

Politechnika Wrocławska

Katedra Teorii Pola, Układów Elektronicznych i
Optoelektroniki

Zespół Układów Elektronicznych

LABORATORIUM UKŁADÓW ELEKTRONICZNYCH

Data: 22.03.2021	Dzień: Poniedziałek		
Grupa: E12-93I	Godzina: 13:15-15:30		
TEMAT ĆWICZENIA: Filtry aktywne – filtr środkowoprzepustowy			
DANE PROJEKTOWE: Częstotliwość środkowa $f_0 = 1,5$ [kHz] Dobroć $Q = 8$ Wzmocnienie dla częstotliwości f_0 : $K_U(f_0) = -4$ [V/V]			
Lp.	Nazwisko i Imię	Oceny	
1.	Kuboń Piotr 252871		

1. Część praktyczna

1.1. Dane projektowe

Częstotliwość środkowa $f_0 = 5$ [kHz]

Dobroć $Q = 7$

Wzmocnienie dla częstotliwości f_0 : $K_U(f_0) = -3$ [V/V]

1.1.1. Założenia:

$$C_2 = C_4 = 10 \text{ nF}$$

$$R_3 = \frac{Q}{\pi * f_{sr} * C} = \frac{7}{3,14 * 50 * 10^{-6}} = 44,59 * 10^3$$

Przyjmujemy wartość rezystancji rezystora $R_3 = 43 \text{ k}\Omega$ zgodnie z szeregiem E24

Aby zminimalizować błąd nierównoważenia przyjmujemy $R_5 = R_3 = 43 \text{ k}\Omega$

$$K_U = \frac{R_3}{2 |R_1|} \text{ zatem } R_1 = \frac{R_3}{2 |K_U|} = \frac{43000}{2 * 3} = 7167$$

Przyjmujemy wartość rezystancji rezystora $R_1 = 7,5 \text{ k}\Omega$ zgodnie z szeregiem E24

$$R_6 = \frac{Q}{2\pi * f_{sr} * C * (2 * Q^2 - |K_U|)}$$

Przyjmujemy wartość rezystancji rezystora $R_6 = 240 \Omega$ zgodnie z szeregiem E24

1.1.2. Pomiar wartości elementów układu:

$$R_3 = 42,294 \text{ k}\Omega$$

$$R_5 = 42,002 \text{ k}\Omega$$

$$R_1 = 7,394 \text{ k}\Omega$$

$$R_6 = 243,07 \Omega$$

$$C_2 = 9,57 \text{ nF}$$

$$C_4 = 9,941 \text{ nF}$$

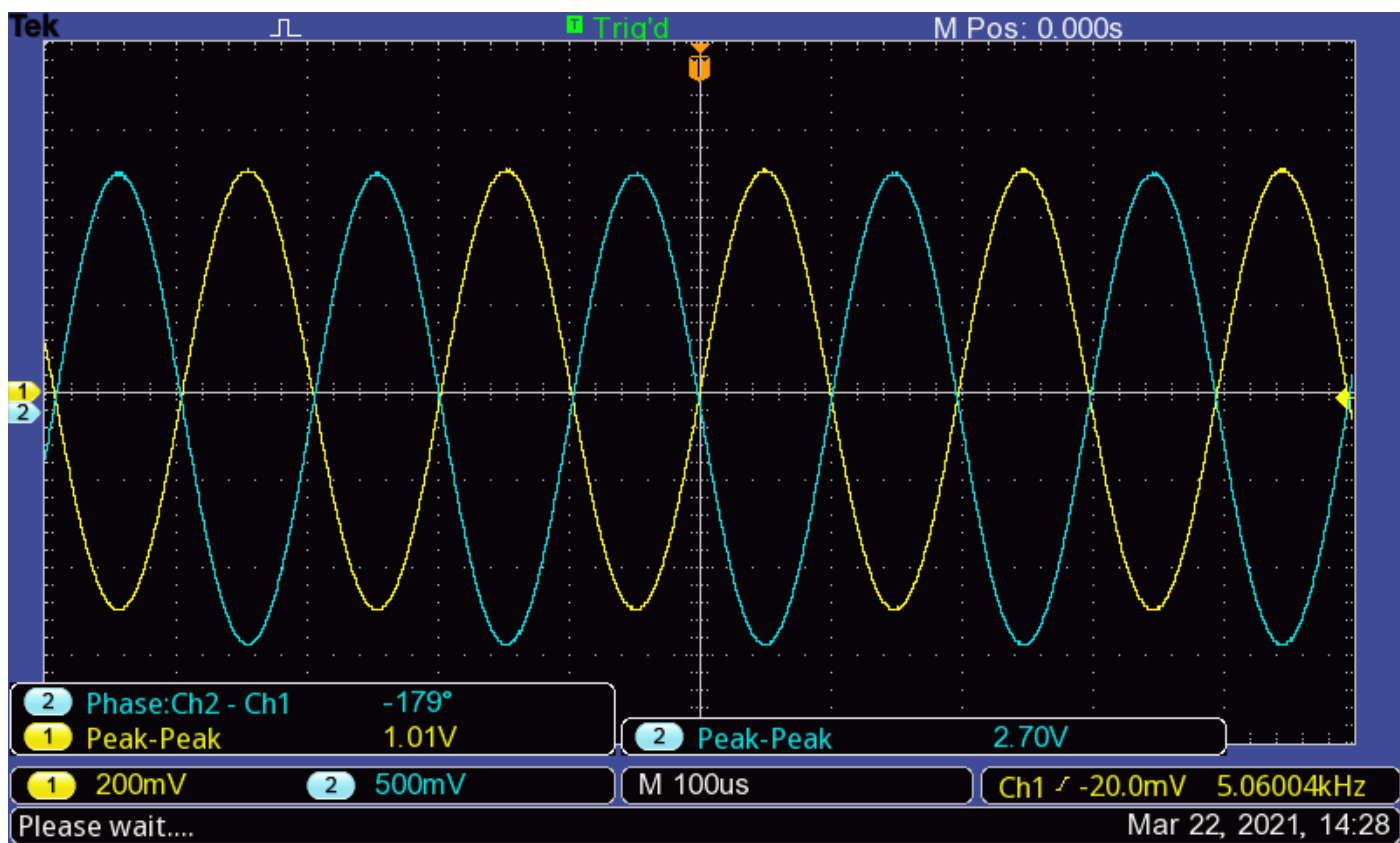
1.1.3. Wyznaczamy na podstawie pomiarów:

$$f_{sr} = \frac{1}{2\pi C} \sqrt{\frac{R_1 + R_6}{R_1 R_3 R_6}} = \frac{1}{2 * 3,14 * 10 * 10^{-9}} \sqrt{\frac{7394 + 243}{7394 * 42294 * 243}} = 5048,002 \text{ Hz}$$

$$Q = R_3 * \pi * f_{sr} * C = 42294 * 3,14 * 5048 * 10 * 10^{-9} = 6,704$$

1.2. Przebieg pomiarów dla filtra środkowoprzepustowego

1.2.1. Pomiar częstotliwości średniej



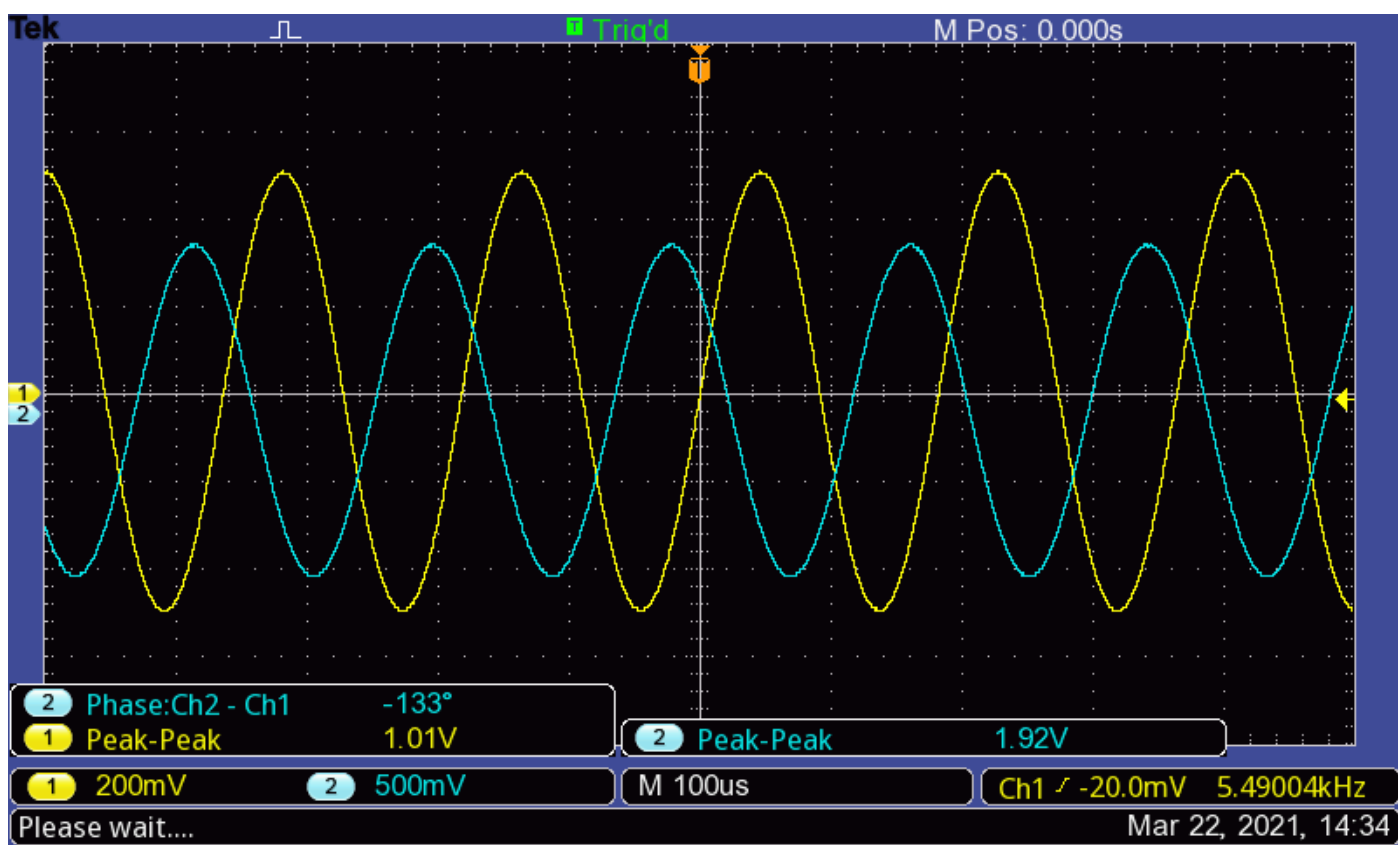
Rys 1: Wykres wykorzystany do odczytu częstotliwości średniej

W celu wyznaczenia częstotliwości średniej podajemy na wejście filtra sygnał sinusoidalny, o znanych parametrach, w naszym przypadku jest to napięcie międzyszczytowe równe 1V i częstotliwość początkowa równa 1kHz. Następnie zwiększamy częstotliwość sygnału obserwując przesunięcie fazowe sygnału wyjściowego. Wiedząc, że badamy filtr stopnia drugiego, na wyjściu dążymy do uzyskania przesunięcia o kąt 180 stopni.

Odczytujemy wartość częstotliwości średniej filtra, która wynosi 5060 Hz.

Dla zadanej częstotliwości wzmocnienie filtra jest największe i wynosi 2,7 V/V, co odpowiada uzyskaniu na wyjściu napięcia równego 2,70V.

1.2.2. Pomiar częstotliwości granicznej dolnej i górnej



Rys 2: Wykres wykorzystany do odczytu częstotliwości granicznej górnej

W celu wyznaczenie częstotliwości granicznej górnej i dolnej należy obliczyć wartość napięcia dla którego wzmacnienie spadnie o 3dB. Spadek ten odpowiada spadkowi wartości napięcia wyjściowego do 0,707 jego wartości maksymalnej.

$$2,70 * 0,707 = 1,91V$$

W celu wyznaczenia wartości częstotliwości granicznej górnej, zadajemy na wejście układu sygnał o częstotliwości średniej. Następnie zwiększamy częstotliwość, aż do uzyskania na wyjściu obliczonej wartości napięcia. Odczytujemy wartość częstotliwości granicznej górnej, która wynosi 5490 Hz.

W celu wyznaczenia wartości częstotliwości granicznej dolnej, zadajemy na wejście układu sygnał o częstotliwości średniej. Następnie zmniejszamy częstotliwość, aż do uzyskania na wyjściu obliczonej wartości napięcia. Odczytujemy wartość częstotliwości granicznej dolnej, która wynosi 4670 Hz.

Następnie dla podanych częstotliwości możemy obliczyć dobroć, korzystając ze wzoru:

$$Q = \frac{f_{sr}}{f_{gg} - f_{fd}} = \frac{5060}{5490 - 4670} = 6,17$$

1.2.3. Pomiar charakterystyk częstotliwościowych

1.2.3.1. Tabela pomiarowa

f [Hz]	U_{we} [V]	U_{wy} [V]	K_U [V/V]	K_U [dB]	ϕ [deg]
10	20,2	0,0182	0,000901	-60,9055996	90
20	20,2	0,036	0,0017822	-54,9809774	90
30	20,2	0,054	0,0026733	-51,4591522	90
50	20,2	0,0888	0,004396	-47,1387681	90
70	20,2	0,122	0,0060396	-44,3798308	91
100	20,2	0,17	0,0084158	-41,498049	89
200	20,2	0,34	0,0168317	-35,477449	90
300	20,2	0,516	0,0255446	-31,8540334	90
500	20,2	0,852	0,0421782	-27,4982355	90
700	20,2	1,22	0,060396	-24,3798308	90
1000	20,2	1,75	0,0866337	-21,2462664	93,2
2000	20,2	4,04	0,2	-13,9794001	96
2500	1,01	0,28	0,2772277	-11,1432668	97,5
2750	1,01	0,33	0,3267327	-9,71614868	96
3000	1,01	0,39	0,3861386	-8,26513534	98
3250	1,01	0,464	0,4594059	-6,75606786	99
3500	1,01	0,556	0,550495	-5,18493164	103
3750	1,01	0,684	0,6772277	-3,38530544	106
4000	1,01	0,852	0,8435644	-1,47763558	110
4250	1,01	1,12	1,1089109	0,897932978	116
4500	1,01	1,5	1,4851485	3,435397705	123
4750	1,01	2,12	2,0990099	6,440289743	140
5000	1,01	2,66	2,6336634	8,411205257	171
5060	1,01	2,7	2,6732673	8,540847808	179
5250	1,01	2,46	2,4356436	7,732274666	-153
5500	1,01	1,88	1,8613861	5,39672951	-132
5750	1,01	1,46	1,4455446	3,20062964	-123
6000	1,01	1,16	1,1485149	1,202732309	-117
6250	1,01	0,98	0,970297	-0,26190596	-113
6500	1,01	0,816	0,8079208	-1,8526243	-107
6750	1,01	0,72	0,7128713	-2,93977755	-104
7000	1,01	0,65	0,6435644	-3,82816034	-100
7250	1,01	0,576	0,570297	-4,87797781	-101
7500	1,01	0,528	0,5227723	-5,63374902	-100
10000	1,01	0,292	0,2891089	-10,7787704	-97,2
20000	1,01	0,118	0,1168317	-18,6487873	-90
30000	1,01	0,0768	0,0760396	-22,3792031	-88
50000	1,01	0,0464	0,0459406	-26,7560679	-88
70000	10	0,342	0,0342	-29,3194779	-84
100000	10	0,258	0,0258	-31,7676059	-80

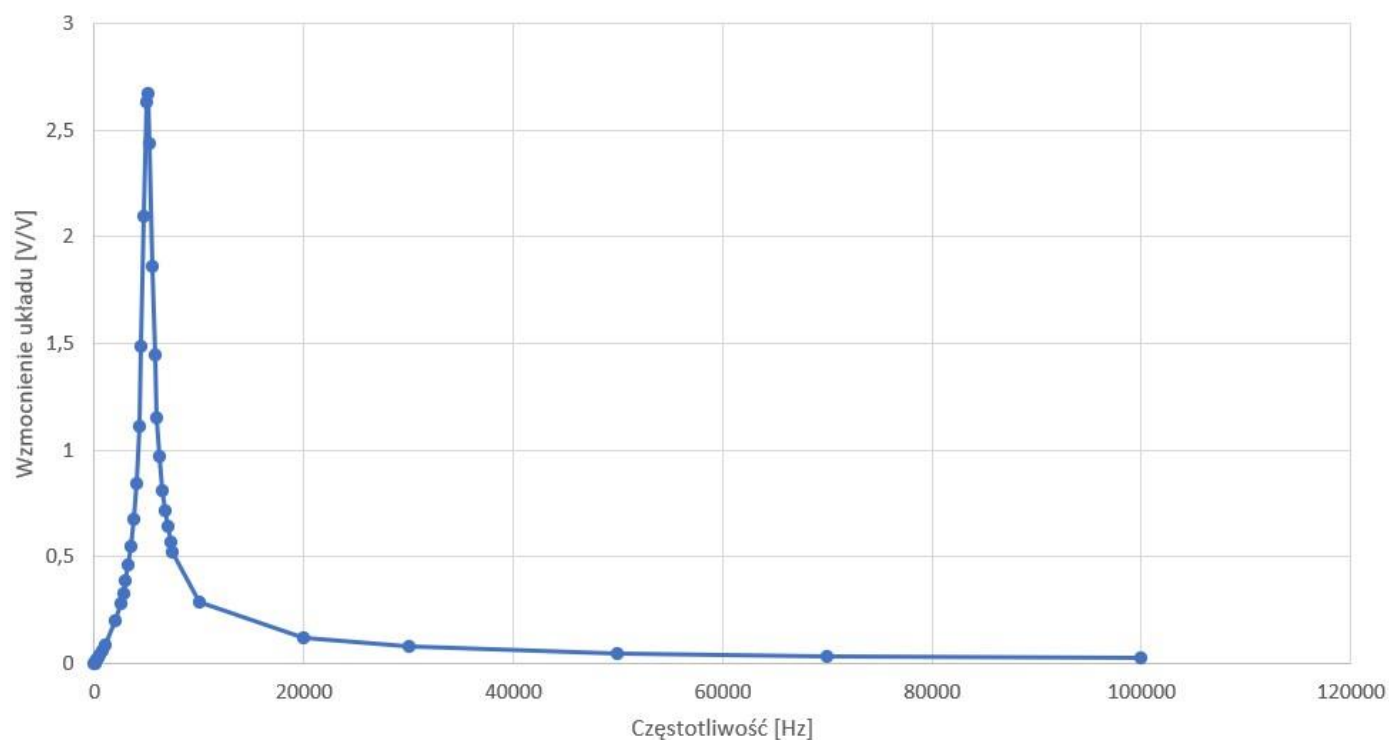
Wzmocnienie wyliczamy na podstawie wzorów:

$$K_U = \frac{U_{we}}{U_{wy}} \left[\frac{V}{V} \right]$$

$$K_U = 20 * \log_{10} \left(\frac{U_{we}}{U_{wy}} \right) [dB]$$

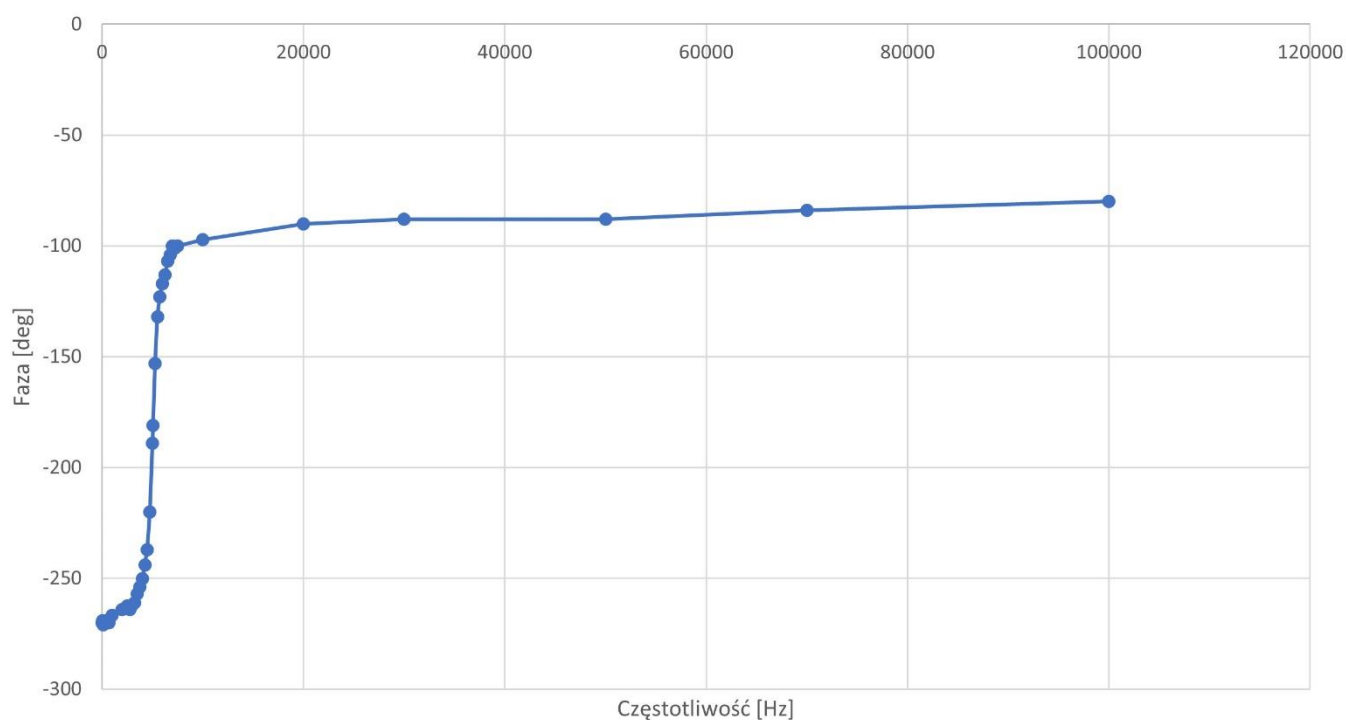
1.2.3.2. Charakterystyka amplitudowa i fazowa z czasem liniowym

Charakterystyka amplitudowa



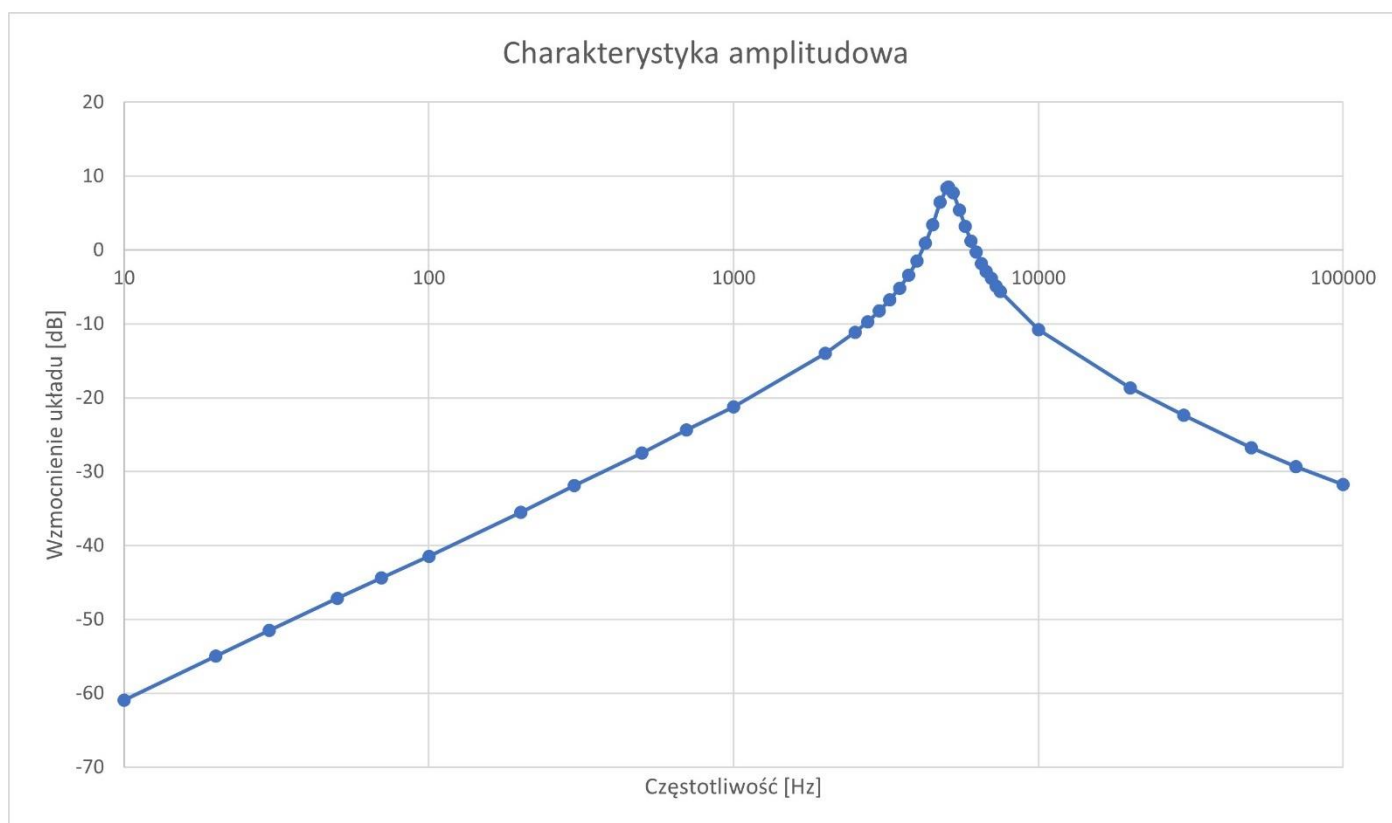
Rys 3: Charakterystyka amplitudowa wykreślona na podstawie tabeli

Charakterystyka fazowa

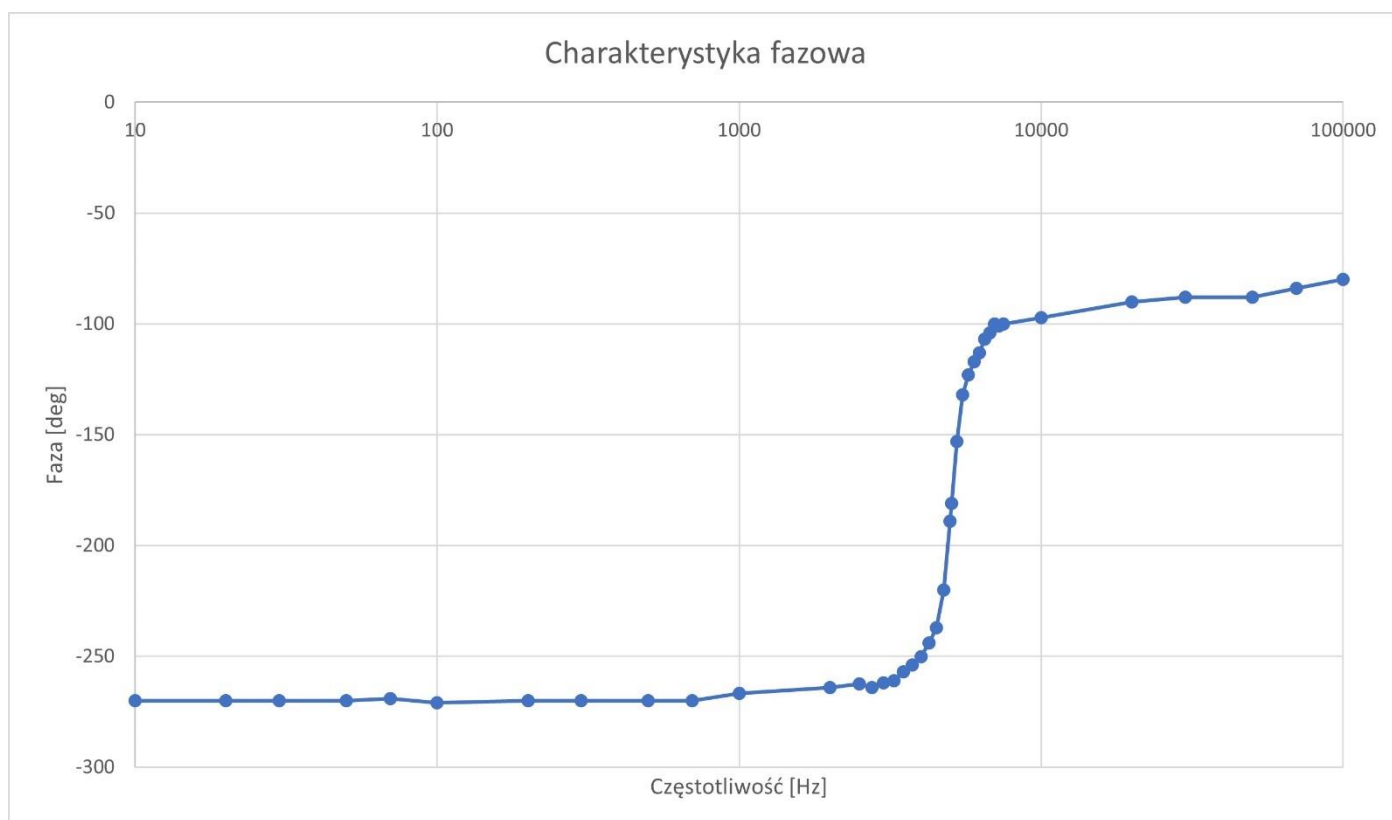


Rys 4: Charakterystyka fazowa wykreślona na podstawie tabeli

1.2.3.3. Charakterystyka amplitudowa i fazowa z czasem logarytmicznym

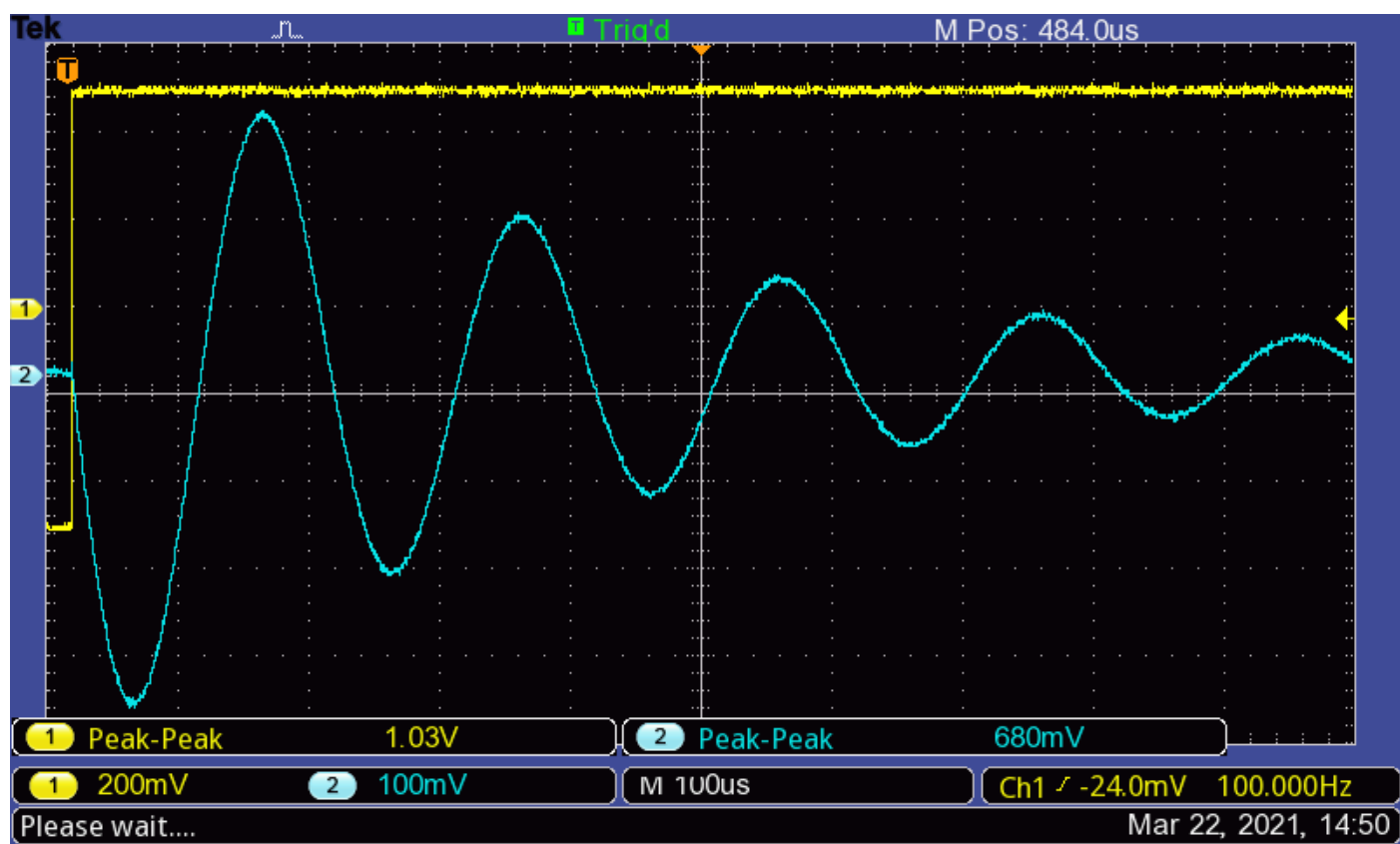


Rys 5: Charakterystyka amplitudowa wykreślona na podstawie tabeli



Rys 6: Charakterystyka fazowa wykreślona na podstawie tabeli

1.2.4. Pomiar odpowiedzi impulsowej układu



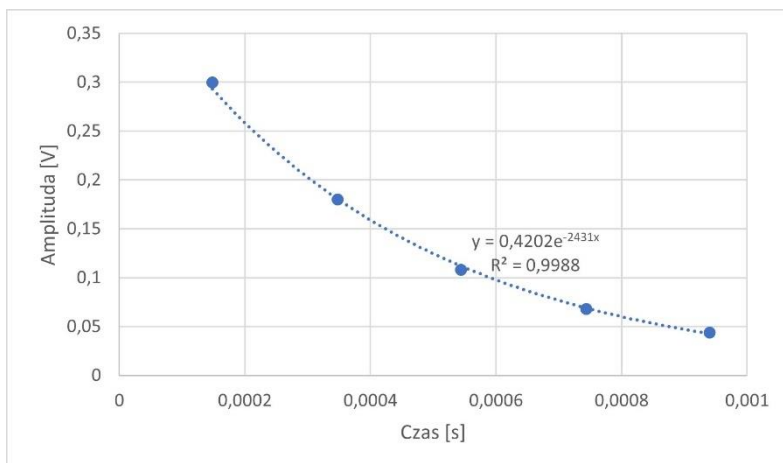
Rys 7: Wykres wykorzystany do pomiaru odpowiedzi impulsowej układu

W celu wyznaczenie odpowiedzi impulsowej układu, układ będziemy pobudzać sygnałem prostokątnym o amplitudzie 1V i częstotliwości 100Hz. Częstotliwość została dobrana tak, aby sygnał wyjściowy wytłumił się przed podaniem kolejnego impulsu.

Z wykresu odczytujemy wartości napięcia i czasu dla pięciu kolejnych szczytów:

Lp.	Czas [ms]	Amplituda [V]	Δt [ms]	$1/\Delta t$ [Hz]
1	0,148	0,300	-	-
2	0,348	0,180	0,200	5000
3	0,544	0,108	0,196	5100
4	0,744	0,068	0,200	5000
5	0,940	0,044	0,196	5100

W celu wyznaczenia parametru τ należy zaproksymować funkcję eksponentialną przechodzącą przez zmierzone punkty:



Rys 8: Wykres funkcji eksponentialnej łączącej zmierzone punkty

$$f(x) = A * e^{-t\tau}$$

Szukany parametr τ wynosi zatem 2431.

Na podstawie powyższych danych możemy oszacować częstotliwość środkową oraz dobroć:

$$\Delta t_{sr} = \frac{\Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3 + \Delta t_4}{4} = 0,198 \text{ ms}$$

$$f_{sr} = \frac{1}{\Delta t_{sr}} = \frac{1}{0,198 * 10^{-3}} = 5050 \text{ Hz}$$

$$Q = \frac{\pi * f_{sr}}{\tau} = \frac{3,14 * 5050}{2431} = 6,523$$

2. Część symulacyjna

2.1. Dane projektowe

Częstotliwość środkowa $f_0 = 1.5$ [kHz]

Dobroć $Q = 8$

Wzmocnienie dla częstotliwości f_0 : $K_U(f_0) = -4$ [V/V]

2.2. Obliczenia:

$$C_2 = C_4 = 10nF$$

$$R_3 = \frac{Q}{\pi * f_{sr} * C} = \frac{8}{3,14 * 1500 * 10 * 10^{-9}} = 169,85 * 10^3$$

Przyjmujemy wartość rezystancji rezystora $R_3 = 160 k\Omega$ zgodnie z szeregiem E24

Aby zminimalizować błąd nierównoważenia przyjmujemy $R_5 = R_3 = 160 k\Omega$

$$K_U = \frac{R_3}{2 |R_1|} \text{ zatem } R_1 = \frac{R_3}{2 |K_U|} = \frac{160000}{2 * 4} = 20000$$

Przyjmujemy wartość rezystancji rezystora $R_1 = 20 k\Omega$ zgodnie z szeregiem E24

$$R_6 = \frac{Q}{2\pi * f_{sr} * C * (2 * Q^2 - |K_U|)}$$

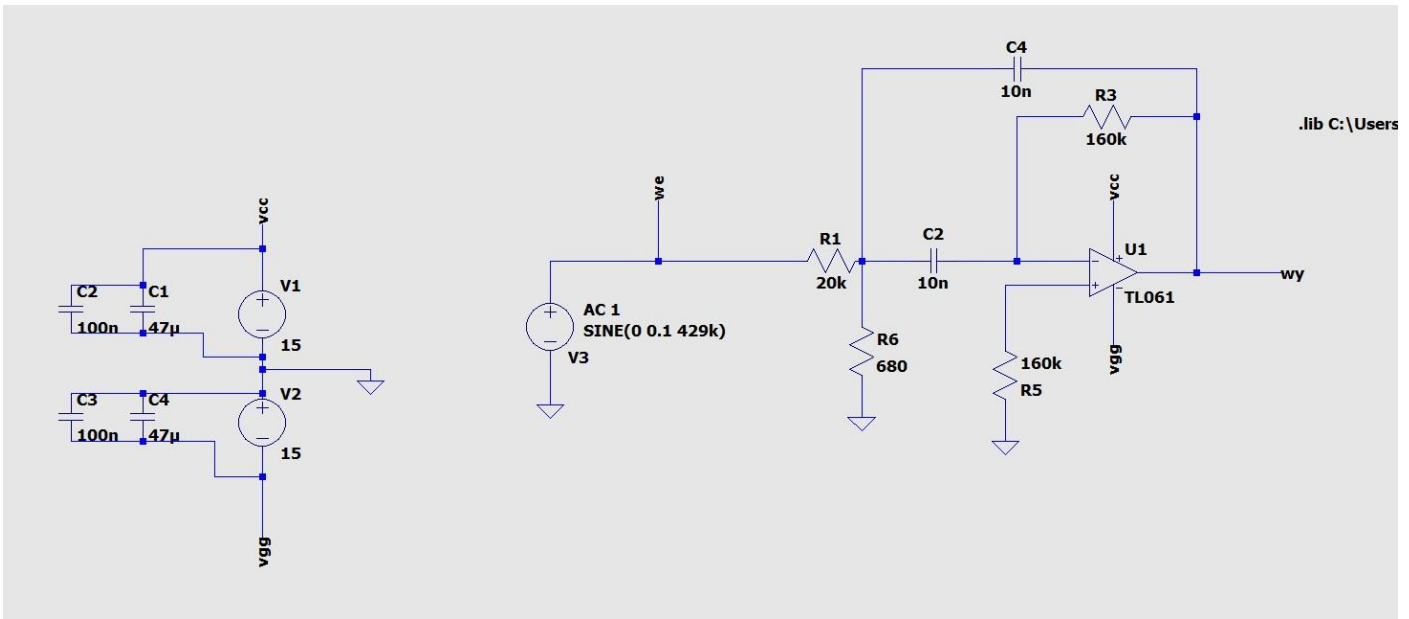
Przyjmujemy wartość rezystancji rezystora $R_6 = 680 \Omega$ zgodnie z szeregiem E24

2.2.1. Wyznaczamy na podstawie przyjętych elementów:

$$f_{sr} = \frac{1}{2\pi C} \sqrt{\frac{R_1 + R_6}{R_1 R_3 R_6}} = \frac{1}{2 * 3,14 * 10 * 10^{-9}} \sqrt{\frac{20000 + 680}{20000 * 160000 * 680}} = 1552,34 \text{ Hz}$$

$$Q = R_3 * \pi * f_{sr} * C = 160000 * 3,14 * 1552 * 10 * 10^{-9} = 7,8$$

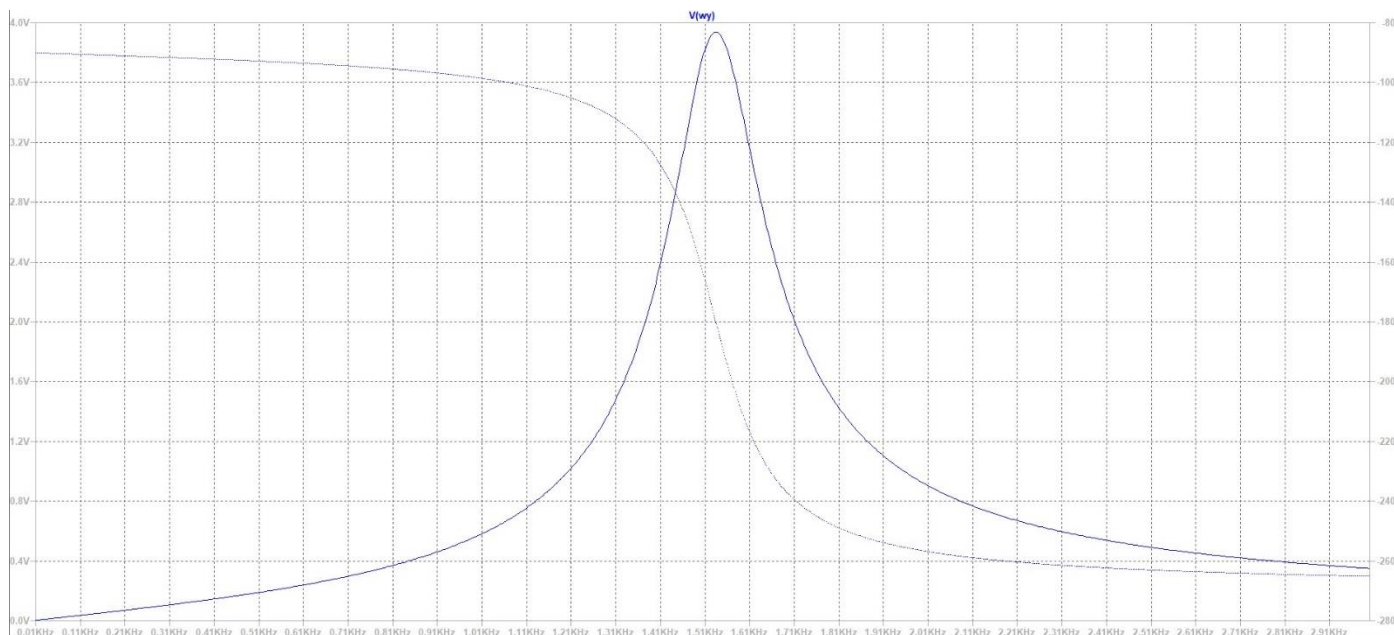
2.3. Schemat symulowanego układu



Rys 9: Schemat LTSpice filtru środkowoprzepustowego

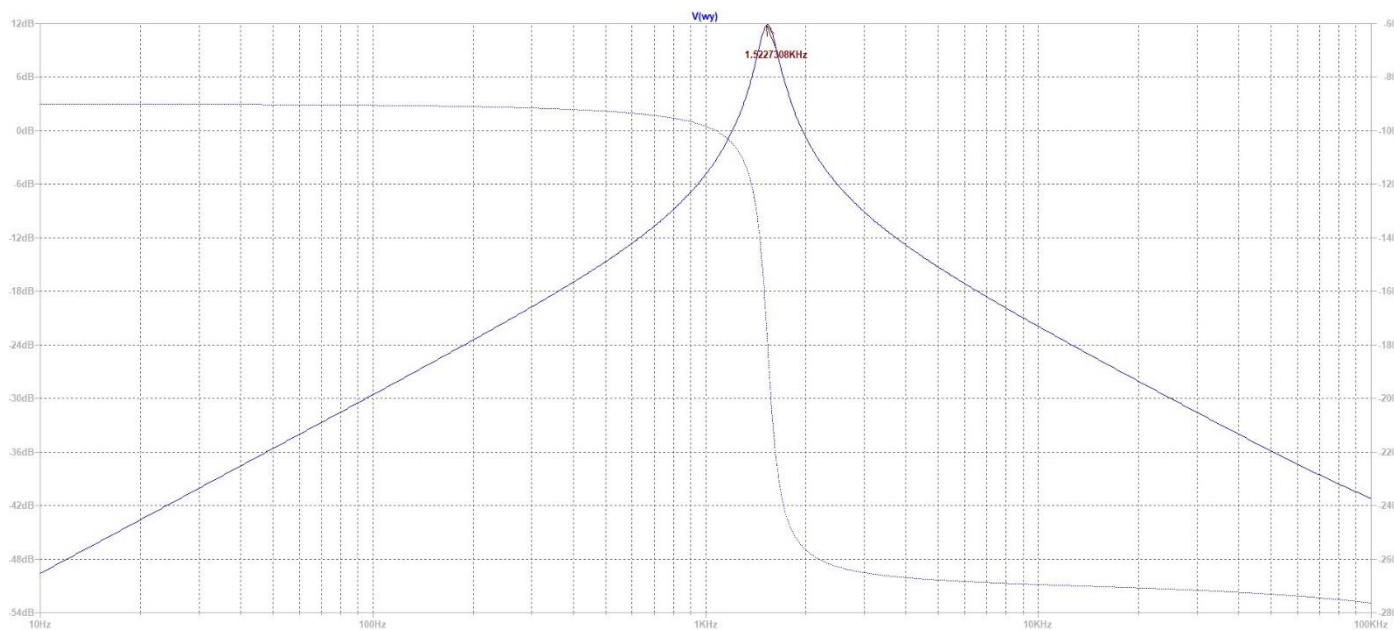
2.4. Przebieg pomiarów dla filtra środkowoprzepustowego

2.4.1. Charakterystyka amplitudowa i fazowa z czasem liniowym



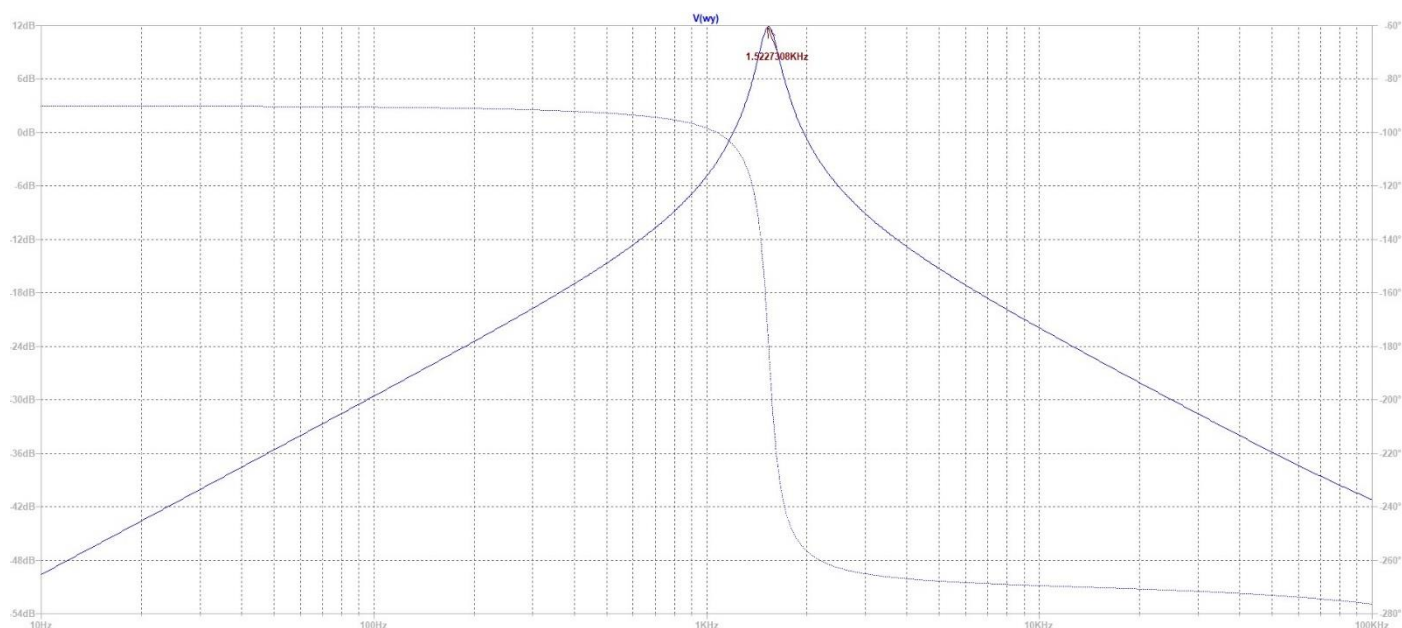
Rys 10: Charakterystyka amplitudowa i fazowa z czasem liniowym dla filtra dolnoprzepustowego. Wzmocnienie w [V/V]

2.4.2. Charakterystyka amplitudowa i fazowa z czasem logarytmicznym



Rys 11: Charakterystyka amplitudowa i fazowa z czasem logarytmicznym dla filtra dolnoprzepustowego. Wzmocnienie w [dB]

2.4.3. Pomiar częstotliwości średniej



Rys 12: Wykres wykorzystany do odczytu częstotliwości średniej

W celu wyznaczenia częstotliwości średniej podajemy na wejście filtra sygnał sinusoidalny, o znanych parametrach. Następnie na podstawie wygenerowanej charakterystyki amplitudowej odczytujemy przy jakiej częstotliwości następuje maksymalne wzmocnienie.

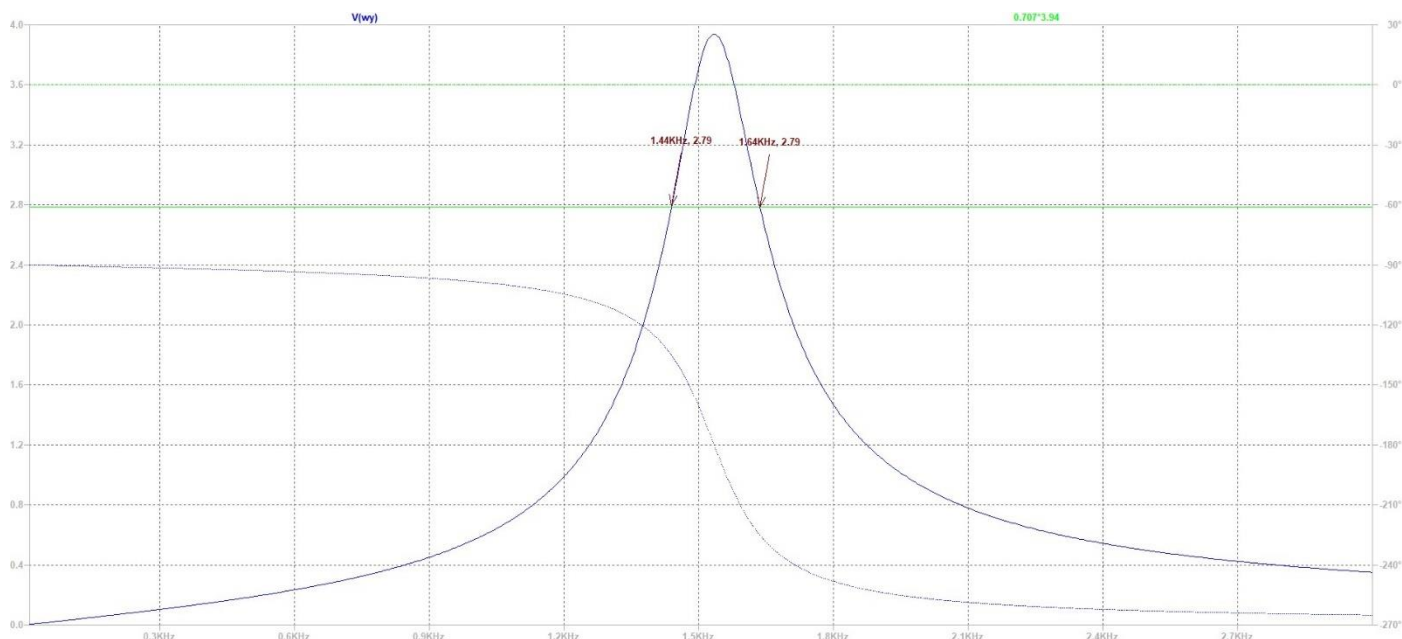
Odczytana częstotliwość jest naszą częstotliwością środkową i wynosi 1522 Hz

Wzmocnienie natomiast $K_U = 11,9 [dB]$, co można zapisać jako $K_U = 3,94 [V/V]$

$$K_{UV} = \frac{U_{wy}}{U_{we}} \quad K_{UL} = 20 \log \left(\frac{U_{wy}}{U_{we}} \right)$$

$$K_{UV} = 10^{\left(\frac{K_{UL}}{20}\right)} = 10^{\left(\frac{11,9}{20}\right)} = 3,94 [V/V]$$

2.4.4. Pomiar częstotliwości granicznej dolnej i górnej



Rys 13: Wykres wykorzystany do odczytu częstotliwości granicznej górnej i dolnej

W celu wyznaczenie częstotliwości granicznej górnej i dolnej należy obliczyć wartość napięcia dla którego wzmacnienie spadnie o 3dB. Spadek ten odpowiada spadkowi wartości napięcia wyjściowego do 0,707 jego wartości maksymalnej.

$$3,94 * 0,707 = 2,79V$$

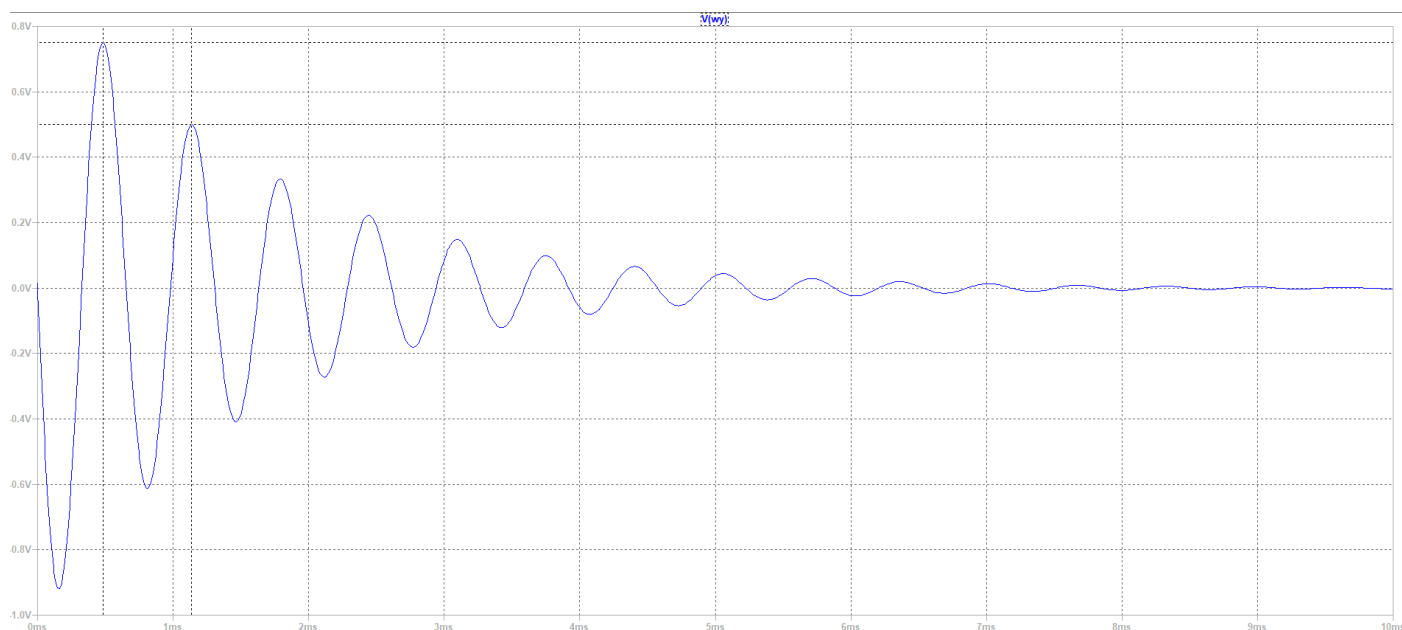
W celu wyznaczenia wartości częstotliwości granicznej górnej, umieszczamy kursor na obliczonej wartości i odczytujemy wartość częstotliwości większej od wartości częstotliwości średniej. Odczytana wartość częstotliwości stanowi wartość częstotliwości granicznej górnej, która wynosi 1640 Hz.

W celu wyznaczenia wartości częstotliwości granicznej dolnej, umieszczamy kursor na obliczonej wartości i odczytujemy wartość częstotliwości mniejszej od wartości częstotliwości średniej. Odczytana wartość częstotliwości stanowi wartość częstotliwości granicznej dolnej, która wynosi 1440 Hz.

Następnie dla podanych częstotliwości możemy obliczyć dobroć, korzystając ze wzoru:

$$Q = \frac{f_{sr}}{f_{gg} - f_{fd}} = \frac{1522}{1640 - 1440} = 7,61$$

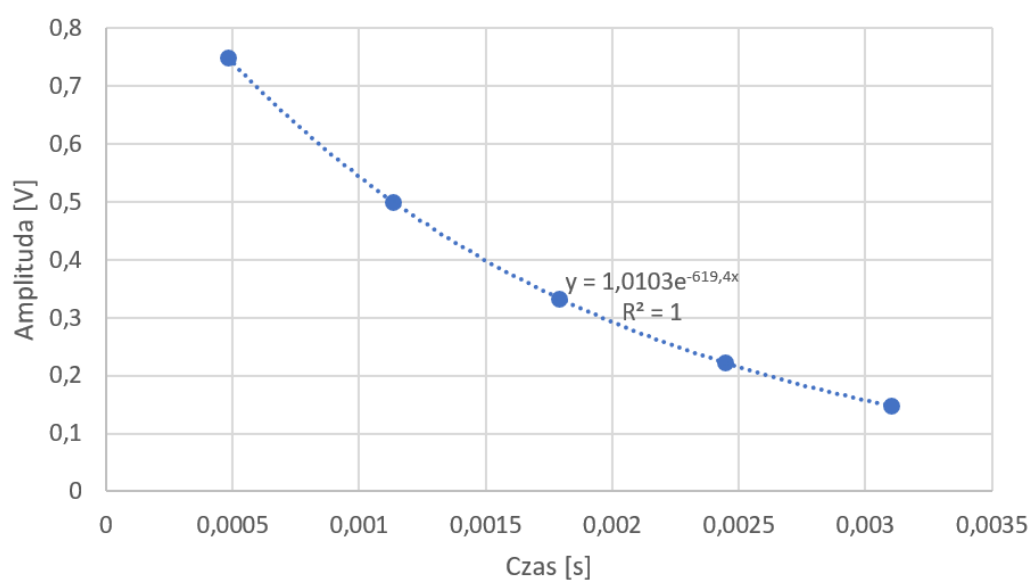
2.4.5. Pomiar odpowiedzi impulsowej układu



Rys 14: Wykres odpowiedzi impulsowej układu

Na podstawie wykresu odpowiedzi impulsowej układu możemy dokonać pomiarów pięciu kolejnych amplitud dodatnich, oraz czasu między nimi.

L.p.	Czas [s]	Amplituda [V]	Δt [s]	$1/\Delta t$ [Hz]
1	0,000483	0,7498	-	-
2	0,001135	0,5	0,000652	1533,74
3	0,001787	0,333	0,000652	1533,74
4	0,002444	0,223	0,000657	1522,07
5	0,0031	0,148	0,000656	1524,39



Rys 15: Wykres funkcji eksponentialnej łączącej zmierzone punkty

Szukany parametr τ wynosi zatem 619.

Na podstawie powyższych danych możemy oszacować częstotliwość środkową oraz dobroć:

$$\Delta t_{sr} = \frac{\Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3 + \Delta t_4}{4} = 0,654 \text{ ms}$$

$$f_{sr} = \frac{1}{\Delta t_{sr}} = \frac{1}{0,198 * 10^{-3}} = 1528 \text{ Hz}$$

$$Q = \frac{\pi * f_{sr}}{\tau} = \frac{3,14 * 1528}{619} = 7,75$$

3. Wnioski

3.1. Porównać otrzymane parametry filtru z założeniami projektowymi

- Część praktyczna:
 - Otrzymana dobroć różni się nieznacznie od wartości założonej, jest to spowodowane między innymi niedokładnościami modelu, jak również użyciem elementów o wartościach zbliżonych, zamiast dokładnie takich jakie zostały wyliczone. Istotnym czynnikiem powodującym różnicę pomiędzy wartością uzyskaną, a założoną, jest niedokładność wykonania elementu rzeczywistego, powodująca powstanie różnicy między wartością deklarowaną a faktyczną.
 - Otrzymana częstotliwość środkowa różni się nieznacznie od wartości założonej, jest to spowodowane między innymi niedokładnościami modelu, jak również użyciem elementów o wartościach zbliżonych, zamiast dokładnie takich jakie zostały wyliczone. Istotnym czynnikiem powodującym różnicę pomiędzy wartością uzyskaną, a założoną, jest niedokładność wykonania elementu rzeczywistego, powodująca powstanie różnicy między wartością deklarowaną a faktyczną.
 - Otrzymane wzmocnienie różni się nieznacznie od wartości założonej, jest to spowodowane między innymi niedokładnościami modelu, jak również użyciem elementów o wartościach zbliżonych, zamiast dokładnie takich jakie zostały wyliczone. Istotnym czynnikiem powodującym różnicę pomiędzy wartością uzyskaną, a założoną, jest niedokładność wykonania elementu rzeczywistego, powodująca powstanie różnicy między wartością deklarowaną a faktyczną.
- Część symulacyjna
 - Otrzymana dobroć różni się nieznacznie od wartości założonej, jest to spowodowane między innymi niedokładnościami modelu, jak również użyciem elementów o wartościach zbliżonych, zamiast dokładnie takich jakie zostały wyliczone
 - Otrzymana częstotliwość środkowa różni się nieznacznie od wartości założonej, jest to spowodowane między innymi niedokładnościami modelu, jak również użyciem elementów o wartościach zbliżonych, zamiast dokładnie takich jakie zostały wyliczone
 - Otrzymane wzmocnienie różni się nieznacznie od wartości założonej, jest to spowodowane między innymi niedokładnościami modelu, jak również użyciem elementów o wartościach zbliżonych, zamiast dokładnie takich jakie zostały wyliczone

3.2. Pasmo przepustowe - zakres częstotliwości, w którym tłumienie sygnału jest nie większe niż 3 dB

- Część praktyczna: od 4670 Hz do 5490 Hz
- Część symulacyjna: od 1440 Hz do 1640 Hz

3.3. Opisać parametry odpowiedzi impulsowej filtru

Odpowiedź impulsowa filtru w dziedzinie częstotliwości nazywana jest transmitancją. Opisuje ona sposób modyfikacji sygnału wejściowego. Istotnym parametrem powodującym zmianę odpowiedzi impulsowej jest dobroć filtru, im ona większa, tym dłużej odpowiedź filtru jest tłumiona.

- Część praktyczna:
 - W wyniku przeprowadzenia analizy sygnału uzyskanego pobudzeniem prostokątnym, uzyskano parametr τ , który wynosi 2431
- Część symulacyjna
 - W wyniku przeprowadzenia analizy sygnału uzyskanego pobudzeniem prostokątnym, uzyskano parametr τ , który wynosi 619