtra dolnoprzepustowego

W zależności od **położenia pasma przepustowego** wyróżnia się grupy filtrów:

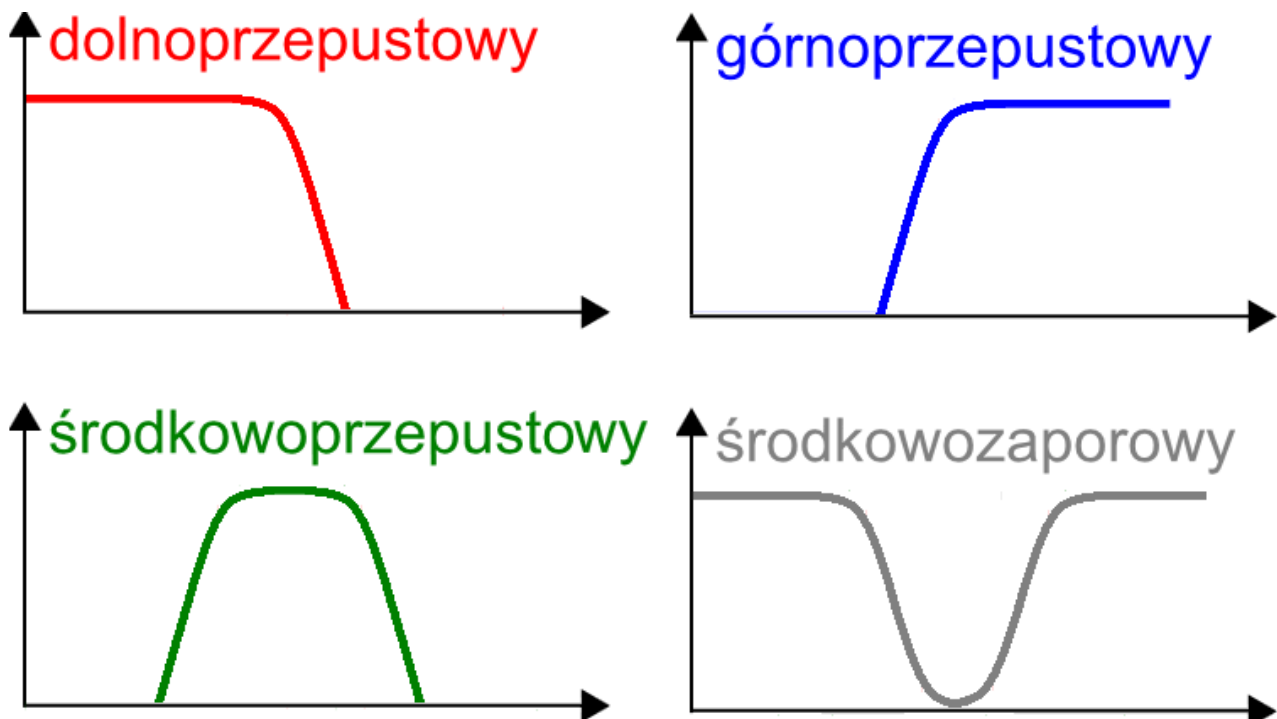
- dolnoprzepustowe – pasmo przepustowe od częstotliwości $f=0$ Hz do częstotliwości granicznej f_g ,
- górnoprzepustowe – pasmo przepustowe od częstotliwości granicznej f_g do nieskończoności,
- środkowoprzepustowe (pasmowe) – pasmo przepustowe od częstotliwości granicznej f_{g1} do częstotliwości granicznej f_{g2} ,

- środkowozaporowe (zaporowe) – pasmo tłumieniowe od częstotliwości granicznej f_{g1} do częstotliwości granicznej f_{g2} .



Rys 4. Charakterystyki filtrów idealnych.

Filtry rzeczywiste w porównaniu do idealnych nigdy nie odcinają częstotliwości w sposób jest-nie ma sąsiedniej częstotliwości. Każdy filtr rzeczywisty cechuje się stopniowym spadkiem poziomu sygnału w paśmie zaporowym. Powyższą sytuację przedstawia rysunek 3.



Rys 5. Charakterystyki filtrów rzeczywistych

W zależności od **elementów wykorzystanych do budowy** wyróżnia się grupy filtrów:

- filtry aktywne – w przypadku wykorzystania w układzie filtru elementów aktywnych (wzmacniaczy) takich jak np. wzmacniacze operacyjne. Dzięki temu istnieje możliwość zaprojektowania filtru o dowolnej charakterystyce częstotliwościowej. Filtry aktywne mają taką zaletę, że nie posiadają cewek (indukcyjności).

Wadami stosowania indukcyjności są trudności uzyskania w technice scalonej dużych wartości indukcyjności, ponieważ trzeba w takich przypadkach stosować rdzenie ferromagnetyczne, występowanie w cewkach rezystancji szeregowej, pojemności międzyzwojowych oraz wrażliwość na zakłócenia magnetyczne,

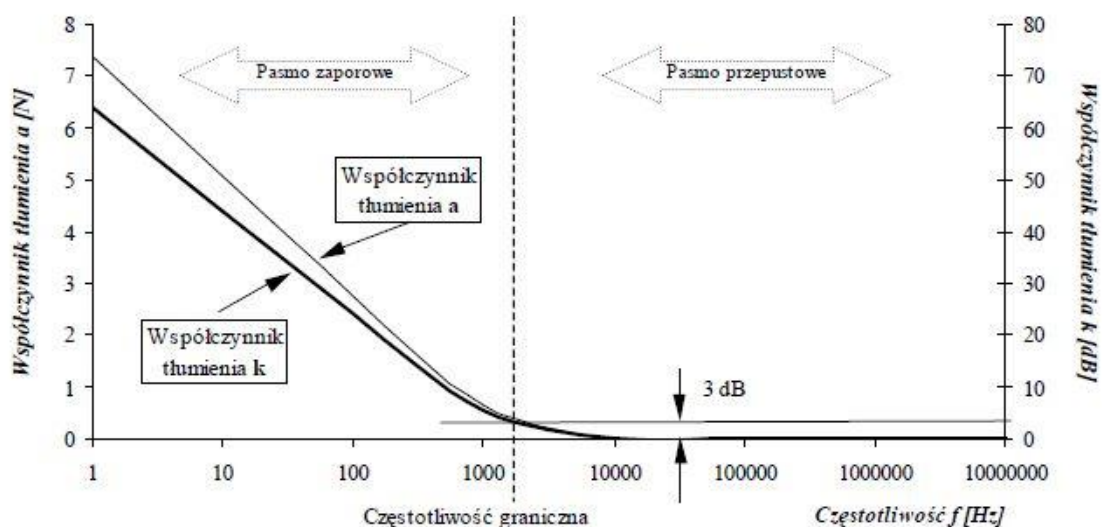
- filtry pasywne – zbudowane z samych elementów pasywnych:
- filtry reaktancyjne L,C - zbudowane z cewek i kondensatorów,
- filtry bezindukcyjne R,C - zbudowane z rezystorów i kondensatorów,
- filtry piezoelektryczne – materiały piezoelektryczne charakteryzują się tym, że przy odkształceniach mechanicznych pomiędzy ich powierzchniami generowane jest napięcie. Podobnie w przypadku dołączenia do piezoelektryka napięcia, wystąpią w nim odkształcenia mechaniczne. Zamocowana w układzie mechanicznym płytka piezoelektryczna drga z częstotliwością doprowadzonego sygnału. Im bardziej częstotliwość sygnału zbliżona jest do częstotliwości rezonansowej piezoelektryka, tym większa część sygnału przedostaje się na wyjście filtru.

PARAMETRY FILTRÓW PASYWNYCH

Podstawowe parametry charakteryzujące pasywny filtr częstotliwości to:

- współczynnik tłumienia filtru (a, k),
- współczynnik przesunięcia fazowego (b, β),
- częstotliwość graniczna (f_g),
- impedancja falowa.

Współczynnik tłumienia (tłumienność (a, k)) - wielkość określająca, jaka część sygnału wejściowego znajdzie się przy określonej częstotliwości się na wyjściu filtru. Może on być określany na kilka sposobów: jako bezpośredni stosunek wartości napięć lub prądów (5.1), w neperach (5.2) lub decybelach (5.3). Wszystkie z wymienionych wielkości dają się wzajemnie przeliczać. W paśmie przepustowym współczynnik tłumienia powinien być równy zero lub niewiele różnić się od zera, natomiast w paśmie tłumieniowym współczynnik ten powinien być duży. Znajomość charakterystyki częstotliwościowej współczynnika fazowego pozwala na określenie zmiany fazy napięcia i prądu przy przejściu sygnału przez filtr.



Rys. 6. Logarymiczne charakterystyki częstotliwościowe współczynnika tłumienia filtru górnoprzepustowego prezentowane w neperach (a) i decybelach (k)

Dla filtrów miarodajne są charakterystyki częstotliwościowe. Na podstawie charakterystyki zmienności w funkcji częstotliwości takich wielkości jak współczynnik tłumienia i współczynnik fazowy określamy warunki przenoszenia sygnałów przez filtr.

Jeżeli przy określonej częstotliwości f na wejście filtru podawany jest sygnał o amplitudzie U_1 , a na jego wyjście przedostaje się sygnał o amplitudzie U_2 , to współczynnik tłumienia można określić na poniższe sposoby.

$$\text{Wsp. tłumienia} = \frac{U_2}{U_1}, (-), \quad (5.1)$$

$$a = \ln \frac{U_1}{U_2}, (N), \quad (5.2)$$

$$k = -20 \log \frac{U_2}{U_1}, (\text{dB}). \quad (5.3)$$

Impedancja falowa – taka impedancja odbiornika dołączonego do zacisków wyjściowych filtru, przy której impedancja mierzona na wejściu czwornika jest równa impedancji odbiornika.

Częstotliwość graniczna (f_g) - wartość częstotliwości oddzielająca pasmo przepustowe od pasma zaporowego. W fazie projektowania filtru ona jest określana na podstawie wartości zastosowanych w filtrze elementów oraz impedancji źródła i odbiornika. Może być również określana w oparciu o częstotliwościową charakterystykę współczynnika tłumienia lub częstotliwościową charakterystykę współczynnika przesunięcia fazowego.

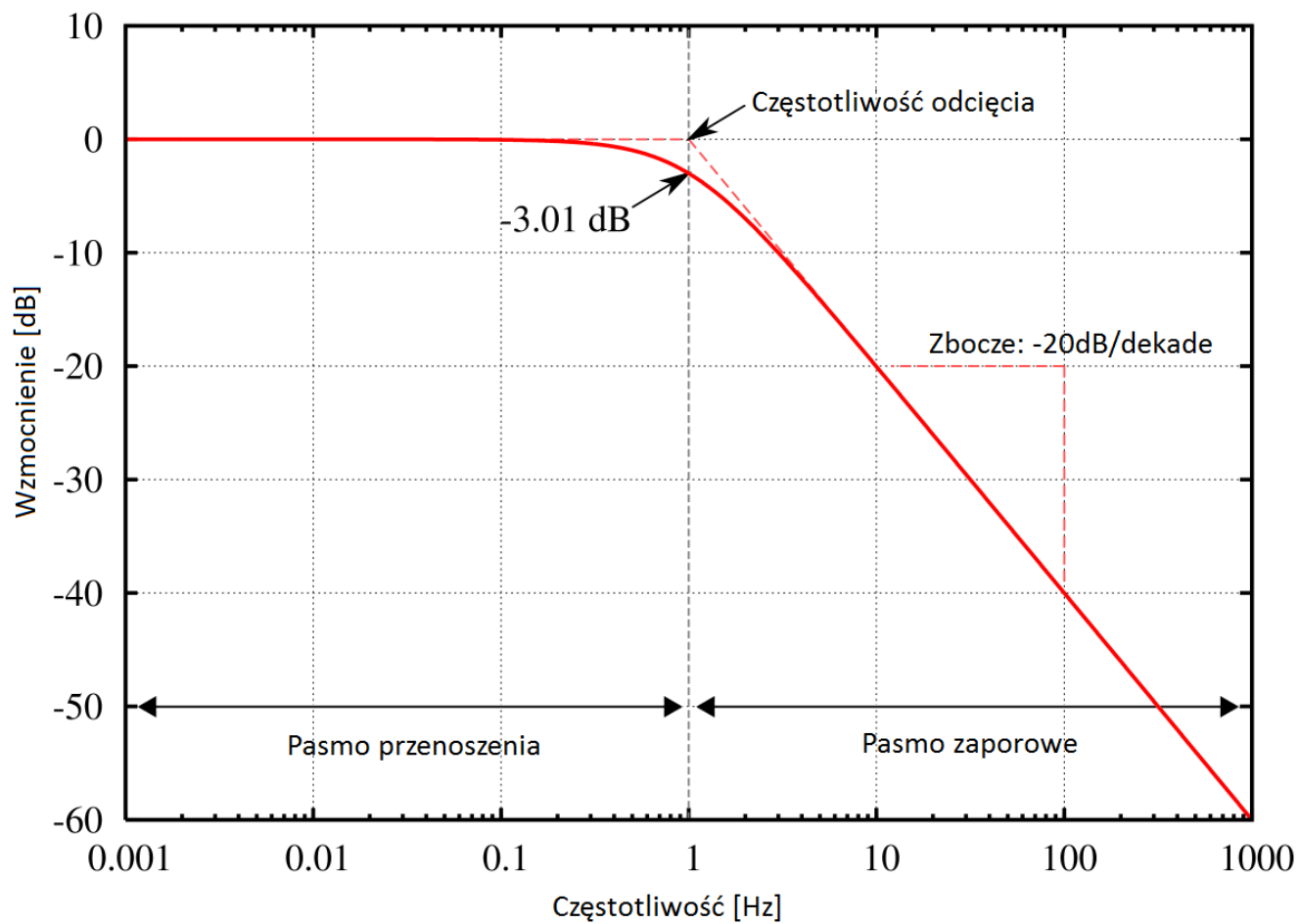
W przypadku określania częstotliwości granicznej na podstawie częstotliwościowej charakterystyki współczynnika tłumienia (rys. 5.2), za częstotliwość graniczną można przyjmować taką wartość częstotliwości, przy której tłumienie zwiększa się o 3 dB w stosunku do wartości, jaką posiada w paśmie przepustowym („3 decybelowa częstotliwość graniczna” – zmniejszenie modułu napięcia o $\sqrt{2}$).

Jak już wspomiano, każdy filtr rzeczywisty cechuje się stopniowym spadkiem poziomu sygnału w paśmie zaporowym. Dla filtrów pierwszego rzędu jest to stopniowy spadek sygnału 20dB/dekadę. Jest on nazywany **stromością charakterystyki**.

Częstotliwość odcięcia filtru jest to częstotliwość przy której spadek sygnału wyjściowego filtru w stosunku do poziomu w paśmie przenoszenia wynosi 3dB (około 70,7% amplitudy).

Wyróżniamy **częstotliwość odcięcia dolną**, gdy częstotliwości niższe niż te z pasma przenoszenia są tłumione o 3dB, oraz **częstotliwość odcięcia górną**, gdy częstotliwości wyższe niż te z pasma przenoszenia są tłumione o 3dB.

Przykładową charakterystykę filtru dolnoprzepustowego z naniesioną stromością charakterystyki, częstotliwością odcięcia górną, pasmem przenoszenia i pasmem zaporowym przedstawia rysunek 7.



Rys 7. Charakterystyka filtru dolnoprzepustowego 1-szego rzędu