

Filtry pasywne I i II rzędu			
Julita Wójcik Jakub Szczypek	30 III 2022	Środa, 08.00	5A

## 1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia było zapoznanie się z filtrami dolno i górnoprzepustowymi typu RC I i II rzędu poprzez dokonanie pomiarów charakterystyk amplitudowo-częstotliwościowych każdego z filtrów i porównanie ich z krzywiznami wyznaczonymi na podstawie ich transmitancji.

## 2. Przebieg ćwiczenia

### 2.1. Przygotowanie stanowiska do zajęć

Zestawiono układ pomiarowy, w którym na wejście filtra podawany był sygnał z generatora funkcyjnego. Ten kanał generatora był również połączony z pierwszym kanałem oscyloskopu (z wykorzystaniem trójnika BNC). Do drugiego kanału oscyloskopu podłączono wyjście filtra. Ustawiono parametry sygnału sinusoidalny na generatorze funkcyjnym ( $V_{pp}, f, offset$ )

### 2.2. Filtr dolnoprzepustowy I rzędu

Podczas ćwiczenia laboratoryjnego korzystano z płytki nr 7, zlokalizowano rezystor i kondensator, o wartościach które najbliżiej odpowiadają zadany w tabeli załączonej w instrukcji.

$$R_{zad} = 2k\Omega \quad C_{zad} = 3,3 nF$$

$$R_{zmierz} = 1978,55 \Omega \text{ (nr 2)} \quad C_{zmierz} = 2,9n F \text{ (nr 6)}$$

Obliczono wartość częstotliwości granicznej powstałego filtra dolnoprzepustowego i wyznaczono jego transmitancję.

$$f_{gzad} = \frac{1}{2\pi R_{zad} C_{zad}} = 24115,097 \text{ Hz}$$

$$G_{zad}(s) = \frac{\frac{1}{sC_{zad}}}{\frac{1}{sC_{zad}} + R_{zad}} = \frac{1}{sR_{zad}C_{zad} + 1} = \frac{1}{6,6 * 10^{-6}s + 1}$$

$$f_{gzmierz} = \frac{1}{2\pi R_{zmierz} C_{zmierz}} = 27752,067 \text{ Hz}$$

$$G_{zmierz}(s) = \frac{\frac{1}{sC_{zmierz}}}{\frac{1}{sC_{zmierz}} + R_{zmierz}} = \frac{1}{sR_{zmierz}C_{zmierz} + 1} = \frac{1}{5,738 * 10^{-6}s + 1}$$

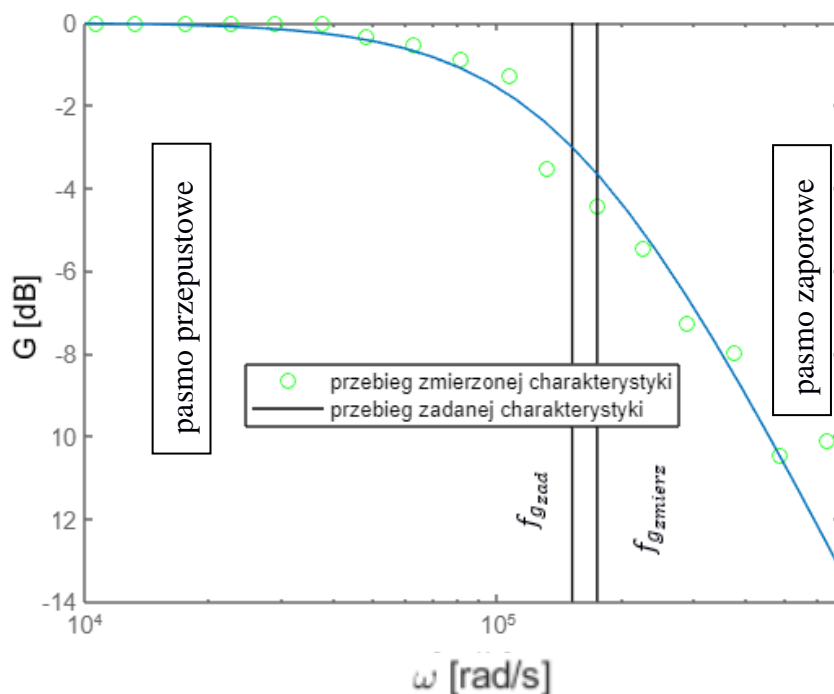
Dokonano pomiaru amplitud sygnału wejściowego i wyjściowego dla różnych częstotliwości sygnału wejściowego. Częstotliwość zmieniano od około 1 kHz do 100 kHz wykonując około 10 pomiarów na dekadę. Pomiary przedstawiono w Tabeli 1.

Tabela 1. -zmierzone wartości amplitud wraz z obliczonym wzmocnieniem  $G$  wyznaczonym w dB

f [kHz]	1	1,3	1,7	2,1	2,8	3,6	4,6	6	7,7	10
V <sub>pp</sub> wej.	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02
V <sub>pp</sub> wyj.	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	0,98	0,96
G [db]	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,347	-0,527
f [kHz]	13	17	21	28	36	46	60	77	100	
V <sub>pp</sub> wej.	1,02	1,02	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	0,96	
V <sub>pp</sub> wyj.	0,92	0,88	0,8	0,72	0,64	0,52	0,48	0,36	0,3	
G [db]	-0,896	-1,282	-3,522	-4,437	-5,460	-7,264	-7,959	-10,458	-10,103	

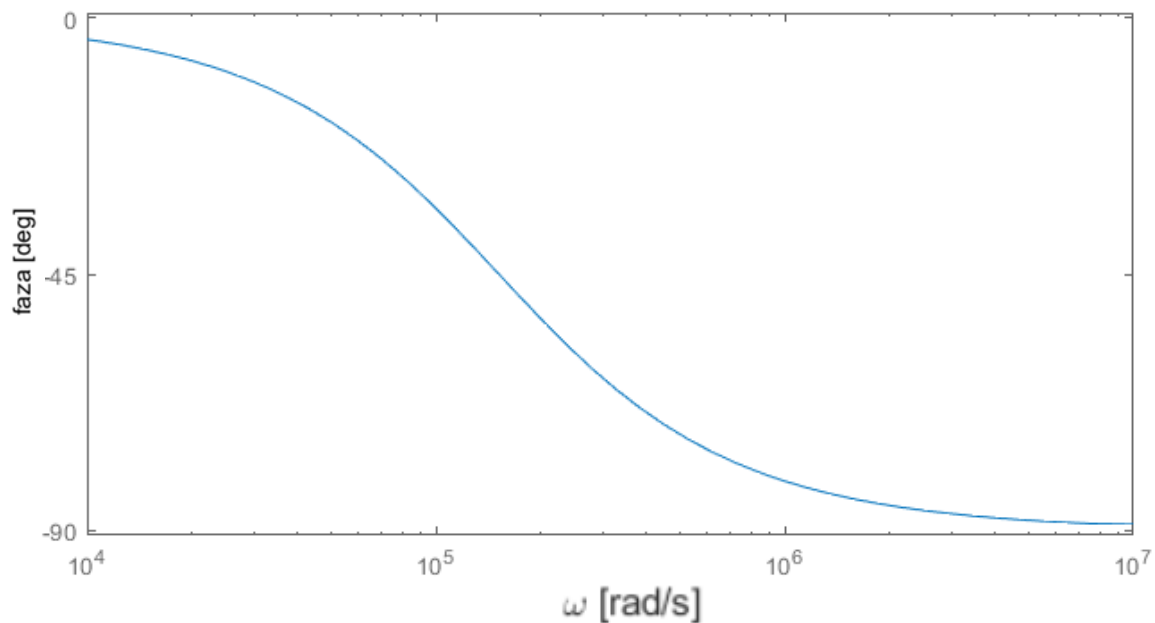
W programie Matlab wyznaczono charakterystyki amplitudowo-fazowej badanego filtra, z przebiegiem zmierzonej charakterystyki dodatkowo rysowanym na tym samym wykresie w części amplitudowej. Zaznaczono częstotliwość graniczną filtra symulowanego na podstawie transmitancji oraz filtra dla którego zebrano pomiary. Zaznaczono także po której stronie znajduje się pasmo przenoszenia a po której pasmo zaporowe.

Charakterystyka amplitudowa zasymulowana i zmierzona filtra dolnoprzepustowego I rzędu



Rysunek 1. Charakterystyki amplitudowe filtra dolnoprzepustowego I rzędu

## Charakterystyka fazowa filtru dolnoprzepustowego I rzędu



Rysunek 2. Charakterystyka fazowa filtru dolnoprzepustowego I rzędu

Otrzymane charakterystyki są zbliżone do siebie, różnice mogą wynikać z innych wartości rezystancji i pojemności (niemożliwe było użycie rezystora i kondensatora o wartościach identycznych jak z tabeli).

### 2.3. Filtr górnoprzepustowy I rzędu

Podczas ćwiczenia laboratoryjnego korzystano z płytki nr 7, zlokalizowano rezystor i kondensator, o wartościach które najbliżiej odpowiadają zadany w tabeli załączonej w instrukcji.

$$\begin{aligned} R_{zad} &= 10k\Omega & C_{zad} &= 330 pF \\ R_{zmierz} &= 10019,3 \Omega \text{ (nr 2)} & C_{zmierz} &= 0,300n F \text{ (nr 6)} \end{aligned}$$

Obliczono wartość częstotliwości granicznej powstałego filtra górnoprzepustowego i wyznaczono jego transmitancję.

$$f_{gzad} = \frac{1}{2\pi R_{zad} C_{zad}} = 48228,771 Hz$$

$$G_{zad}(s) = \frac{\frac{1}{sC_{zad}}}{\frac{1}{sC_{zad}} + R_{zad}} = \frac{1}{sR_{zad}C_{zad} + 1} = \frac{1}{3,3 * 10^{-5}s + 1}$$

$$f_{gzmierz} = \frac{1}{2\pi R_{zmierz} C_{zmierz}} = 52949,455 Hz$$

$$G_{zmierz}(s) = \frac{\frac{1}{sC_{zmierz}}}{\frac{1}{sC_{zmierz}} + R_{zmierz}} = \frac{1}{sR_{zmierz}C_{zmierz} + 1} = \frac{1}{3,006 * 10^{-6}s + 1}$$

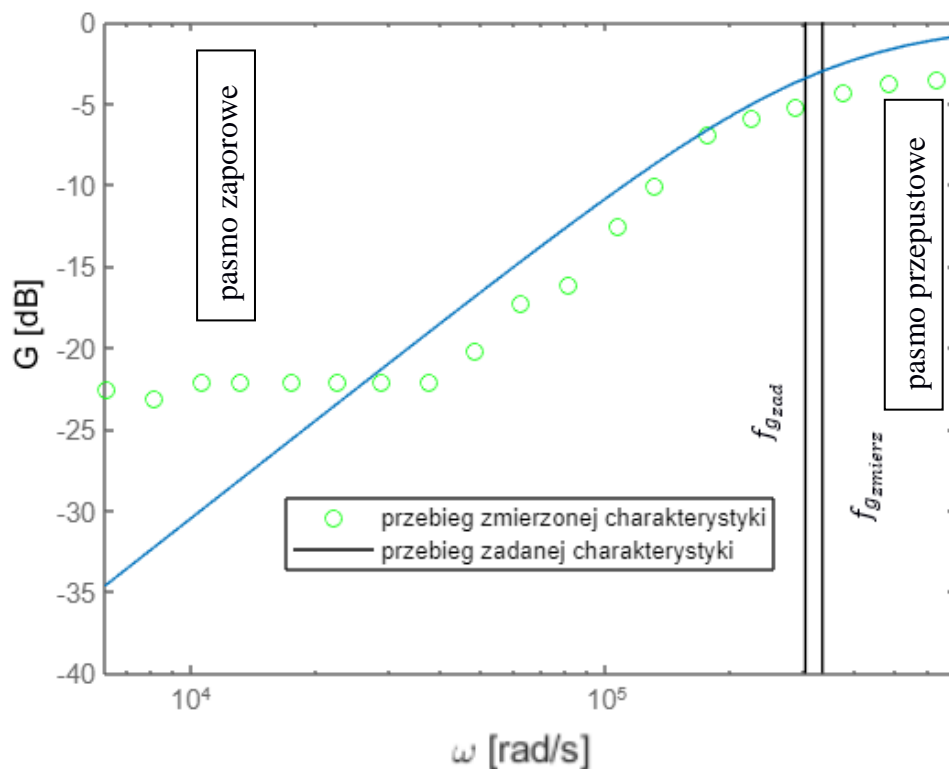
Dokonano pomiaru amplitud sygnału wejściowego i wyjściowego dla różnych częstotliwości sygnału wejściowego. Częstotliwość zmieniano od około 1 kHz do 100 kHz wykonując około 10 pomiarów na dekadę. Pomiarzy przedstawiono w Tabeli 2.

Tabela 2. -zmierzone wartości amplitud wraz z obliczonym wzmocnieniem  $G$  wyznaczonym w dB

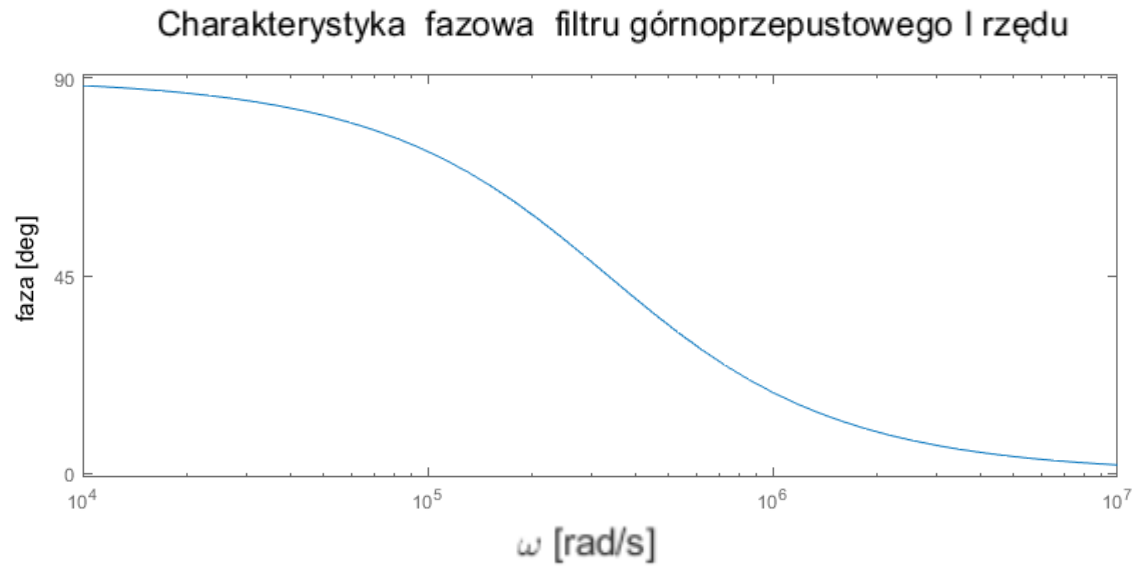
f [kHz]	1	1,3	1,7	2,1	2,8	3,6	4,6	6	7,7	10
V <sub>pp</sub> wejścia [V]	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02
V <sub>pp</sub> wyjścia [V]	0,06	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,1	0,14
G [db]	-24,609	-22,110	-22,110	-22,110	-22,110	-22,110	-22,110	-22,110	-20,172	-17,249
f [kHz]	13	17	21	28	36	46	60	77	100	
V <sub>pp</sub> wejścia [V]	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	
V <sub>pp</sub> wyjścia [V]	0,16	0,24	0,32	0,46	0,52	0,56	0,62	0,66	0,68	
G [db]	-16,089	-12,567	-10,069	-6,916	-5,851	-5,208	-4,324	-3,781	-3,521	

Ponownie wyznaczono charakterystyki amplitudowo-fazowej badanego filtru, z przebiegiem zmierzonej charakterystyki dodatkowo rysowanym na tym samym wykresie w części amplitudowej. Zaznaczono częstotliwość graniczną filtru symulowanego na podstawie transmitancji oraz filtru dla którego zebrano pomiary. Zaznaczono także po której stronie znajduje się pasmo przenoszenia a po której pasmo zaporowe

Charakterystyka amplitudowa zasymulowana i zmierzona filtru górnoprzepustowego I rzędu



Rysunek 3. Charakterystyki amplitudowe filtru górnoprzepustowego I rzędu



*Rysunek 4. Charakterystyka fazowa filtru górnoprzepustowego I rzędu*

Otrzymane charakterystyki różnią znacząco na początku zakresu, potem stają się zbliżone. Może być to spowodowane problemami sprzętowymi (uszkodzone przewody) lub błędem ludzkim – nieprawidłowa konfiguracja sprzętu (np. brak wyskalowania oscyloskopu).

## 2.3. Filtr pasmowoprzepustowy II rzędu

Podczas ćwiczenia laboratoryjnego korzystano z płytki nr 3, zlokalizowano rezystor i kondensator, o wartościach które najbliższej odpowiadają zadany w tabeli załączonej w instrukcji.

$$\begin{aligned} R_{zad1} &= 3k\Omega & C_{zad1} &= 10\text{ nF} \\ R_{zad2} &= 8k\Omega & C_{zad2} &= 1\text{ nF} \\ R_{zmierz1} &= 3254\ \Omega \text{ (nr 25)} & C_{zmierz1} &= 10,32\text{ nF (nr 8)} \\ R_{zmierz2} &= 8028\ \Omega \text{ (nr 8)} & C_{zmierz2} &= 1,05\text{ nF (nr 4)} \end{aligned}$$

Obliczono wartości częstotliwości granicznych powstałego filtra pasmowoprzepustowego, a także częstotliwość o maksymalnym wzmocnieniu.

$$\begin{aligned} f_{gzad1} &= \frac{1}{2\pi R_{zad1} C_{zad1}} = 5305,165\text{ Hz} \\ f_{gzad2} &= \frac{1}{2\pi R_{zad2} C_{zad2}} = 19894,369\text{ Hz} \\ f_{gzmierz1} &= \frac{1}{2\pi R_{zmierz1} C_{zmierz1}} = 4739,395\text{ Hz} \\ f_{gzmierz2} &= \frac{1}{2\pi R_{zmierz2} C_{zmierz2}} = 18880,934\text{ Hz} \\ f_{makszad} &= \sqrt{f_{gzad1} * f_{gzad2}} = 10273,408\text{ Hz} \\ f_{makszmierz} &= \sqrt{f_{gzmierz1} * f_{gzmierz2}} = 9459,609\text{ Hz} \end{aligned}$$

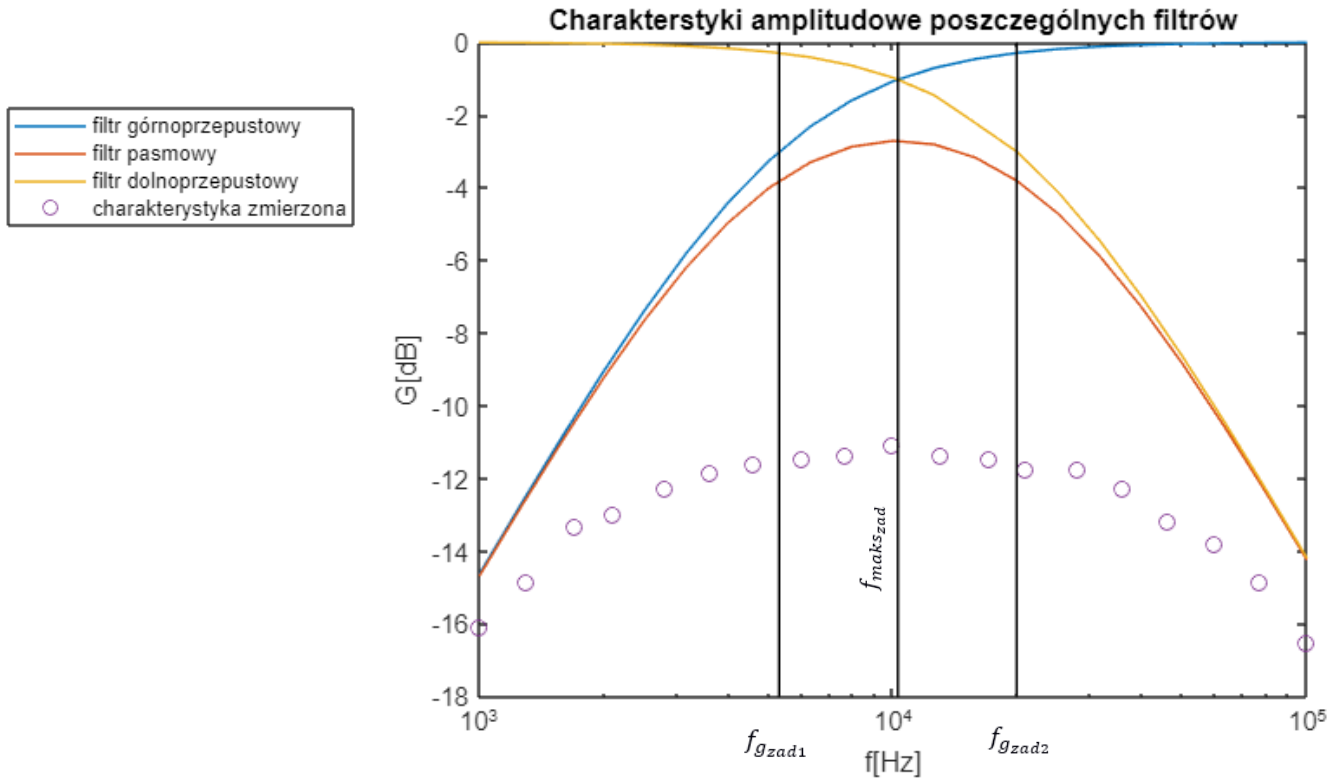
Dokonano pomiaru amplitud sygnału wejściowego i wyjściowego dla różnych częstotliwości sygnału wejściowego. Częstotliwość zmieniano od około 1 kHz do 100 kHz wykonując około 10 pomiarów na dekadę. Pomiar przedstawiono w Tabeli 3

Tabela 3. -zmierzone wartości amplitud wraz z obliczonym wzmocnieniem G wyznaczonym w dB

f [kHz]	1	1,3	1,7	2,1	2,8	3,6	4,6	6	7,7	10
V <sub>pp</sub> wejścia [V]	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02
V <sub>pp</sub> wyjścia [V]	0,16	0,184	0,22	0,228	0,248	0,26	0,268	0,272	0,276	0,284
G [db]	-16,089	-14,875	-13,324	-13,013	-12,283	-11,873	-11,601	-11,486	-11,354	-11,106
f [kHz]	13	17	21	28	36	46	60	77	100	
V <sub>pp</sub> wejścia [V]	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	
V <sub>pp</sub> wyjścia [V]	0,276	0,272	0,264	0,264	0,248	0,224	0,208	0,184	0,152	
G [db]	-11,354	-11,481	-11,740	-11,734	-12,283	-13,167	-13,811	-14,8756	-16,535	

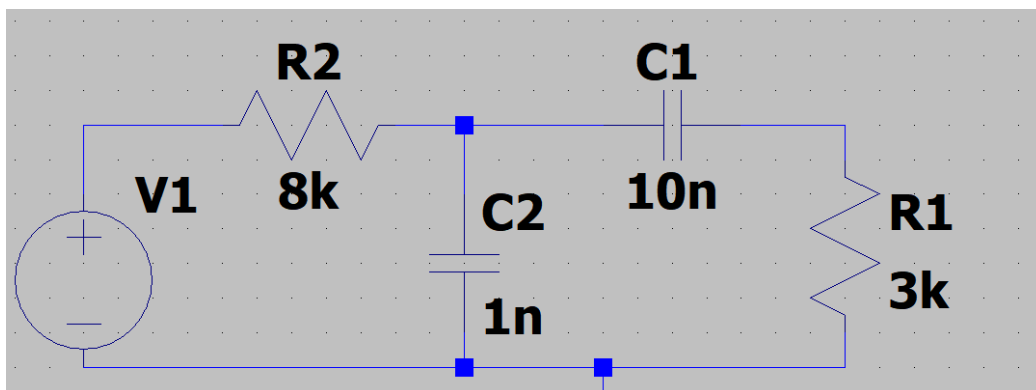
W programie LtSpice wyznaczono: zasymulowaną charakterystykę samego członu górnoprzepustowego, zasymulowaną charakterystykę samego członu dolnoprzepustowego, zasymulowaną charakterystykę filtra pasmowoprzepustowego.

Dane eksportowano do Matlaba, umieszczono na jednym wykresie wraz z przebiegiem zmierzonej charakterystyki części amplitudowej. Zaznaczono częstotliwości graniczne filtra symulowanego.



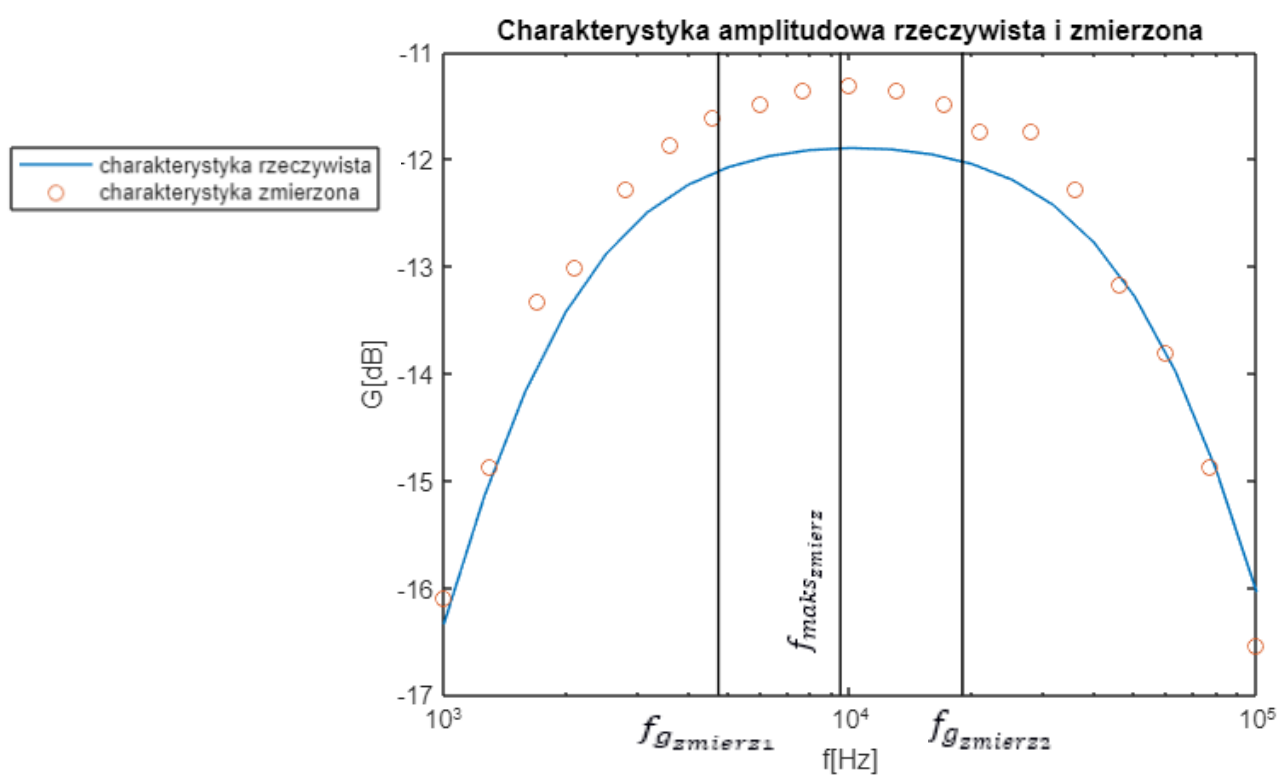
Rysunek 5. Charakterystyki amplitudowe poszczególnych filtrów

Charakterystyki różnią się od siebie znacząco na zadanym przedziale (ale ich prawidłowy „kształt” jest zachowany). Decydującą przyczyną jest sposób stworzenia układu na płytce pomiarowej – z powodów technicznych niemożliwe było odwzorowanie układu z instrukcji. Wykonano analogiczny schemat (rysunek 6), ale różniący się transmitancją.



Rysunek 6. Zastępczy schemat filtra pasmowoprzepustowego II rzędu

W celu sprawdzenia dokładności pomiarów w programie LtSpice wyznaczono zasymulowaną charakterystykę zastępczego układu, porównano ją z zmierzoną charakterystyką.



Rysunek 7. Charakterystyka amplitudowa zastępcza i zmierzona filtra pasmoprzepustowego

Zmierzona charakterystyka jest bardziej zbliżona do przebiegu nowo otrzymanej charakterystyki. Błędy ponownie mogą wynikać z przyjętych rezystorów czy kondensatorów bądź rezystancji przewodów.

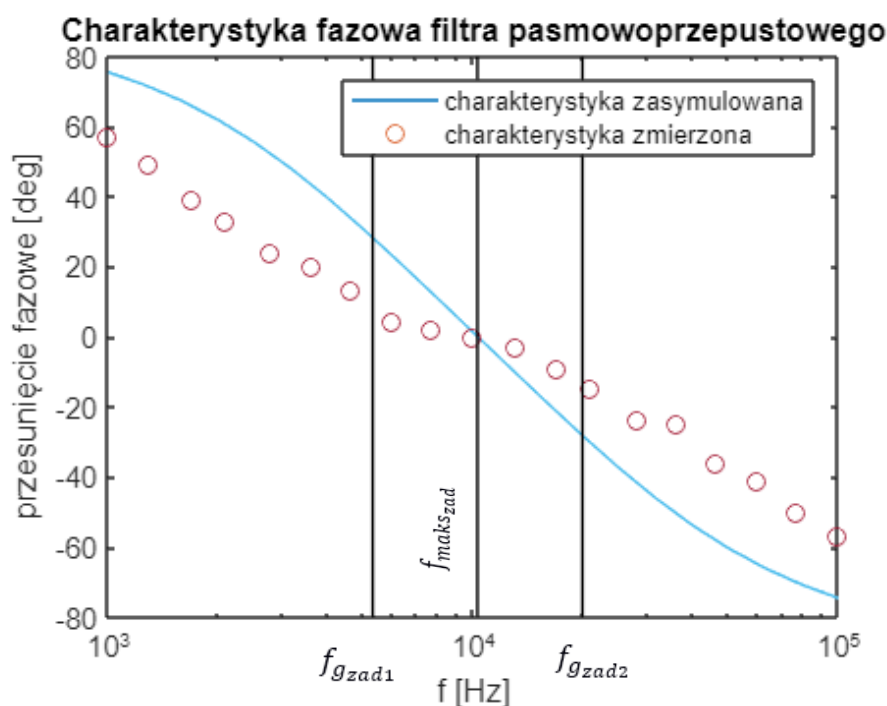


Następnie, dokonano pomiaru przesunięcia czasowego, przesunięcia fazowego, oraz dokonano obliczeń okresu sygnału wejściowego. Częstotliwość zmieniano od około 1 kHz do 100 kHz wykonując około 10 pomiarów na dekadę. Pomiary przedstawiono w Tabeli 4

*Tabela 4. Przesunięcie czasowe, przesunięcie fazowe oraz okres sygnału wejściowego filtra pasmoprzepustowego II rzędu*

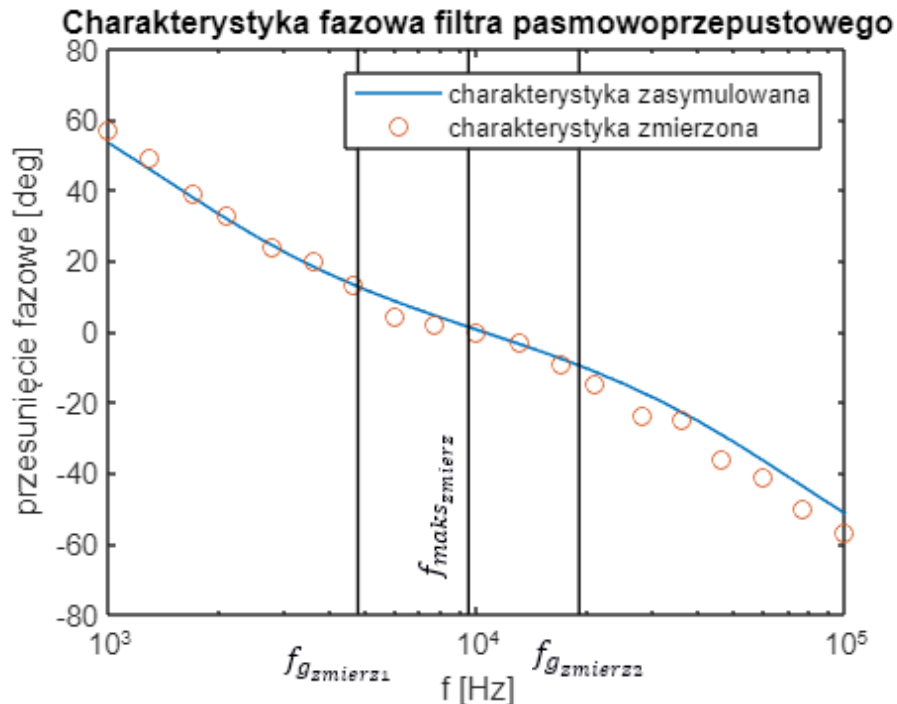
f [kHz]	1	1,3	1,7	2,1	2,8	3,6	4,6	6	7,7	10
okres sygnału wejściowego [s]	0,001	0,000769	0,000588	0,000476	0,000357	0,000278	0,000217	0,000167	0,00013	0,0001
przesunięcie czasowe [s]	-0,00017	-0,0001	-5,2E-05	-4,4E-05	-2,4E-05	-0,00002	-0,00001	-0,00001	-0,00001	-4E-06
przesunięcie fazowe [deg]	-57	-49	-39	-33	-24	-20	-13	-4	-2	0
f [kHz]	13	17	21	28	36	46	60	77	100	
okres sygnału wejściowego [s]	7,69E-05	5,88E-05	4,76E-05	3,57E-05	2,78E-05	2,17E-05	1,67E-05	1,3E-05	0,00001	
przesunięcie czasowe [s]	0,000004	0,000004	0,000002	0,000002	2,4E-06	0,000002	0,000002	1,8E-06	-8,5E-06	
przesunięcie fazowe [deg]	3	9	15	24	25	36	41	50	57	

W programie LtSpice wyznaczono zasymulowaną w charakterystykę fazową charakterystykę filtra pasmowoprzepustowego (schemat z instrukcji). Dane eksportowano do Matlaba, umieszczono na jednym wykresie wraz z przebiegiem zmierzonej charakterystyki części fazowej. Zaznaczono częstotliwości graniczne filtra symulowanego.



*Rysunek 8. Charakterystyka fazowa zasymulowana i zmierzona filtra pasmoprzepustowego*

Otrzymana charakterystyka różni się od przebiegu zasymulowanej – dlatego ponownie porównano ją z charakterystyką filtra z zastępczego schematu.



Rysunek 9. Charakterystyka fazowa zastępcza i zmierzona filtra pasmoprzepustowego

Zmierzony przebieg bardzo dobrze odzwierciedla charakterystykę filtra stworzonego na podstawie zastępczego schematu.

### 3. Wnioski

W trakcie zajęć zapoznano się z właściwościami i parametrami charakterystycznymi dla filtrów I i II rzędu. Zapoznano się z nowym sprzętem laboratoryjnym (np. obsługa i konfiguracja oscyloskopu). Nauczono się budowania nowych schematów na płytce pomiarowej oraz tworzenia prostych schematów w programie LtSpice. Program pozwala na generowanie różnego rodzaju przebiegów w sposób niewymagający wykonywania żmudnych obliczeń rachunkowych. Większość uzyskanych pomiarów jest zadowalająca, co świadczy o poprawności wykonania ćwiczenia.