

CHARAKTERYSTYKI CZĘSTOTLIWOŚCIOWE FILTRÓW BIERNYCH

Wiadomości wstępne

W układach liniowych zasilanych napięciem sinusoidalnie zmiennym wartości prądów i napięć zależą nie tylko od wartości napięcia zasilającego i od parametrów elementów, ale również od częstotliwości napięcia zasilającego. Ilustrują to charakterystyki częstotliwościowe, które przedstawiają zależność dowolnej wielkości fizycznej lub parametru układu elektronicznego od częstotliwości. Charakterystyki częstotliwościowe najczęściej rysujemy dla czwórników takich jak filtry czy wzmacniacze.

Istnieją dwie podstawowe charakterystyki częstotliwościowe czwórników:

1. Charakterystyka amplitudowo-częstotliwościowa, zwana również charakterystyką amplitudową lub charakterystyką przenoszenia, przedstawia zależność wzmocnienia napięciowego od częstotliwości.
2. Charakterystyka fazowo-częstotliwościowa, zwana również charakterystyką fazową, przedstawia zależność przesunięcia fazowego wprowadzanego przez czwórnik od częstotliwości.

Wzmocnieniem napięciowym czwórnika nazywamy stosunek skutecznej wartości napięcia wyjściowego do skutecznej wartości napięcia wejściowego (1). Ponieważ wartość skuteczna napięcia zmiennego jest wprost proporcjonalna do amplitudy, to wzmocnienie napięciowe może być policzone również ze stosunku amplitud (2).

$$K_u = \frac{U_{wy}}{U_{we}} \quad (1)$$

$$K_u = \frac{U_{mwy}}{U_{mwe}} \quad (2)$$

Przesunięcie fazowe wprowadzane przez czwórnik jest równe przesunięciu fazowemu napięcia wyjściowego względem napięcia wejściowego, a zarazem różnicy faz początkowych napięcia wyjściowego i wejściowego (3). Dla uproszczenia obliczeń z reguły zakładamy, że faza początkowa napięcia wejściowego jest równa zero, wówczas przesunięcie fazowe jest równe fazie początkowej napięcia wyjściowego (4).

$$\varphi = \varphi_{uwy} - \varphi_{uwe} \quad (3)$$

$$\varphi = \varphi_{uwy} \quad (4)$$

Filtry należą do układów elektronicznych mających właściwości selektywne, czyli przenoszące na wyjście (lub nie) sygnały z pewnego wybranego zakresu częstotliwości, zwanego pasmem przenoszenia.

Pasmem przenoszenia nazywamy zakres częstotliwości, w którym wzmocnienie napięciowe nie maleje więcej niż $1/\sqrt{2}$ razy.

Obliczanie rozbudowanych filtrów LC wymaga stosowania złożonych wzorów matematycznych. Analiza przybliżona takich filtrów polega na wyodrębnieniu zakresu częstotliwości małych (od 0 do $0.1f_d$), średnich (od $10f_d$ do $0.1f_g$) i wysokich (od $10f_g$). Przy uproszczaniu schematów stosuje się następujące zasady:

- w gałęziach szeregowych możemy pomijać elementy o impedancji (reaktancji) małej w stosunku do pozostałych, czyli dla zakresu małych częstotliwości pomijamy cewki, a dla wysokich częstotliwości pomijamy kondensatory;
- w gałęziach równoległych możemy pomijać elementy o impedancji (reaktancji) dużej w stosunku do pozostałych, czyli dla zakresu małych częstotliwości pomijamy kondensatory, a dla wysokich częstotliwości pomijamy cewki;
- szeregowy obwód rezonansowy RLC dla częstotliwości rezonansowej ma impedancję minimalną równą rezystancji, a jego częstotliwość $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$;
- równoległy obwód rezonansowy w rezonansie ma impedancję maksymalną (tzw. impedancja charakterystyczna lub falowa) wyrażoną zależnością $Z_C = \sqrt{\frac{L}{C}}$; częstotliwość rezonansową równoległego obwodu rezonansowego w praktyce obliczmy według takiego samego wzoru jak w przypadku obwodu szeregowego.

Do rysowania charakterystyk częstotliwościowych w programie **PSpice** wykorzystujemy analizę **AC Sweep**. W analizie **AC Sweep** wykorzystujemy źródło **VSRC**, jako generator przebiegu sinusoidalnego o stałej amplitudzie i częstotliwości przestrajanej w granicach zadeklarowanych w parametrach analizy **AC Sweep**. Amplitudę przebiegu ustawimy poprzez przypisanie wartości do atrybutu **AC** źródła **VSRC**. Przy przeprowadzaniu analizy **AC Sweep** kolejność postępowania dla dowolnego układu jest identyczna:

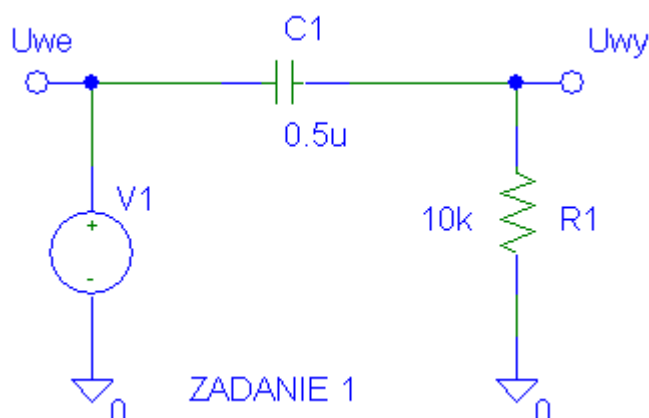
1. Rysujemy schemat i deklarujemy wartości elementów i parametry źródła **VSRC**.
2. Deklarujemy parametry analizy **AC Sweep**.
3. Uruchamiamy symulację.

Zestawienie ustawień analizy **AC Sweep** dla wszystkich zadań zawiera tabela 1.

Tabela 1. Zestawienie parametrów analizy **AC Sweep**.

Nr zadania	AC Sweep Type	Sweep Parameters		
		Pts/Dec	Start Freq.	End Freq.
1	Dec.	101	0.1	100K
2	Dec.	101	0.1	100K
3	Dec.	101	1	1meg
4	Dec.	101	1	100meg
5	Dec.	101	10	100K
6	Dec.	101	10	100K
7	Dec.	101	10	100K
8	Dec.	101	100K	10G

Zadanie 1. Rysowanie charakterystyk filtru CR.

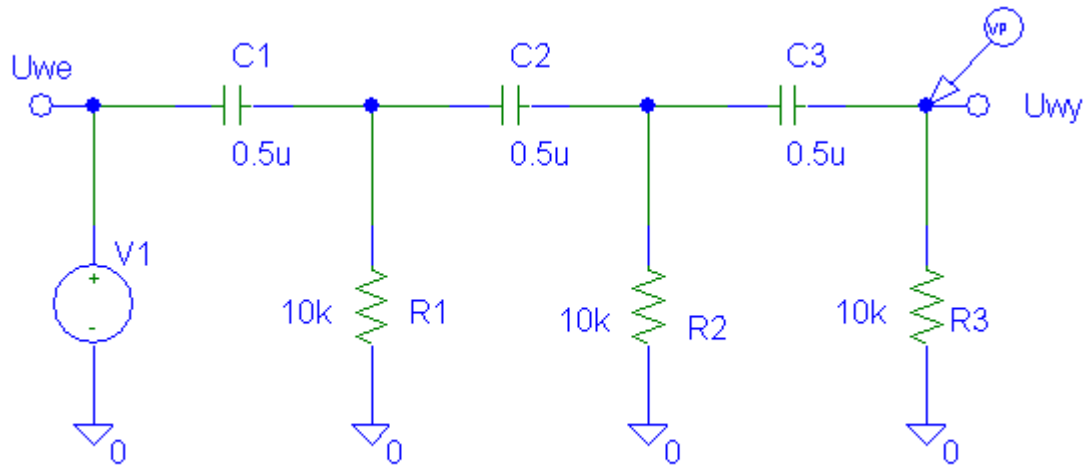


Rys. 1. Filtr CR.

1. Narysować charakterystykę amplitudową ([V/V] oraz [dB]).
2. Narysować charakterystykę fazową.
3. Wyznaczyć dolną częstotliwość graniczną f_d (odczytać z wykresu).
4. Wyznaczyć wzmocnienie napięciowe w zakresie wysokich częstotliwości.
5. Wyznaczyć przesunięcie fazowe w zakresie niskich częstotliwości oraz dla dolnej częstotliwości granicznej.
6. Uzyskać wykres zależności impedancji wejściowej od częstotliwości.
7. Sprawdzić wpływ zmiany wartości elementów na kształt charakterystyk (np. zwiększyć 100 razy rezystancję lub pojemność).

Zadanie 2. Filtr 3xCR.

Filtr zawierający trzy jednakowe ogniwa CR stosowany jest w generatorach RC, wytwarzających napięcie sinusoidalnie zmienne. Filtr znajduje się w obwodzie dodatniego sprzężenia zwrotnego wzmacniacza.

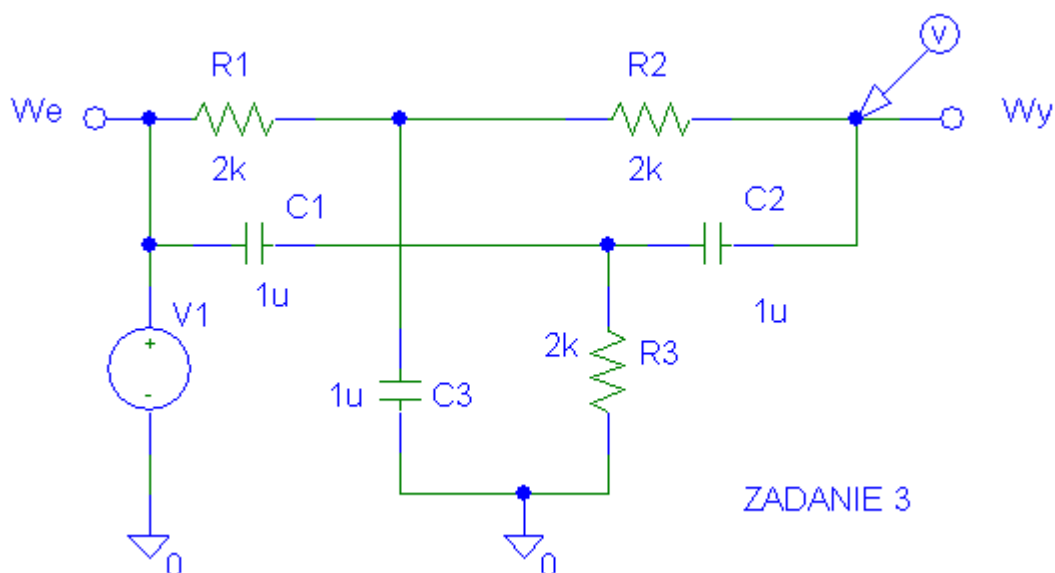


ZADANIE 2

Rys. 2. Filtr 3xCR.

1. Narysować charakterystykę amplitudową ([V/V] oraz [dB]).
2. Narysować charakterystykę fazową.
3. Wyznaczyć dolną częstotliwość graniczną f_d (odczytać z wykresu).
4. Wyznaczyć wzmocnienie napięciowe w zakresie wysokich częstotliwości.
5. Wyznaczyć przesunięcie fazowe w paśmie przenoszenia oraz dla dolnej częstotliwości granicznej.
6. Wykreślić charakterystyki napięcia funkcji częstotliwości dla poszczególnych stopni (na wspólnym wykresie).
7. Wykreślić charakterystyki fazowe dla poszczególnych stopni oraz odczytać wartość przesunięcia dla $f=f_d$.

Zadanie 3. Filtr typu TT.

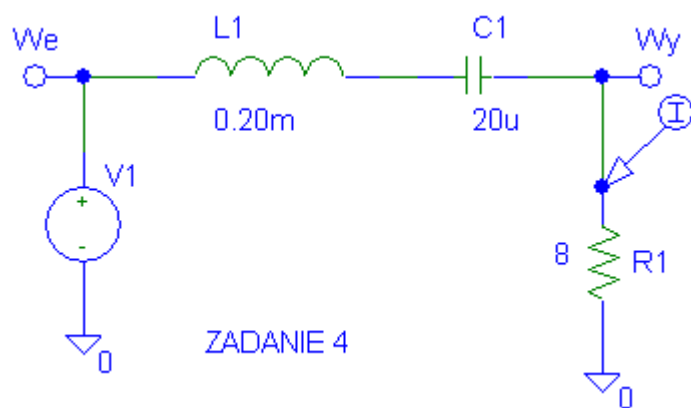


Rys. 3. Filtr TT.

1. Narysować charakterystykę amplitudową ([V/V] oraz [dB]).
2. Narysować charakterystykę fazową.
3. Wyznaczyć pasmo przenoszenia.

Zadanie 4. Filtr głośnikowy.

Filtry głośnikowe stosowane są w zestawach elektroakustycznych. Filtr z rysunku 4 znany jest pod nazwą zwrotnicy.



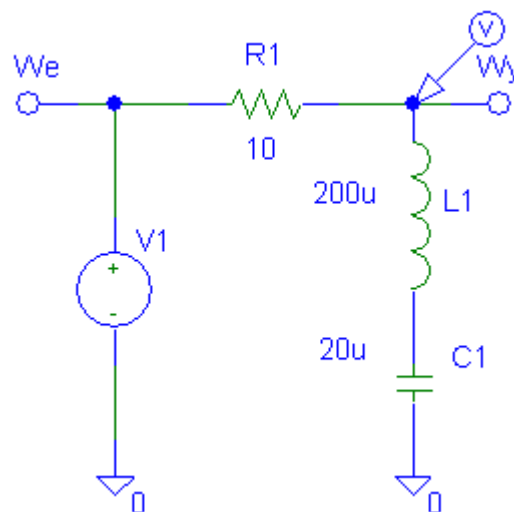
Rys. 4. Filtr głośnikowy.

1. Oblicz częstotliwość rezonansową i porównaj z odczytaną z charakterystyki zależności prądu od częstotliwości.
2. Odczytaj maksymalną wartość prądu i porównaj z obliczeniami.
3. Wykreśl wykres zależności impedancji wejściowej od częstotliwości.

4. Sporządź wykres zależności wzmocnienia napięciowego od częstotliwości w paśmie akustycznym.
5. Sporządź wykres zależności przesunięcia fazowego od częstotliwości w paśmie akustycznym.
6. Rezystancja $R1$ zastępuje rezystancję głośnika. Jakie tony wybiera zwrotnik z rysunku 4?

Zadanie 5. Filtr środkowozaporowy.

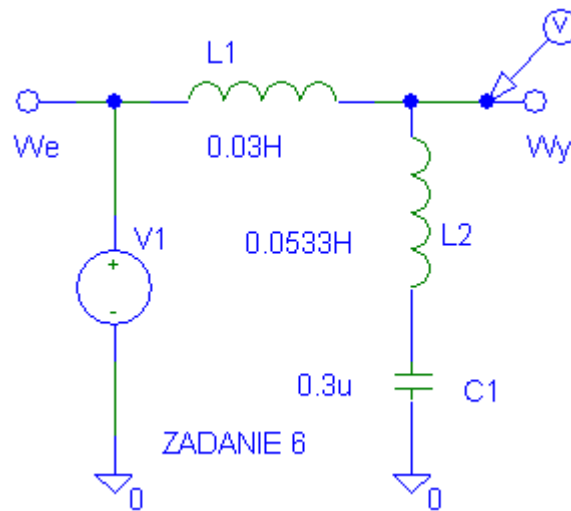
Przykład obejmuje badanie filtra środkowozaporowego, tzw. Pułapki dźwięku, który pozwala na wyeliminowanie z sygnału nieporządanych składowych, np. zakłóceń.



Rys. 5. Filtr środkowozaporowy.

1. Oblicz częstotliwość rezonansową i porównaj z odczytaną z charakterystyki amplitudowo-częstotliwościowej filtru.
2. Wykreśl wykres zależności impedancji wejściowej od częstotliwości.
3. Sporządź wykres zależności wzmocnienia napięciowego od częstotliwości w paśmie akustycznym.
4. Sporządź wykres zależności przesunięcia fazowego od częstotliwości w paśmie akustycznym.

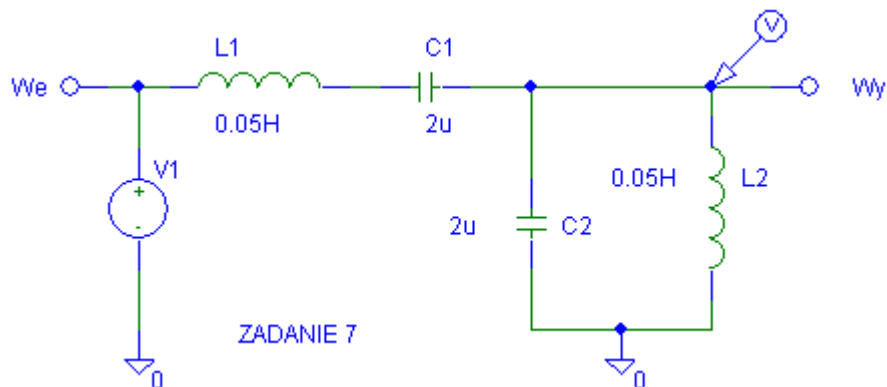
Zadanie 6. Filtr LLC.



Rys. 6. Filtr LLC.

1. Wykreśl charakterystyki amplitudową i fazową filtru.
2. Oblicz częstotliwość rezonansową i porównaj z odczytaną z charakterystyki amplitudowo-częstotliwościowej filtru.
3. Odczytaj maksymalną wartość napięcia wyjściowego.
4. Odczytaj z charakterystyk, w jakim zakresie częstotliwości filtr odwraca fazę sygnału wejściowego.

Zadanie 7. Filtr LCCL.



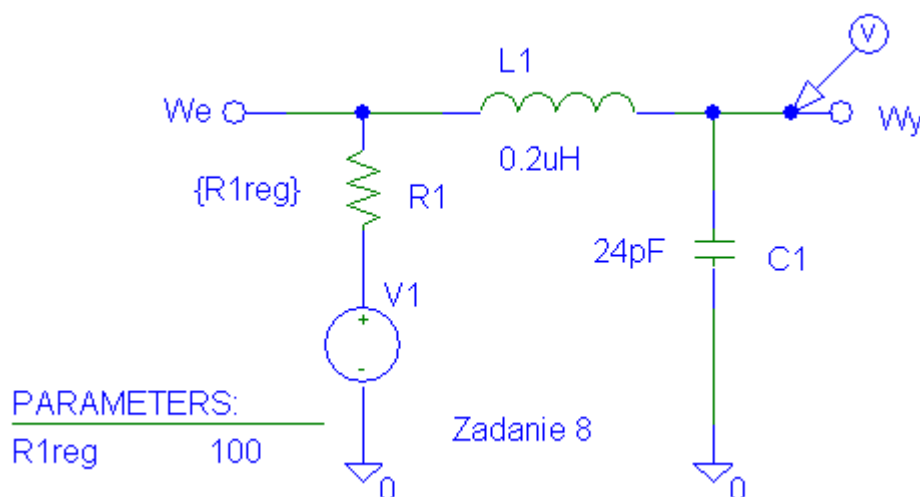
Rys. 7. Filtr LCCL.

1. Wykreśl charakterystyki amplitudową i fazową filtru.
2. Oblicz częstotliwość rezonansową i porównaj z odczytaną z charakterystyki amplitudowo-częstotliwościowej filtru.

3. Odczytaj z charakterystyk, w jakim zakresie częstotliwości filtr odwraca fazę sygnału wejściowego.

Zadanie 8. Wpływ rezystancji źródła.

Zbadać wpływ rezystancji wewnętrznej źródła (reprezentowanej przez R1) na kształt charakterystyk częstotliwościowych filtra.



Rys. 8. Filtr LC – wpływ rezystancji źródła.

1. Zadeklaruj zmienną skokową R1: 0.1, 1, 10, 100, 1000.
2. Wykreśl charakterystyki amplitudową i fazową filtra.
3. Oblicz częstotliwość rezonansową i porównaj z odczytaną z charakterystyki amplitudowo-częstotliwościowej filtra.
4. Odczytaj maksymalną wartość napięcia wyjściowego.