

Podstawowe elementy elektroniczne, cz. 2 – Filtry I i II rzędu - charakterystyki			
Przemysław Lis Michał Krzyszczyk	27 III 2018 10 IV 2018	Wt. 10:45	B7

## 1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia było zapoznanie się z obsługą generatora funkcyjnego, oscyloskopu cyfrowego oraz ich funkcjonalnościami do bardziej zaawansowanych pomiarów sygnałów prądu zmiennego. Kolejnym zadaniem było zapoznanie się z funkcjonalnością filtrów RC I rzędu, wyznaczenia ich parametrów teoretycznych oraz charakterystyk, a następnie zbudowanie układu rzeczywistego. Następnie badaliśmy charakterystyki filtrów drugiego rzędu (Bodego) oraz porównywaliśmy pomiary z symulacją komputerową.

## 2. Przebieg ćwiczenia cz. I

### A. Filtr dolnoprzepustowy.

Pierwszym etapem był dobór zadanych parametrów wartości rezystora oraz kondensatora:

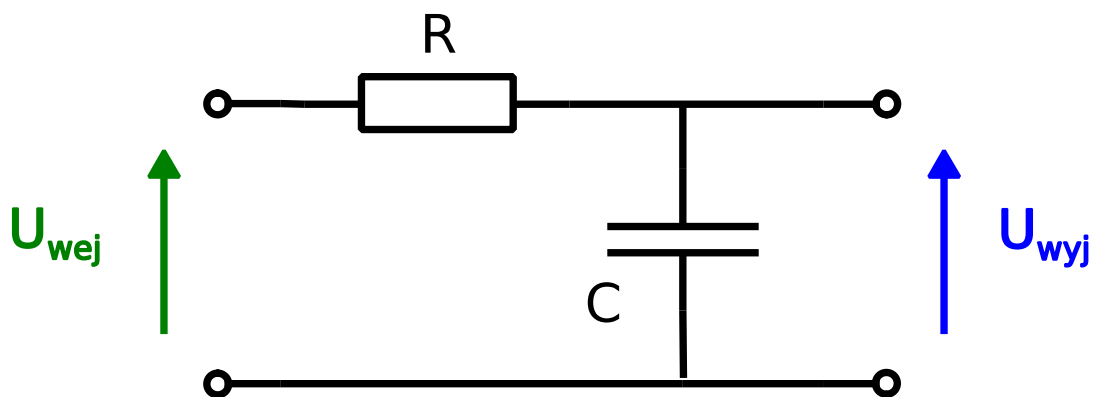
Tab.1 Zalecane wartości R oraz C.

Stanowisko	1	2	3	4	5	6	7	8	Rezerwa
C	10nF	1nF	1nF	1nF	330pF	330pF	3,3nF	3,3nF	3,3nF
R	1 kΩ	8 kΩ	9 kΩ	10 kΩ	10 kΩ	50 kΩ	2 kΩ	3 kΩ	4,3 kΩ

Ponieważ na stanowisku nie było zalecanych wartości wybrano najbliższej im odpowiadające:

$$C = 2,99 \text{ nF}$$

$$R = 1,98 \text{ k}\Omega$$



Rys.1 Schemat układu filtra dolnoprzestupowego (źródło. Instrukcja do ćwiczeń TM2, UPEL, AGH).

Wyznaczenie transmitancji:

$$U_c(0) = 0 \Rightarrow \frac{U_c}{I_c} = \frac{1}{sC} \quad (1)$$

$$G(s) = \frac{1}{sC} - \text{transmitancja kondensatora} \quad (2)$$

$$G(s) = R - \text{transmitancja rezystora} \quad (3)$$

Korzystając z dzielnika napięciowego:

$$U_{wyj}(s) = U_{wej}(s) * \frac{\frac{1}{sC}}{R + \frac{1}{sC}} \Rightarrow G(s) = \frac{U_{wyj}(s)}{U_{wej}(s)} = \frac{1}{RCs + 1} \quad (4)$$

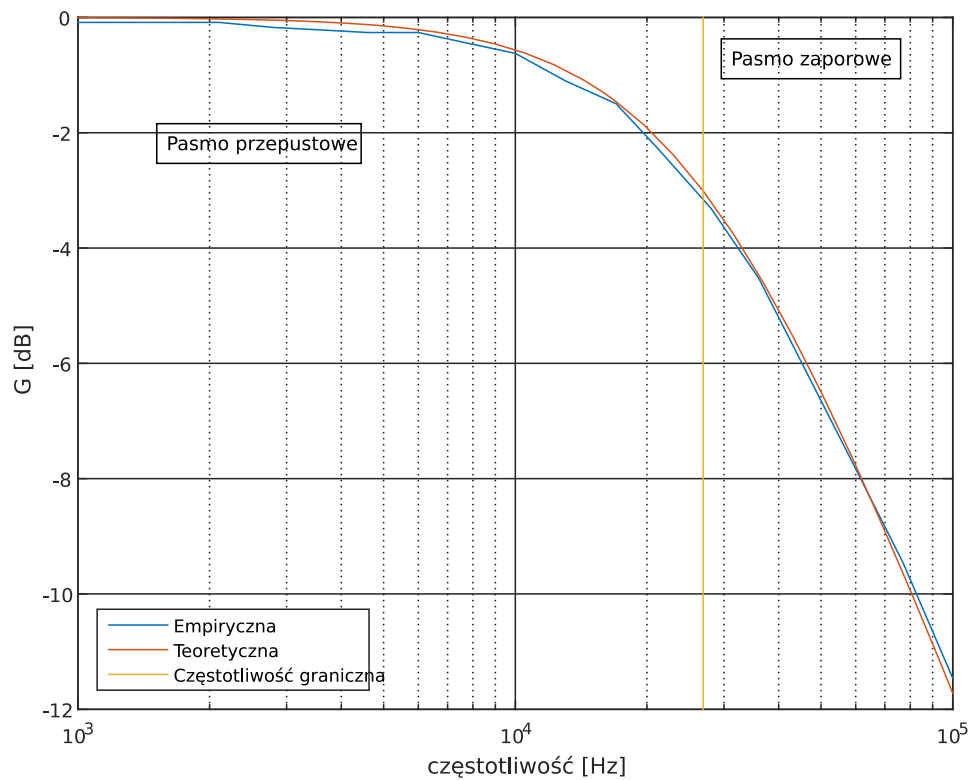
Częstotliwość graniczna wynosi:

$$f_{gr} = \frac{1}{2\pi RC} \quad (5)$$

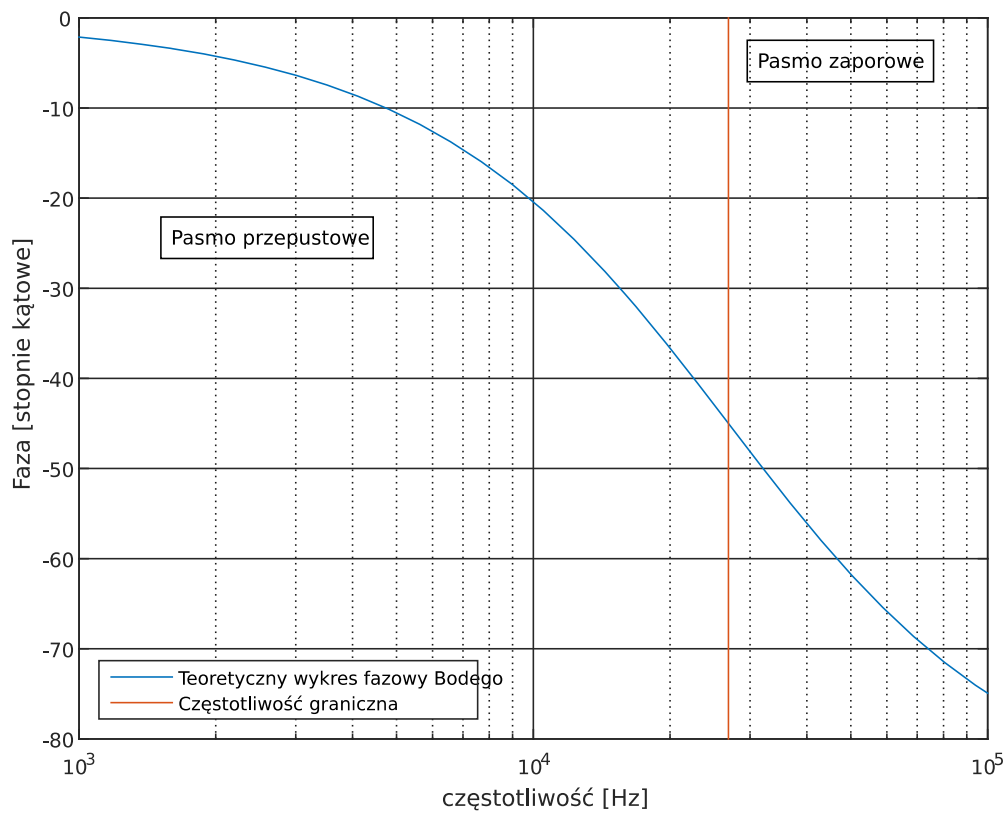
$$f_{gr} = \frac{1}{2 * 3,14 * 1980 * 2,99 * 10^{-9}} = 2\,6883,37[Hz]$$

Tab.2 Tabela dokonanych pomiarów.

Częstotliwość [kHz]	1	1,3	1,7	2,1	2,8	3,6	4,6	6	7,7	10	13	17	21	28	36	46	60	77	100
Amplituda wejścia [V]	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01
Amplituda wyjścia [V]	1	1	1	1	0,99	0,985	0,98	0,98	0,96	0,94	0,89	0,85	0,78	0,69	0,6	0,5	0,41	0,34	0,27
Tłumienie G [dB]	-0,09	-0,09	-0,09	-0,09	-0,17	-0,22	-0,26	-0,26	-0,44	-0,62	-1,10	-1,50	-2,24	-3,31	-4,52	-6,11	-7,83	-9,46	-11,46



Rys.2 Charakterystyka amplitudowa filtra dolnoprzepustowego.



Rys.3 Charakterystyka fazowa filtra dolnoprzepustowego.

Ponieważ częstotliwość graniczna teoretyczna (spadku o 3dB) była na wykresie tożsama z obliczona (różnica rzędu 0,01) nie zaznaczaliśmy jej, ponieważ obie linie byłyby ze sobą pokryte. Otrzymaliśmy dwie charakterystyki niemal ze sobą tożsame. Niewielkie różnice wynikają z małej ilości pomiarów, oraz rezystancji przewodów. Oznacza to, że metoda pomiarowa była poprawna oraz że model rzeczywisty odpowiada modelowi teoretycznemu.

## B. Filtr górnoprzepustowy.

Pierwszym etapem był dobór zadanych parametrów wartości rezystora oraz kondensatora:

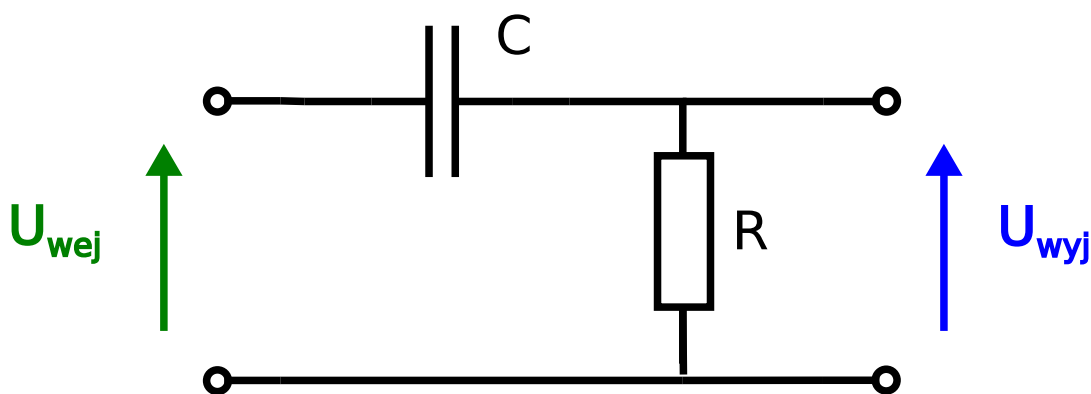
Tab.3 Tabela zalecanych R i C.

Stanowisko	1	2	3	4	5	6	7	8	Rezerwa
C	3,3nF	3,3nF	10nF	1nF	1nF	1nF	330pF	330pF	3,3nF
R	2 kΩ	3 kΩ	1 kΩ	8 kΩ	9 kΩ	10 kΩ	10 kΩ	50 kΩ	4,3 kΩ

Ponieważ na stanowisku nie było zalecanych wartości wybrano najbliższej im odpowiadające:

$$C = 360 \text{ pF}$$

$$R = 10,01 \text{ k}\Omega$$



Rys.4 Schemat układu filtra górnoprzepustowego (źródło. Instrukcja do ćwiczeń TM2, UPEL, AGH).

Wyznaczenie transmitancji:

Korzystając z dzielnika napięciowego oraz zależności (2),(3) otrzymuje się:

$$U_{wyj}(s) = U_{wej}(s) * \frac{R}{R + \frac{1}{sC}}$$

$$G(s) = \frac{U_{wyj}(s)}{U_{wej}(s)} = \frac{RCs}{1 + RCs} \quad (6)$$

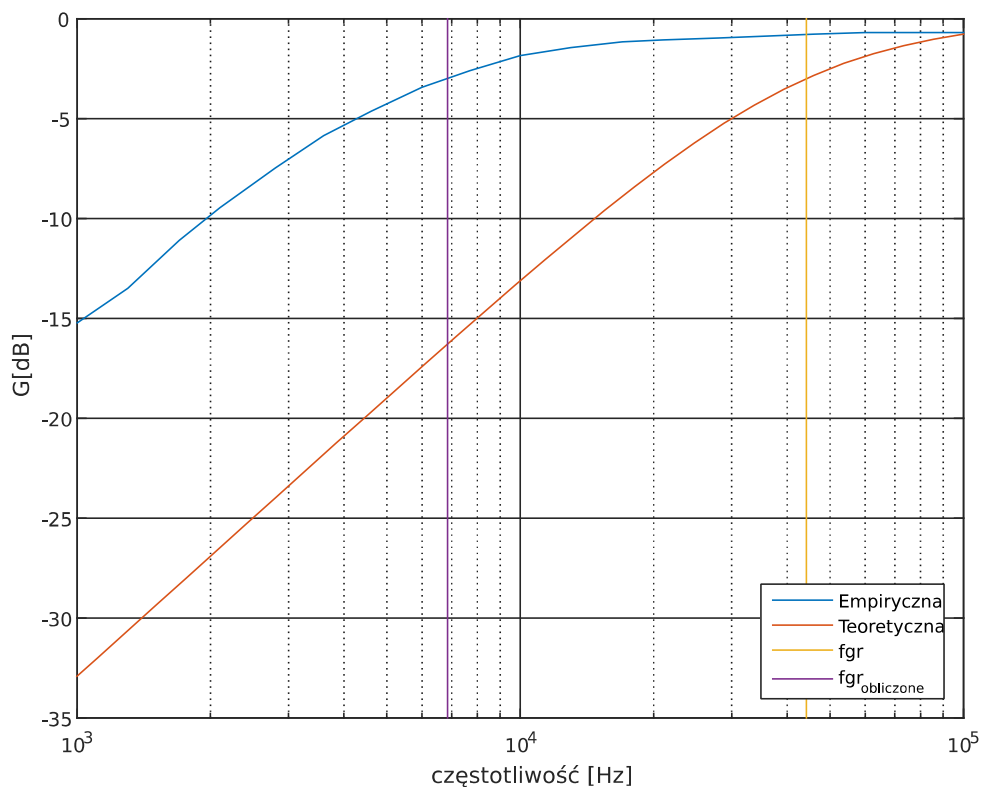
Częstotliwość graniczna wynosi:

$$f_{gr} = \frac{1}{2\pi RC} \quad (7)$$

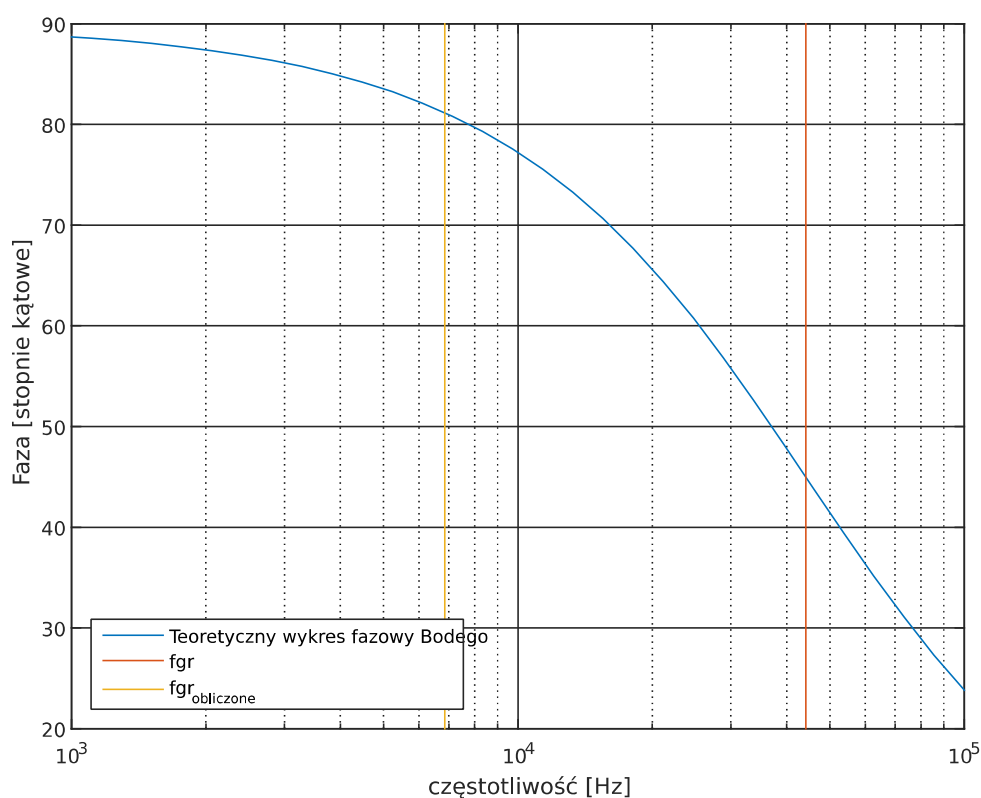
$$f_{gr} = \frac{1}{2 * 3,14 * 10010 * 360 * 10^{-9}} = 44\,160 [Hz]$$

Tab.4 Tabela dokonanych pomiarów.

Częstotliwość [kHz]	1	1,3	1,7	2,1	2,8	3,6	4,6	6	7,7	10	13	17	21	28	36	46	60	77	100
Amplituda wejścia [V]	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04
Amplituda wyjścia [V]	0,18	0,22	0,29	0,35	0,44	0,53	0,61	0,7	0,77	0,84	0,88	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,96	0,96
Tłumienie G [dB]	-15,24	-13,49	-11,09	-9,46	-7,47	-5,86	-4,63	-3,44	-2,61	-1,86	-1,45	-1,16	-1,06	-0,97	-0,88	-0,79	-0,70	-0,70	-0,70



Rys5. Charakterystyka amplitudowa filtra górnoprzepustowego.



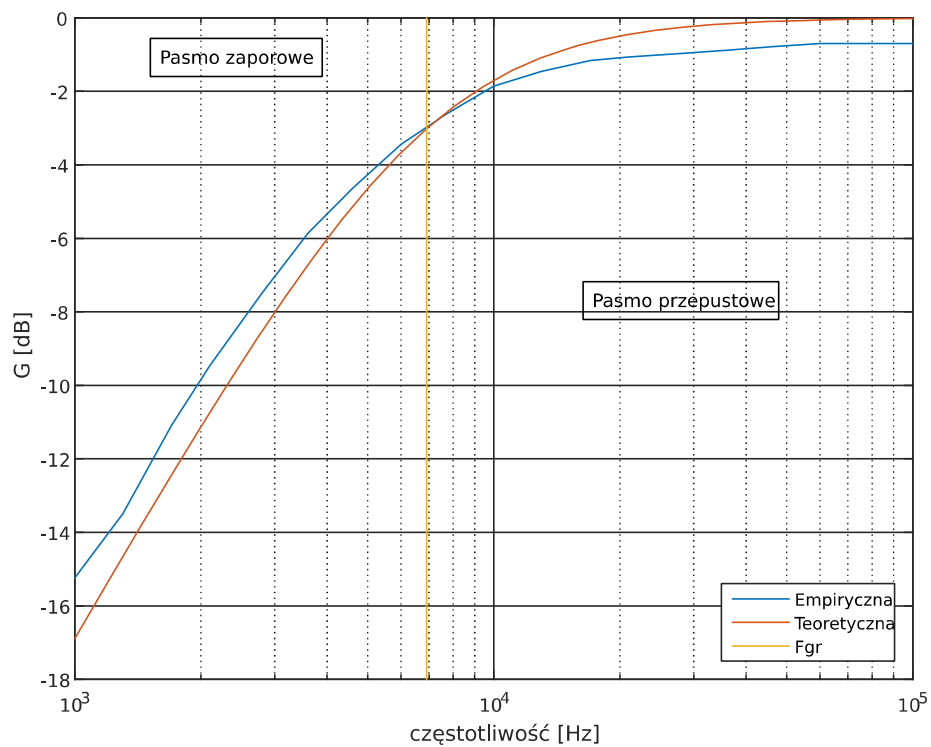
Rys6. Charakterystyka fazowa filtra górnoprzepustowego.

Charakterystyka amplitudowa pomiaru znacznie odbiega od charakterystyki teoretycznej (rys.5), może być to spowodowane błędnym pomiarem pojemności kondensatora C. Pomiar pojemności rzędu pF jest obarczony dużym błędem, ponieważ przewody sondy trzymane w dłoni generują pojemność rzędu kilkudziesięciu pF (około 50). W związku z tym postanowiliśmy na podstawie rzeczywistej częstotliwości granicznej oraz wartości rezystancji wyznaczyć rzeczywistą wartość pojemności i na ich podstawie wyznaczyć teoretyczną charakterystykę filtru.

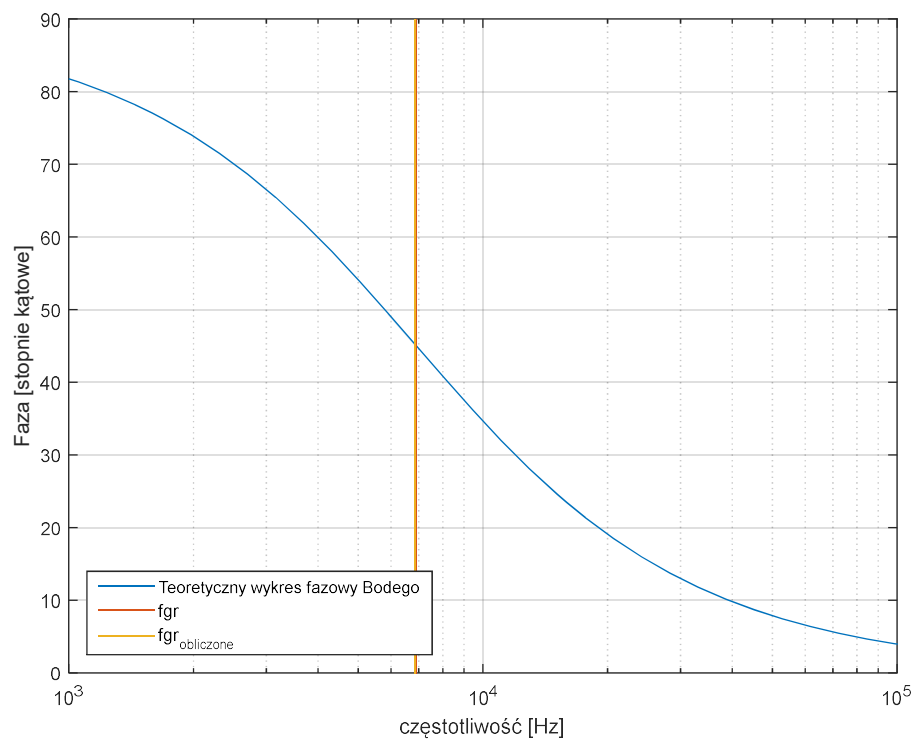
Obliczenie nowej pojemności:

$$C = \frac{1}{2\pi R f_{grg}} \quad (8)$$

$$C = \frac{1}{2 * 3,14 * 10010 * 6948} = 2,3 * 10^{-9} [F]$$



Rys.7 Charakterystyka fazowa filtra górnoprzepustowego.



Rys.8 Charakterystyka fazowa filtra górnoprzepustowego.

Po zmianie wartości pojemności kondensatora otrzymujemy charakterystyki zgodne z modelem teoretycznym (z uwzględnieniem nowej pojemności kondensatora), większe tłumienie filtru rzeczywistego wskazuje na niską jakość połączenia przewodów w rzeczywistym układzie. Zaznaczając obliczoną częstotliwość graniczną dla zmierzonych rezystorów, oraz częstotliwość teoretyczną dla kąta  $45^\circ$  stwierdzić można, że nie różnią się one znacząco co pokazuje Rys.8. Wyznaczenie pojemności kondensatora na podstawie częstotliwości granicznej pozwoliło nam sprawdzić, że schemat układu został podłączony poprawnie, a rozbieżności w charakterystyce wynikały z błędnego pomiaru parametrów filtra (pojemności kondensatora).



### 3. Przebieg ćwiczenia cz. II

#### A. Filtr pasmowoprzepustowy.

Pierwszym etapem był dobór zadanych parametrów wartości rezystora oraz kondensatora:

Tab.5 Tabela zalecanych R i C.

Stanowisko	1	2	3	4	5	6	7	8	Rezerwa
C1	330 pF	10 nF	10 nF	10 nF	10 nF	1 nF	10 nF	1 nF	10 nF
R1	50 kΩ	2 kΩ	3 kΩ	3 kΩ	2 kΩ	9 kΩ	2 kΩ	8 kΩ	1 kΩ
C2	1 nF	1 nF	1 nF	1 nF	1 nF	330 pF	330 pF	330 pF	330 pF
R2	8 kΩ	8 kΩ	8 kΩ	9 kΩ	9 kΩ	10 kΩ	10 kΩ	10 kΩ	10 kΩ

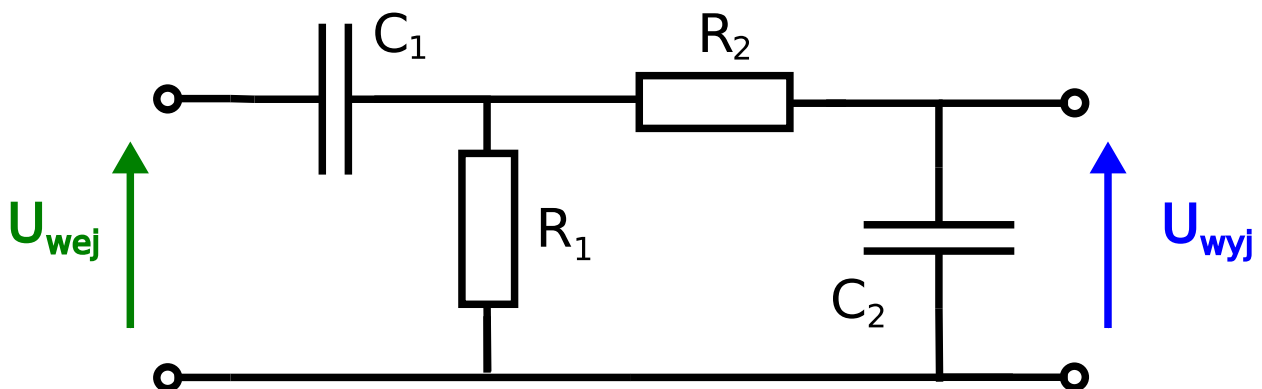
Ponieważ na stanowisku nie było zalecanych wartości wybrano najbliższe im odpowiadające:

$$C1 = 10,64 \text{ nF}$$

$$R1 = 1,975 \text{ k}\Omega$$

$$C2 = 397 \text{ pF}$$

$$R2 = 10 \text{ k}\Omega$$



Rys.9 Schemat układu filtra pasmowoprzepustowego (źródło. Instrukcja do ćwiczeń TM2, UPEL, AGH).

Częstotliwość graniczna dolna wynosi:

$$f_{grd} = \frac{1}{2\pi R_2 C_2} \quad (9)$$

$$f_{grd} = \frac{1}{2 * 3,14 * 10000 * 397 * 10^{-12}} = 40\,089[Hz]$$

Częstotliwość graniczna górna wynosi:

$$f_{grg} = \frac{1}{2\pi R_2 C_2} \quad (10)$$

$$f_{grg} = \frac{1}{2 * 3,14 * 1975 * 10,64 * 10^{-9}} = 7\,577[Hz]$$

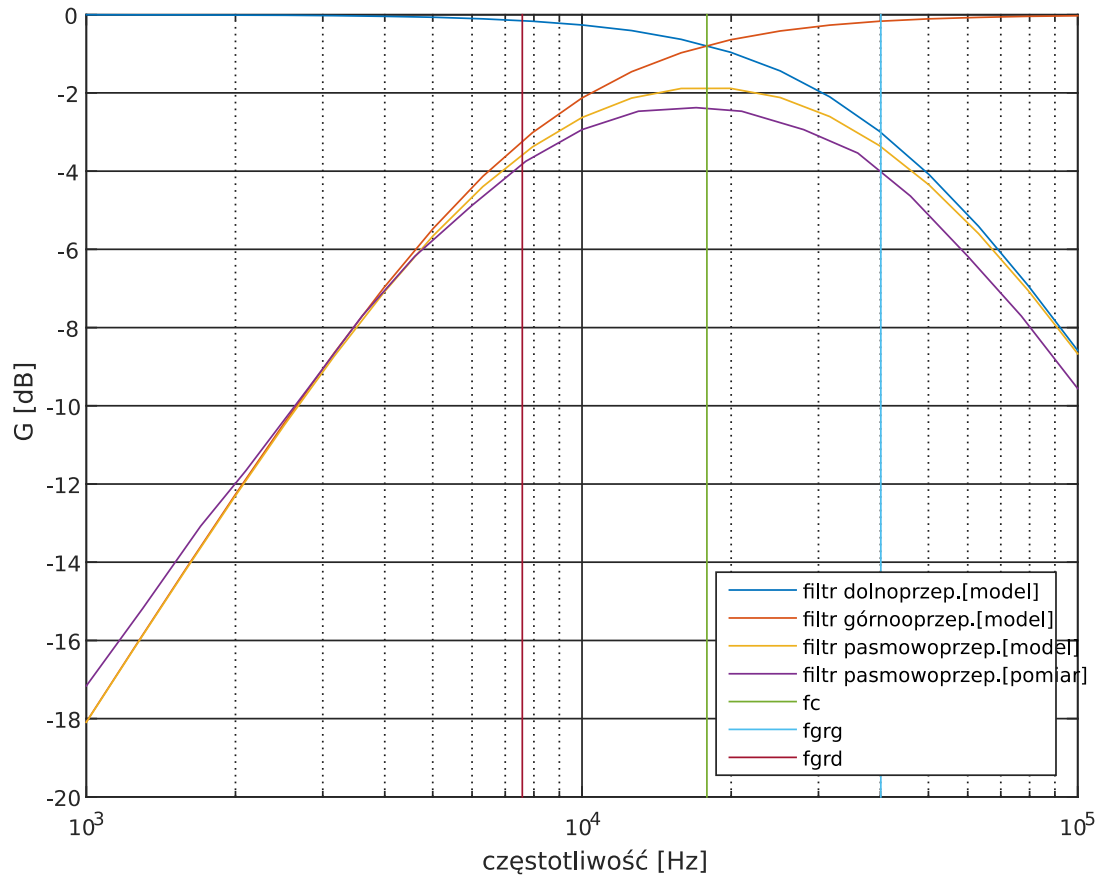
Częstotliwość środkowa (największego wzmocnienia) wynosi:

$$f_c = \sqrt{f_{grg} * f_{grd}} \quad (11)$$

$$f_c = \sqrt{7\,577 * 40\,089} = 17\,428[Hz]$$

Tab.6 Tabela dokonanych pomiarów.

Częstotliwość [kHz]	1,00	1,30	1,70	2,10	2,80	3,60	4,60	6,00	7,70	10,00	13,00	17,00	21,00	28,00	36,00	46,00	60,00	77,00	100,00
Vpp wejścia [V]	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01
Vpp wyjścia [V]	0,14	0,18	0,22	0,26	0,34	0,42	0,50	0,58	0,66	0,72	0,76	0,77	0,76	0,72	0,67	0,59	0,50	0,42	0,34
stosunek Vpp wyjścia do wejścia	0,14	0,17	0,22	0,26	0,33	0,41	0,49	0,57	0,65	0,71	0,75	0,76	0,75	0,71	0,67	0,59	0,49	0,41	0,33
G [dB]	-17,16	-15,18	-13,08	-11,65	-9,56	-7,70	-6,18	-4,88	-3,75	-2,94	-2,47	-2,38	-2,47	-2,94	-3,54	-4,64	-6,18	-7,70	-9,56

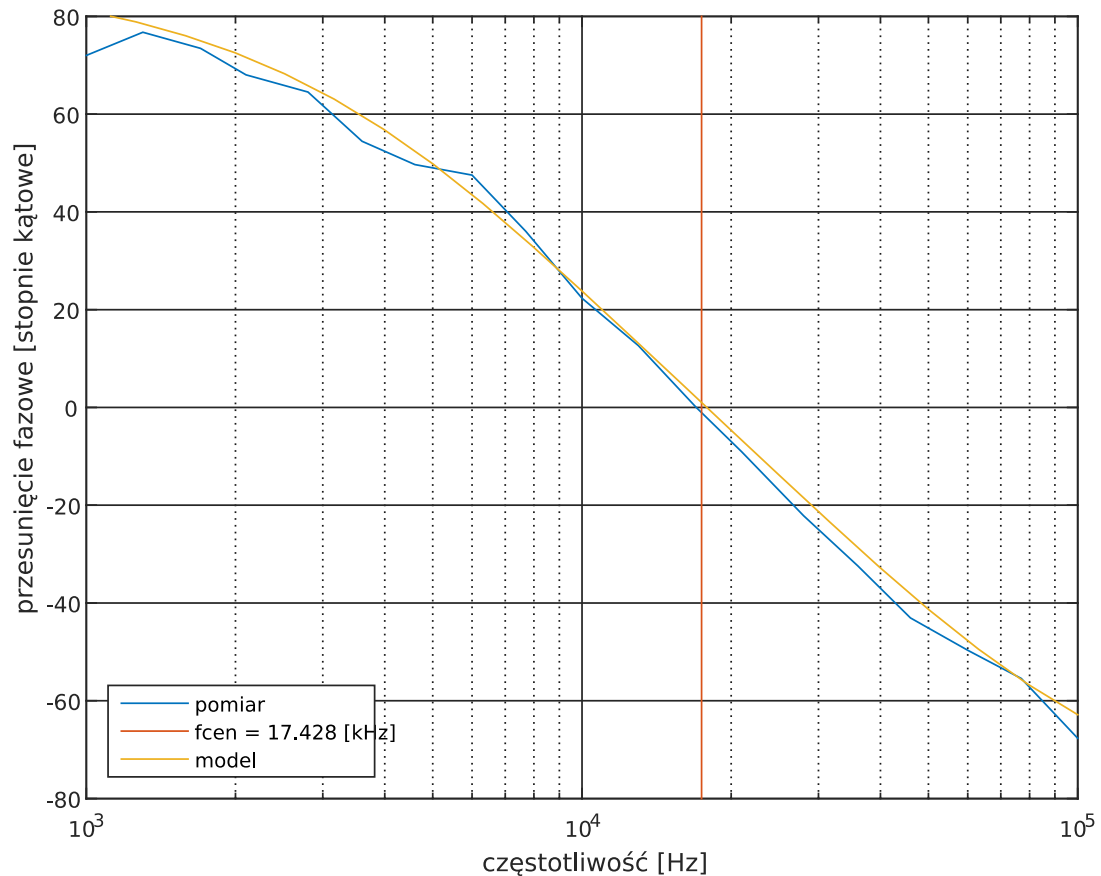


Rys.10 Wykres amplitudowy filtra pasmowoprzepustowego badanych filtrów oraz modelu z LTspice.

Zarówno filtr górnoprzepustowy jak i dolnoprzepustowy posiadają najmniejsze tłumienie. Filtr pasmowo przepustowy posiada większe tłumienie, spowodowane jest to kaskadowym połączeniem ww. filtrów. Model rzeczywisty posiada największe tłumienie, ponieważ występują dodatkowe straty na rezystancji styku połączeń, jak również przewodów połączeniowych, czego nie model nie uwzględnia.

Tab.7 Tabela dokonanych pomiarów.

Częstotliwość wejścia [kHz]	1	1,3	1,7	2,1	2,8	3,6	4,6	6	7,7	10	13	17	21	28	36	46	60	77	100
okres sygnału wejściowego $T_{we}$	1,00E-03	7,69E-04	5,88E-04	4,76E-04	3,57E-04	2,78E-04	2,17E-04	1,67E-04	1,30E-04	1,00E-04	7,69E-05	5,88E-05	4,76E-05	3,57E-05	2,78E-05	2,17E-05	1,67E-05	1,30E-05	1,00E-05
Przesunięcie czasowe $T_{przes}$ [us]	200	164	120	90	64	42	30	22	13	6,2	2,7	0	-1,2	-2,2	-2,5	-2,6	-2,3	-2	-1,88
przesunięcie czasowe [stopnie kątowe]	72,0	76,8	73,4	68,0	64,5	54,4	49,7	47,5	36,0	22,3	12,6	0,0	-9,1	-22,2	-32,4	-43,1	-49,7	-55,4	-67,7



Rys.11 Charakterystyka fazowa filtra pasmowoprzepustowego oraz modelu z LTspice.

Ponieważ pomiar został dokonany w wąskim paśmie nie możemy ukazać w pełni wykresu przesunięcia fazowego. Jednakże pomimo pomiarów obarczonych błędami charakterystyka fazowa zachowuje kształt podobny do kształtu modelu.

### 3. Wnioski z wykonanego ćwiczenia

Zostały zrealizowane schematy wszystkich zadanych filtrów. Pomimo wąskiego pasma pomiarowego wszystkie filtry odpowiadają modelom teoretycznym, jednak dobór parametrów wymagał dużej dokładności przeprowadzanych pomiarów (zwłaszcza pojemność kondensatorów). Jedynym problemem był nieodpowiadający filtr górnoprzepustowy, powodem czego był błąd grubo pomiaru kondensatora. Po wyliczeniu pojemności z częstotliwości granicznej charakterystyka była zgodna z teoretyczną.