

Wydział	Imię i nazwisko		Rok	Grupa	Zespół
WFiIS	1. Michał Rogowski 2. Ihnatsi Yermakovich		II	10	02
PRACOWNIA ELEKTRONICZNA WFiIS AGH	Temat				Nr ćwiczenia
	Filtry bierne i aktywne				03
Data wykonania	Data oddania	Zwrot do poprawy	Data oddania	Data zaliczenia	OCENA
28.04.2022	12.05.2022				

Filtry bierne i aktywne

Ćwiczenie nr 03

Michał Rogowski

Ihnatsi Yermakovich

1	Cel ćwiczenia	2
2	Przebieg ćwiczenia	2
3	Wyniki	2
3.1	Filtr dolnoprzepustowy bierny I-rzędu (RC)	2
3.1.1	Wyznaczenie charakterystyki amplitudowej $K_u = f(f)$	3
3.1.2	Odpowiedź układu na skok jednostkowy	4
3.2	Filtr górnoprzepustowy bierny I-rzędu (CR)	6
3.2.1	Wyznaczenie charakterystyki amplitudowej $K_u = f(f)$	6
3.2.2	Odpowiedź układu na skok jednostkowy	8
3.3	Filtr pasmowo-przepustowy	10
3.3.1	Wyznaczenie charakterystyki amplitudowej $K_u = f(f)$	10
3.3.2	Odpowiedź układu na skok jednostkowy	12
3.4	Filtr dolnoprzepustowy aktywny II rzędu (Krytyczny)	14
3.4.1	Wyznaczenie charakterystyki amplitudowej $K_u = f(f)$	15
3.4.2	Odpowiedź układu na skok jednostkowy	17
3.5	Filtr dolnoprzepustowy aktywny II rzędu (Butterwortha)	18
3.5.1	Wyznaczenie charakterystyki amplitudowej $K_u = f(f)$	19
3.5.2	Odpowiedź układu na skok jednostkowy	21

1 Cel ćwiczenia

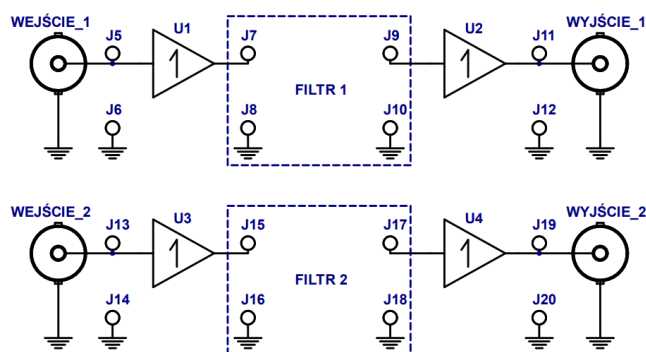
Celem ćwiczenia było zbadanie charakterystyk i odpowiedzi na skok jednostkowy filtrów pracujących w różnych konfiguracjach układowych. Wyznaczyliśmy doświadczalnie amplitudowe charakterystyki częstotliwościowe oraz obserwowaliśmy odpowiedzi układów na sygnał napięciowy skoku jednostkowego.

2 Przebieg ćwiczenia

Naszym zadaniem było wyznaczenie charakterystyki amplitudowej dla sygnału sinusoidalnego o małej amplitudzie oraz dokonanie pomiarów odpowiedzi układu dla sygnału prostokątnego o małej amplitudzie. Wszystkie zastosowane konfiguracje były zasilane napięciem symetrycznym $\pm 15V$. Rozpatrzyliśmy następujące filtry:

- Filtr dolnoprzepustowy bierny I-rzędu (RC)
- Filtr górnoprzepustowy bierny I-rzędu (CR)
- Filtr pasmowo-przepustowy o tej samej częstotliwości granicznej
- Filtry dolnoprzepustowe aktywne II-rzędu (Krytyczny i Butterwortha)

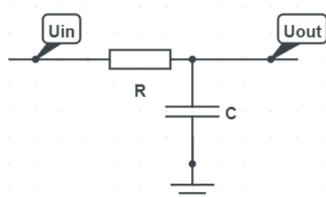
Do ćwiczenia wykorzystaliśmy płytkę PCB schemat której jest widoczny na poniższym rysunku:



Rysunek 1: Schemat zestawu do ćwiczenia

3 Wyniki

3.1 Filtr dolnoprzepustowy bierny I-rzędu (RC)



Rysunek 2: Schemat filtru dolnoprzepustowego I rzędu

Układ skonfigurowaliśmy korzystając z filtru dolnoprzepustowego I rzędu tak jak na powyższym schemacie (rys.2), skorzystaliśmy również z płytki PCB (rys.1). Filtr wykorzystany w doświadczeniu miał następujące parametry: $R = 20\text{ k}\Omega$, $C = 2.2\text{ nF}$, a stała czasowa $\tau = 44\text{ }\mu\text{s}$. Amplituda sygnału na wejściu filtru wynosiła 97.5 mV .

3.1.1 Wyznaczenie charakterystyki amplitudowej $K_u = f(f)$

Wyznaczyliśmy charakterystykę amplitudową $K_u=f(f)$ o przebiegu sinusoidalnym. Dokonailiśmy serii pomiarów amplitud sygnału wyjściowego dla częstotliwości z przedziału od 300 Hz do 200 kHz. Pomiary wzmocnienia znajdują się w tabeli poniżej:

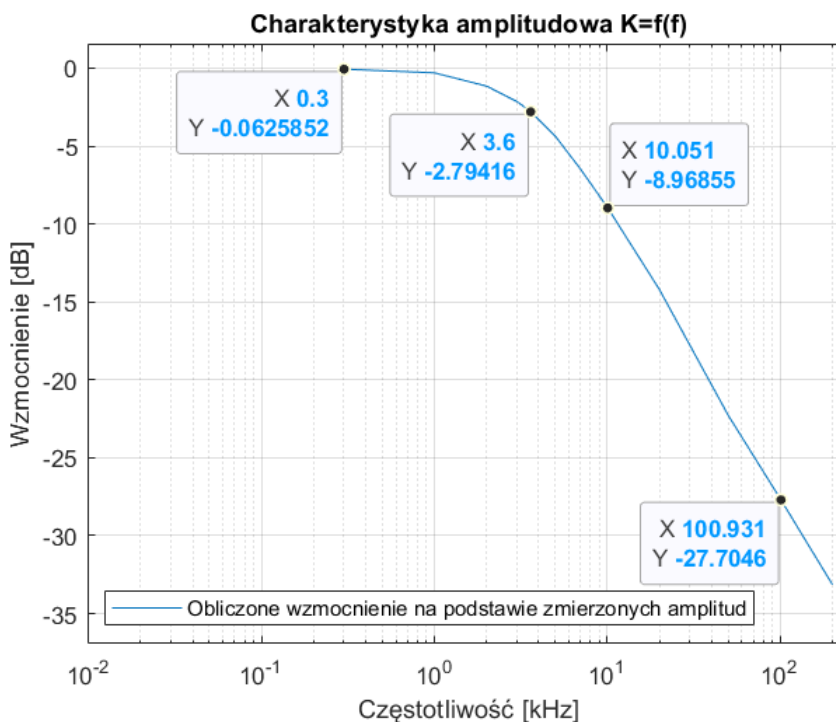
Tabela 1: Amplituda sygnału w zależności od częstotliwości

Częst. [kHz]	Amp. [mV]	Wzm. [dB]	Częst. [kHz]	Amp. [mV]	Wzm. [dB]
0,3	96,800	-0,0626	7,0	46,225	-6,4826
1,0	94,200	-0,2991	10,0	34,875	-8,9298
2,0	85,400	-1,1509	20,0	19,000	-14,2050
3,0	76,200	-2,1410	50,0	7,500	-22,2789
3,6	70,680	-2,7942	100,0	4,050	-27,6310
5,0	59,000	-4,3631	200,0	2,150	-33,1313

Wartości wzmocnienia w trzeciej kolumnie są obliczone według poniższego wzoru:

$$G = 20 \cdot \log \left(\frac{U_{out}}{U_{in}} \right) \quad (1)$$

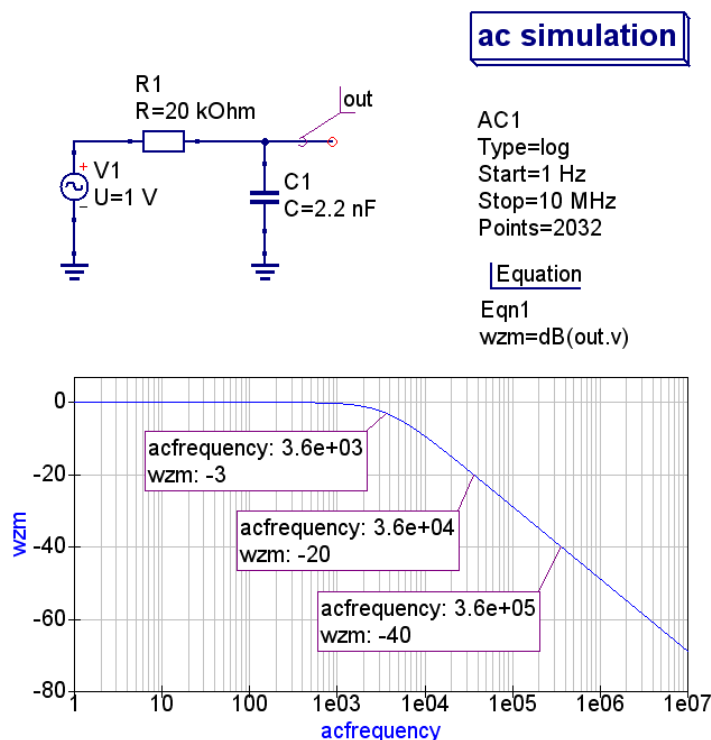
Na podstawie powyższych danych sporządzimy wykres zależności wzmocnienia od częstotliwości:



Rysunek 3: Charakterystyka amplitudowa $K_u = f(f)$ filtra dolnoprzepustowego I rzędu

Wzmocnienie filtra w pasmie przepustowym wynosi -0,0626 dB, co jest ekwiwalentne 0,993 V/V. Otrzymana wartość jest bardzo bliska wartości teoretycznej 0 dB = 1 V/V. Różnica pomiędzy tymi wartościami jest rzędu 0,7%.

W celu uproszczenia analizy zebranych wyników wykonaliśmy symulację filtra dolnoprzepustowego I rzędu w tej samej konfiguracji, co filtr powyżej:



Rysunek 4: Symulacja filtra dolnoprzepustowego I rzędu

Zauważmy podobieństwo charakterystyki teoretycznej do rzeczywistej. Częstotliwość graniczna została obliczona z następnego wzoru:

$$f_g = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 20 \times 10^3 \cdot 2,2 \times 10^{-9}} = 3617,16 \text{ (Hz)} \approx 3,6 \text{ (kHz)} \quad (2)$$

Teraz możemy przeanalizować otrzymane wartości wzmocnienia dla częstotliwości granicznej. Teoretyczna wartość wynosi -3 dB, natomiast podczas eksperymentu otrzymaliśmy -2,79 dB. Zatem różnica pomiędzy tymi wartościami jest równa 7%.

Następnie rozpatrzmy nachylenie asymptotyczne charakterystyki w pasmie zaporowym. Wartość teoretyczna odczytana z (rys. 4) wynosi -20 dB na dekadę, natomiast otrzymaliśmy -18,73 dB na dekadę. Zatem różnica pomiędzy tymi wartościami wynosi 6,35%.

Różnicy w otrzymanych wartościach mogą między innymi być spowodowane zastosowaniem rzeczywistego wzmacniacza (np. rzeczywisty wzmacniacz ma rezystancje skończone) oraz zaszumieniem wyjściowego sygnału, o czym wspominaliśmy podczas ćwiczenia.

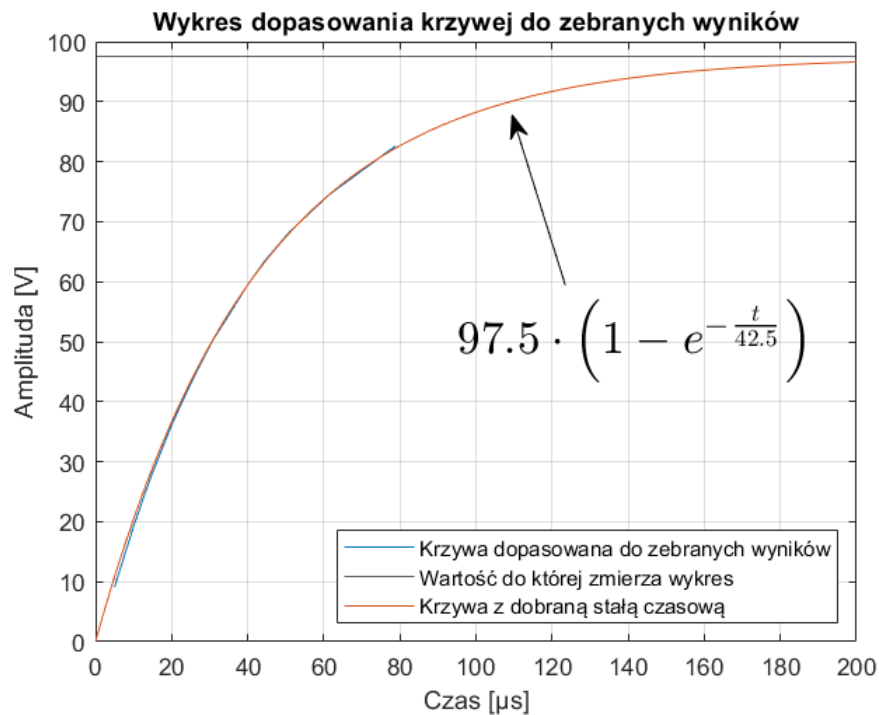
3.1.2 Odpowiedź układu na skok jednostkowy

Dokonałiśmy pomiaru odpowiedzi układu podając sygnał na wejściu o małej amplitudzie, okresie 1 ms oraz o przebiegu prostokątnym. Odczytaliśmy kilkanaście punktów (napiecie oraz czas) na narastającym odcinku odpowiedzi filtru. Zebrane pomiary znajdują się w tabeli poniżej:

Tabela 2: Amplituda sygnału na wyjściu w zależności od czasu narastania

Δx [μs]	Δy [mV]	Δx [μs]	Δy [mV]
5,0	9,1	30,8	50,2
10,0	19,2	35,0	54,4
12,6	24,0	39,8	59,3
15,0	28,2	44,4	63,4
17,6	32,3	51,0	68,3
20,2	36,4	61,4	74,5
23,6	41,1	78,8	82,6
26,8	45,3		

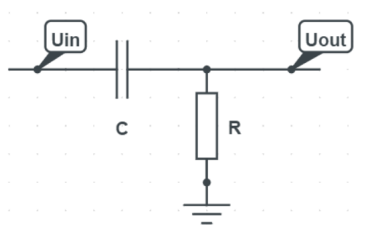
Na podstawie zebranych wyników sporządzimy wykres oraz dopasujemy zależność eksponencjalną:



Rysunek 5: Wyznaczenie stałej czasowej dopasowując krzywą $A \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$

Z wykresu odczytamy wartość stałej czasowej. Wyniosła ona $42,5 \mu s$. Wartość teoretyczna dla filtra o takich parametrach podana w opisie ćwiczenia wynosi $44 \mu s$. Zatem wyniki te różnią się o $3,4\%$, co świadczy o prawidłowo wykonanym ćwiczeniu.

3.2 Filtr górnoprzepustowy bierny I-rzędu (CR)



Rysunek 6: Schemat filtra górnoprzepustowego I rzędu

Układ skonfigurowaliśmy korzystając z filtra górnoprzepustowego I rzędu tak jak na powyższym schemacie (rys. 6), skorzystaliśmy również z płytki PCB (rys. 1). Filtr wykorzystany w doświadczeniu miał następujące parametry: $C = 2.2\text{ nF}$, $R = 20\text{ k}\Omega$, a stała czasowa $\tau = 44\text{ }\mu\text{s}$. Amplituda sygnału na wejściu filtra wyniosła 97.5 mV .

3.2.1 Wyznaczenie charakterystyki amplitudowej $K_u = f(f)$

Wyznaczyliśmy charakterystykę amplitudową $K_u=f(f)$ o przebiegu sinusoidalnym. Dokonaliśmy serii pomiarów amplitud sygnału wyjściowego dla częstotliwości z przedziału od 100 Hz do 300 kHz . Pomiary wzmocnienia znajdują się w tabeli poniżej:

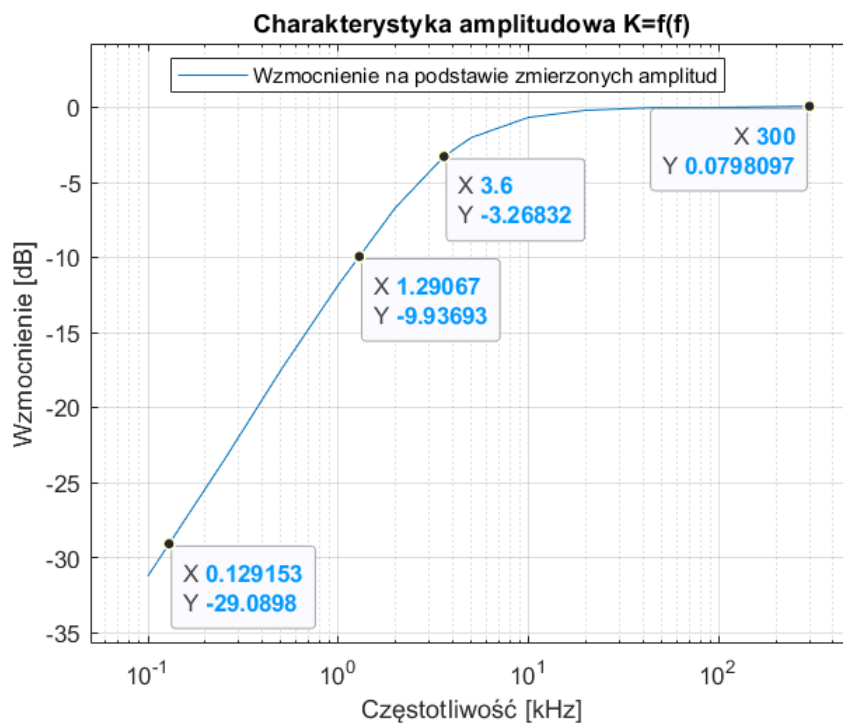
Tabela 3: Amplituda sygnału w zależności od częstotliwości

Częst. [kHz]	Amp. [mV]	Wzm. [dB]	Częst. [kHz]	Amp. [mV]	Wzm. [dB]
0,1	2,675	-31,2336	5,0	77,350	-2,0109
0,3	6,475	-23,5553	10,0	90,325	-0,6639
0,5	13,000	-17,5012	20,0	95,425	-0,1868
1,0	24,950	-11,8387	50,0	97,550	0,0045
2,0	45,225	-6,6725	100,0	97,550	0,0045
3,6	66,925	-3,2683	300,0	98,400	0,0798

Wartości wzmocnienia w trzeciej kolumnie są obliczone według poniższego wzoru:

$$G = 20 \cdot \log \left(\frac{U_{out}}{U_{in}} \right) \quad (3)$$

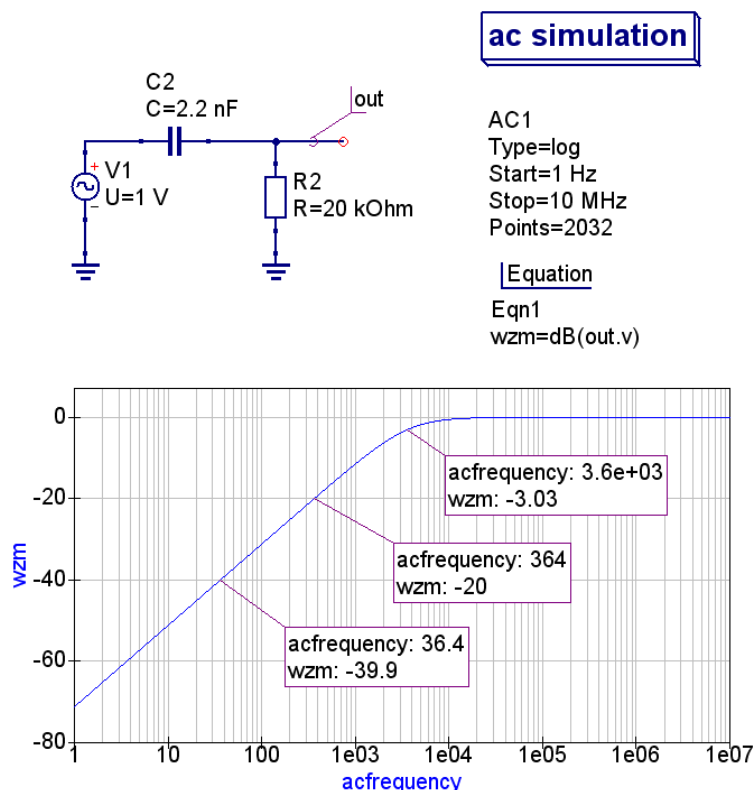
Na podstawie powyższych danych sporządzimy wykres zależności wzmocnienia od częstotliwości:



Rysunek 7: Charakterystyka amplitudowa $K_u = f(f)$ filtra górnoprzepustowego I rzędu

Wzmocnienie filtra w pasmie przepustowym wynosi 0,079 dB, co jest ekwiwalentne 1,009 V/V. Otrzymana wartość jest bardzo bliska wartości teoretycznej 0 dB = 1 V/V. Różnica pomiędzy tymi wartościami jest rzędu 0,9%.

W celu uproszczenia analizy zebranych wyników wykonaliśmy symulację filtra górnoprzepustowego I rzędu w tej samej konfiguracji, co filtr powyżej:



Rysunek 8: Symulacja filtra górnoprzepustowego I rzędu

Zauważmy podobieństwo charakterystyki teoretycznej do rzeczywistej. Częstotliwość graniczna została obliczona z następującego wzoru:

$$f_g = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 20 \times 10^3 \cdot 2,2 \times 10^{-9}} = 3617,16 \text{ (Hz)} \approx 3.6 \text{ (kHz)} \quad (4)$$

Teraz możemy przeanalizować otrzymane wartości wzmocnienia dla częstotliwości granicznej. Teoretyczna wartość wynosi -3,03 dB, natomiast podczas eksperymentu otrzymaliśmy -3,268 dB. Zatem różnica pomiędzy tymi wartościami jest równa 7,85%.

Następnie rozpatrzmy nachylenie asymptotyczne charakterystyki w pasmie zaporowym. Wartość teoretyczna odczytana z (rys. 8) wynosi 19,9 dB na dekadę, natomiast otrzymaliśmy 19,153 db na dekadę. Zatem różnica pomiędzy tymi wartościami wynosi 3,75%.

Różnicy w otrzymanych wartościach mogą między innym być spowodowane zastosowaniem rzeczywistego wzmacniacza (np. rzeczywisty wzmacniacz ma rezystancje skończone) oraz zaszumieniem wyjściowego sygnału, o czym wspominaliśmy podczas ćwiczenia.

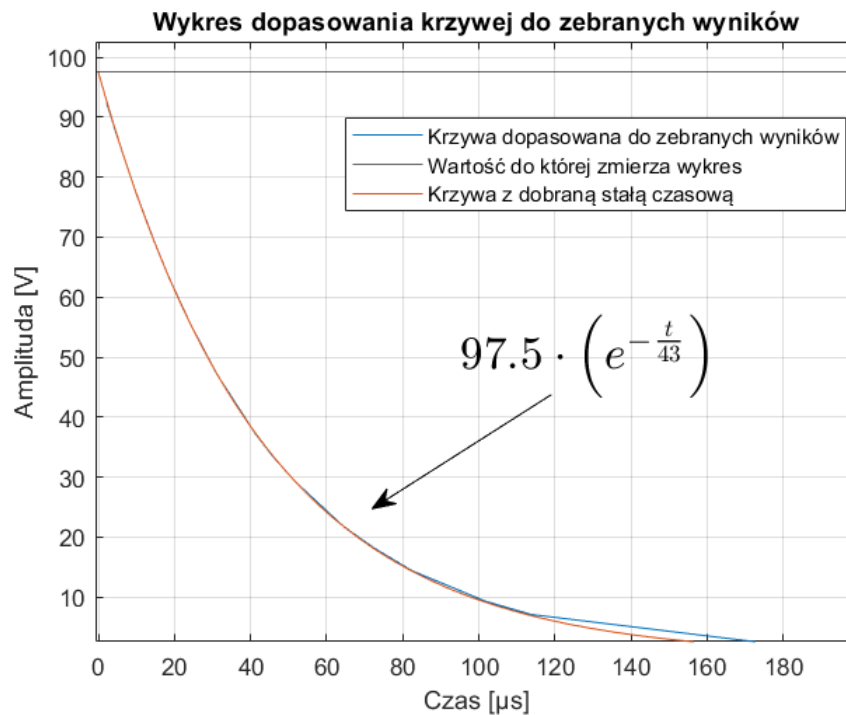
3.2.2 Odpowiedź układu na skok jednostkowy

Dokonałiśmy pomiaru odpowiedzi układu podając sygnał na wejściu o małej amplitudzie, okresie 1 ms oraz o przebiegu prostokątnym. Odczytaliśmy kilkanaście punktów (napięcie oraz czas) na opadającym odcinku odpowiedzi filtru. Zebrane pomiary znajdują się w tabeli poniżej:

Tabela 4: Amplituda sygnału na wyjściu w zależności od czasu narastania

Δx [μs]	Δy [mV]	Δx [μs]	Δy [mV]
2,2	92,4	41,2	37,3
4,6	87,5	45,8	33,5
6,4	84,0	51,8	29,2
10,0	77,2	64,4	21,8
14,8	69,1	72,4	18,2
18,4	63,5	82,4	14,4
24,2	55,5	101,8	9,3
31,2	47,1	113,8	7,1

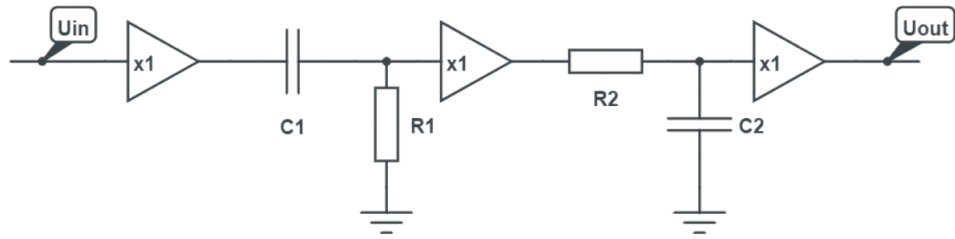
Na podstawie zebranych wyników sporządzimy wykres oraz dopasujemy zależność eksponencjalną:



Rysunek 9: Wyznaczenie stałej czasowej dopasowując krzywą $Ae^{-\frac{t}{\tau}}$

Z wykresu odczytamy wartość stałej czasowej. Wyniosła ona 43 μs . Wartość teoretyczna dla filtra o takich parametrach podana w opisie ćwiczenia wynosi 44 μs . Zatem wyniki te różnią się o 2,27%, co świadczy o prawidłowo wykonanym ćwiczeniu.

3.3 Filtr pasmowo-przepustowy



Rysunek 10: Schemat filtru pasmowo-przepustowego

Układ skonfigurowaliśmy jako filtr pasmowo-przepustowy tak jak na powyższym schemacie (rys. 10) przy użyciu filtra dolnoprzepustowego I rzędu oraz filtra górnoprzepustowego I rzędu, skorzystaliśmy również z płytki PCB (rys. 1). Filtry wykorzystane w doświadczeniu miały następujące parametry: $C_1 = 2.2\text{ nF}$, $R_1 = 20\text{ k}\Omega$, $R_2 = 20\text{ k}\Omega$, $C_2 = 2.2\text{ nF}$, a obie stałe czasowe były równe $\tau = 44\text{ }\mu\text{s}$. Amplituda sygnału na wejściu filtru wyniosła 97.5 mV .

3.3.1 Wyznaczenie charakterystyki amplitudowej $K_u = f(f)$

Wyzaczyliśmy charakterystykę amplitudową $K_u = f(f)$ o przebiegu sinusoidalnym. Dokonailiśmy serii pomiarów amplitud sygnału wyjściowego dla częstotliwości z przedziału od 100 Hz do 300 kHz . Pomiary wzmocnienia znajdują się w tabeli poniżej:

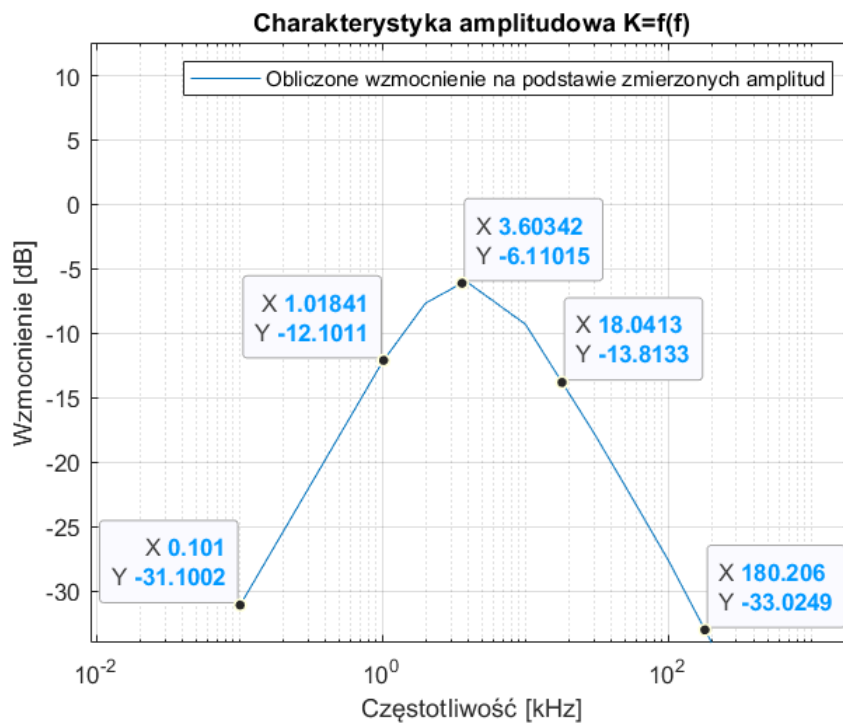
Tabela 5: Amplituda sygnału w zależności od częstotliwości

Częst. [kHz]	Amp. [mV]	Wzm. [dB]	Częst. [kHz]	Amp. [mV]	Wzm. [dB]
0,1	2,716	-31,1002	10,0	33,425	-9,2987
0,5	12,375	-17,9292	30,0	12,700	-17,7040
1,0	23,875	-12,2212	50,0	7,850	-21,8827
2,0	40,375	-7,6578	100,0	4,050	-27,6310
3,6	48,250	-6,1102	200,0	1,950	-33,9794
4,0	48,250	-6,1102	300,0	1,200	-38,1965

Wartości wzmocnienia w trzeciej kolumnie są obliczone według poniższego wzoru:

$$G = 20 \cdot \log \left(\frac{U_{out}}{U_{in}} \right) \quad (5)$$

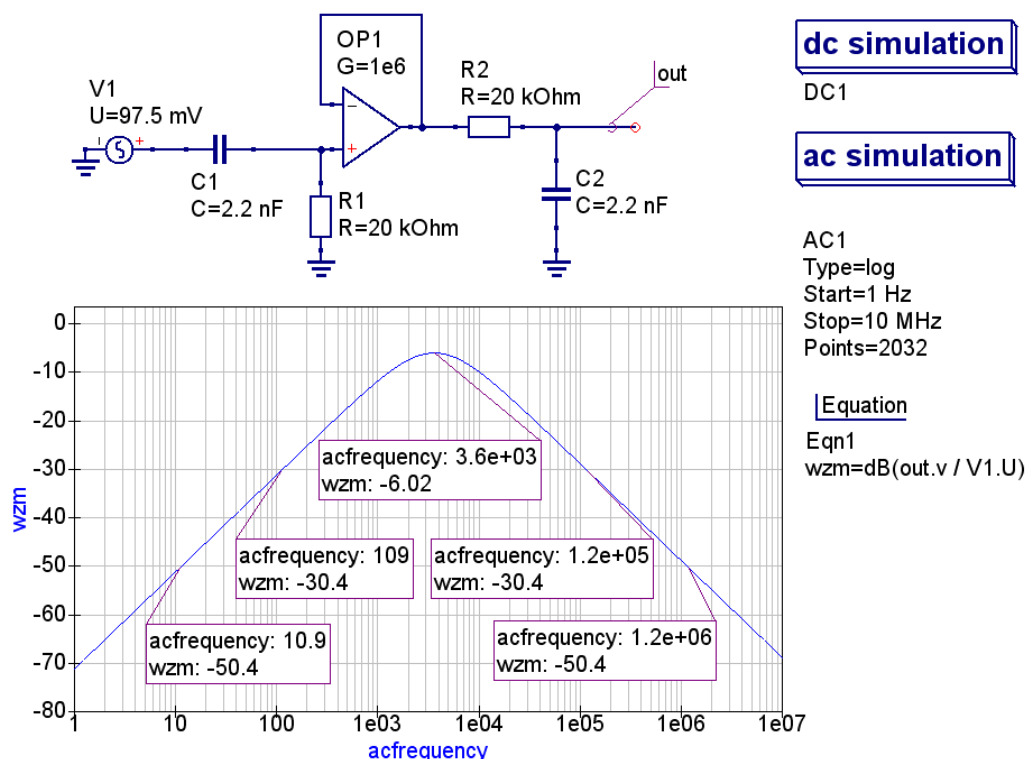
Na podstawie powyższych danych sporządzimy wykres zależności wzmocnienia od częstotliwości:



Rysunek 11: Charakterystyka amplitudowa $K_u = f(f)$ filtra pasmowoprzepustowego

Wzmocnienie filtra w pasmie przepustowym wynosi -6,11 dB, co jest ekwiwalentne 0,495 V/V. Otrzymana wartość jest bardzo bliska wartości teoretycznej -6,02 dB = 0.5 V/V. Różnica pomiędzy tymi wartościami jest rzędu 1%.

W celu uproszczenia analizy zebranych wyników wykonaliśmy symulację filtra pasmowoprzepustowego w tej samej konfiguracji, co filtr powyżej:



Rysunek 12: Symulacja filtra dolnoprzepustowego I rzędu

Zauważmy podobieństwo charakterystyki teoretycznej do rzeczywistej. Częstotliwość graniczna została obliczona z następującego wzoru:

$$f_g = \frac{1}{2\pi R_1 C_1} = \frac{1}{2\pi R_2 C_2} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 10 \times 10^3 \cdot 2,2 \times 10^{-9}} = 3617,16 \text{ (Hz)} \approx 3.6 \text{ (kHz)} \quad (6)$$

Następnie rozpatrzmy nachylenie asymptotyczne charakterystyki w pasmie zaporowym. Wartość teoretyczna w tym szczególnym przypadku odczytana z (rys. 12) jest równa co do wartości bezwzględnej po lewej i po prawej stronie i wynosi na moduł 20 dB na dekadę, natomiast w rzeczywistym przypadku musimy rozpatrzyć wkład od filtrów dolnoprzepustowego i górnoprzepustowego osobno. Dla lewej części otrzymanej charakterystyki widzimy, że nachylenie wynosi 19 dB na dekadę, co stanowi różnicę z wartością teoretyczną 5%. Dla prawej strony nachylenie wynosi 19.21 dB na dekadę, a różnica z wartością teoretyczną około 3.95%.

Różnice w otrzymanych wartościach mogą między innym być spowodowane zastosowaniem rzeczywistego wzmacniacza (np. rzeczywisty wzmacniacz ma rezystancje skończone) oraz zaszumieniem wyjściowego sygnału, o czym wspominaliśmy podczas ćwiczenia.

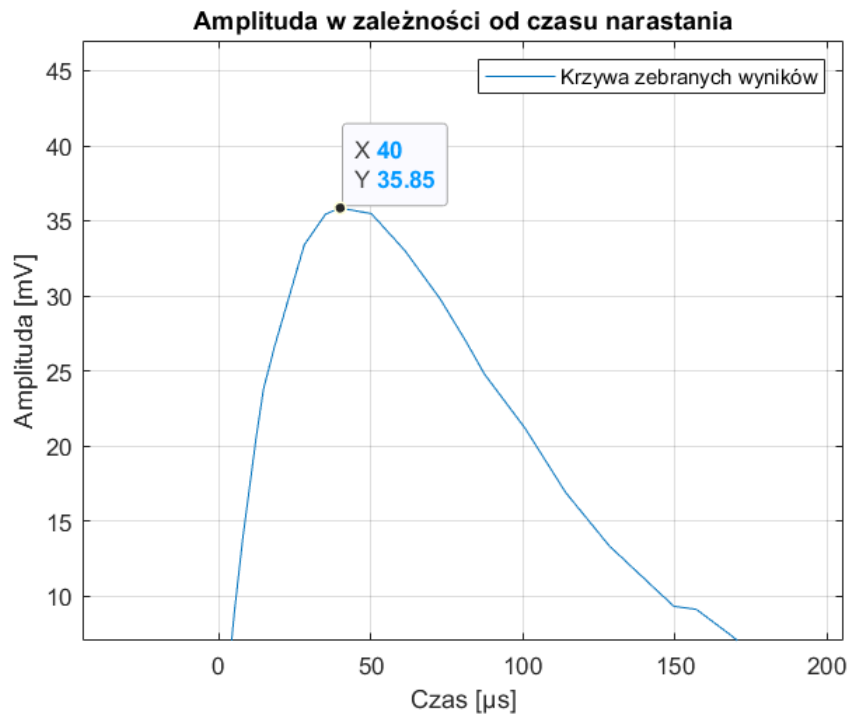
3.3.2 Odpowiedź układu na skok jednostkowy

Dokonaliśmy pomiaru odpowiedzi układu podając sygnał na wejściu o małej amplitudzie, okresie 1 ms oraz o przebiegu prostokątnym. Odczytaliśmy kilkanaście punktów (napięcie oraz czas) na narastającym odcinku odpowiedzi filtru. Zebrane pomiary znajdują się w tabeli poniżej:

Tabela 6: Amplituda sygnału na wyjściu w zależności od czasu narastania

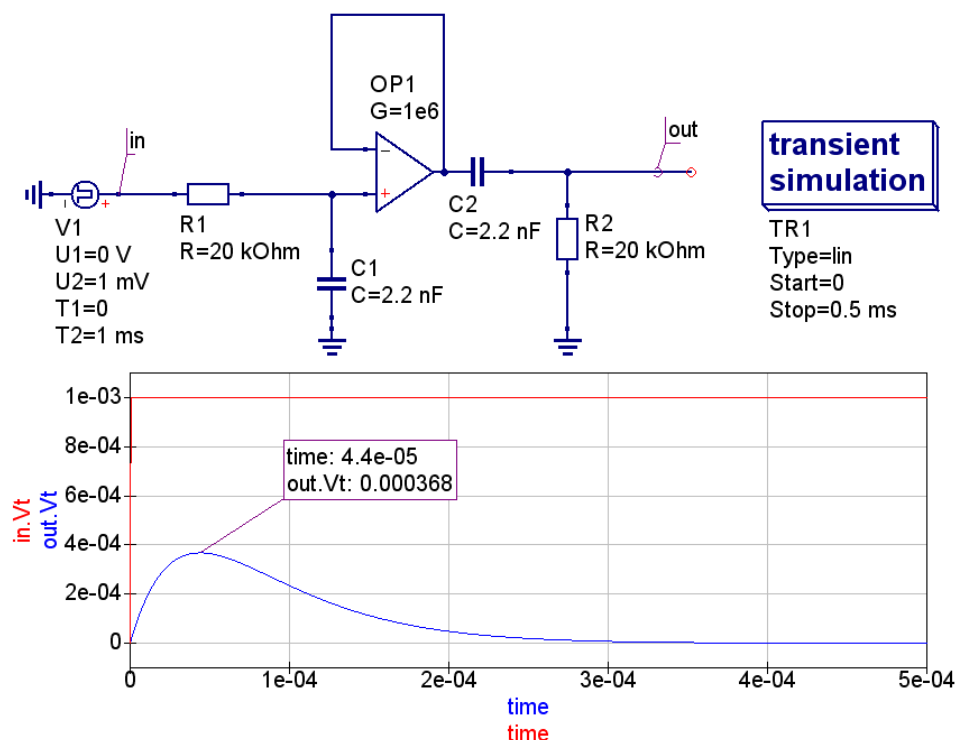
Δx [μs]	Δy [mV]	Δx [μs]	Δy [mV]
2,6	3,350	72,8	29,800
5,2	8,850	81,2	27,000
8,0	13,850	87,4	24,775
12,4	20,575	100,8	21,150
14,8	23,775	114,1	16,875
18,4	26,600	128,4	13,325
28,2	33,400	149,6	9,300
35,2	35,450	157,0	9,100
40,0	35,850	168,6	7,325
50,2	35,480	192,2	3,400
61,2	33,025	233,0	1,775

Na podstawie zebranych wyników sporządzimy wykres w celu określenia stałej czasowej:



Rysunek 13: Wyznaczenie stałej czasowej

W celu uproszczenia analizy zebranych wyników wykonaliśmy symulację odpowiedzi na skok jednostkowy filtra pasmowoprzepustowego w tej samej konfiguracji, co filtr powyżej:

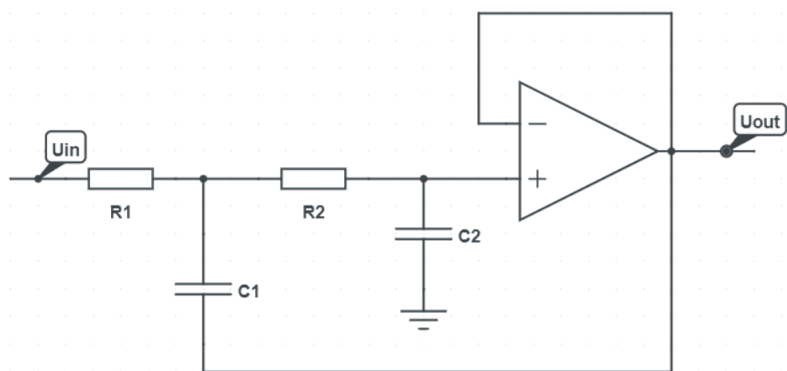


Rysunek 14: Symulacja odpowiedzi na skok jednostkowy filtra pasmowoprzepustowego

Zauważmy podobieństwo charakterystyki teoretycznej do rzeczywistej. Rzeczywistą wartość czasu dla którego sygnał osiąga maksimum odczytamy z obrazku (rys. 13). Jest ona równa $40\text{ }\mu\text{s}$. Teoretyczną wartość odczytamy z obrazku (rys. 14). Jest ona równa $44\text{ }\mu\text{s}$. Zatem różnica pomiędzy tymi wartościami wynosi 9%.

Różnica w otrzymanych wartościach może być spowodowana zaszumieniem wyjściowego sygnału, o czym wspominaliśmy podczas ćwiczenia.

3.4 Filtr dolnoprzepustowy aktywny II rzędu (Krytyczny)



Rysunek 15: Schemat filtra ktytycznego

Układ skonfigurowaliśmy jako filtr dolnoprzepustowy aktywny II rzędu tak jak na powyższym schemacie (rys. 15) przy użyciu filtra o tłumieniu krytycznym, skorzystaliśmy również z płytki PCB (rys. 1). Filtr wykorzystany w doświadczeniu miał następujące parametry: $R_1 = R_2 = 10\text{ k}\Omega$, $C_1 = C_2 = 1,5\text{ nF}$. Amplituda sygnału na wejściu filtru wyniosła 66 mV.

3.4.1 Wyznaczenie charakterystyki amplitudowej $K_u = f(f)$

Wyznaczyliśmy charakterystykę amplitudową $K_u = f(f)$ o przebiegu sinusoidalnym. Dokonailiśmy serii pomiarów amplitud sygnału wyjściowego dla częstotliwości z przedziału od 100 Hz do 200 kHz. Pomiary wzmocnienia znajdują się w tabeli poniżej:

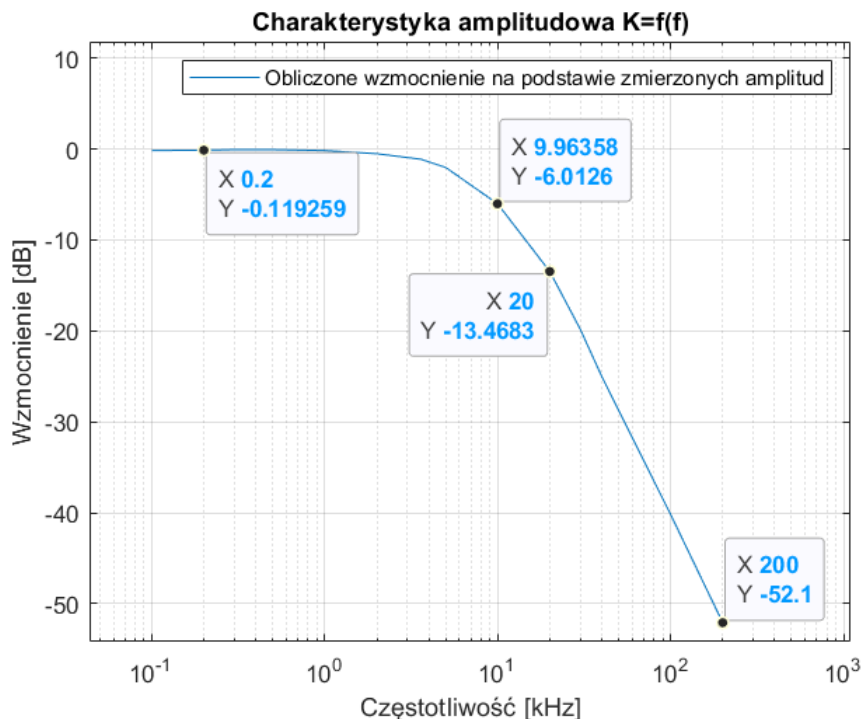
Tabela 7: Amplituda sygnału w zależności od częstotliwości

Częst. [kHz]	Amp. [mV]	Wzm. [dB]	Częst. [kHz]	Amp. [mV]	Wzm. [dB]
0,1	64,800	-0,1594	5,0	52,350	-2,0125
0,2	65,100	-0,1193	10,0	32,950	-6,0338
0,3	65,550	-0,0594	20,0	14,000	-13,4683
0,5	65,550	-0,0594	30,0	6,750	-19,8048
1,0	64,800	-0,1594	40,0	3,700	-25,0268
2,0	62,250	-0,5081	100,0	0,645	-40,1997
3,6	58,050	-1,1148	200,0	0,160	-52,3085

Wartości wzmocnienia w trzeciej kolumnie są obliczone według poniższego wzoru:

$$G = 20 \cdot \log \left(\frac{U_{out}}{U_{in}} \right) \quad (7)$$

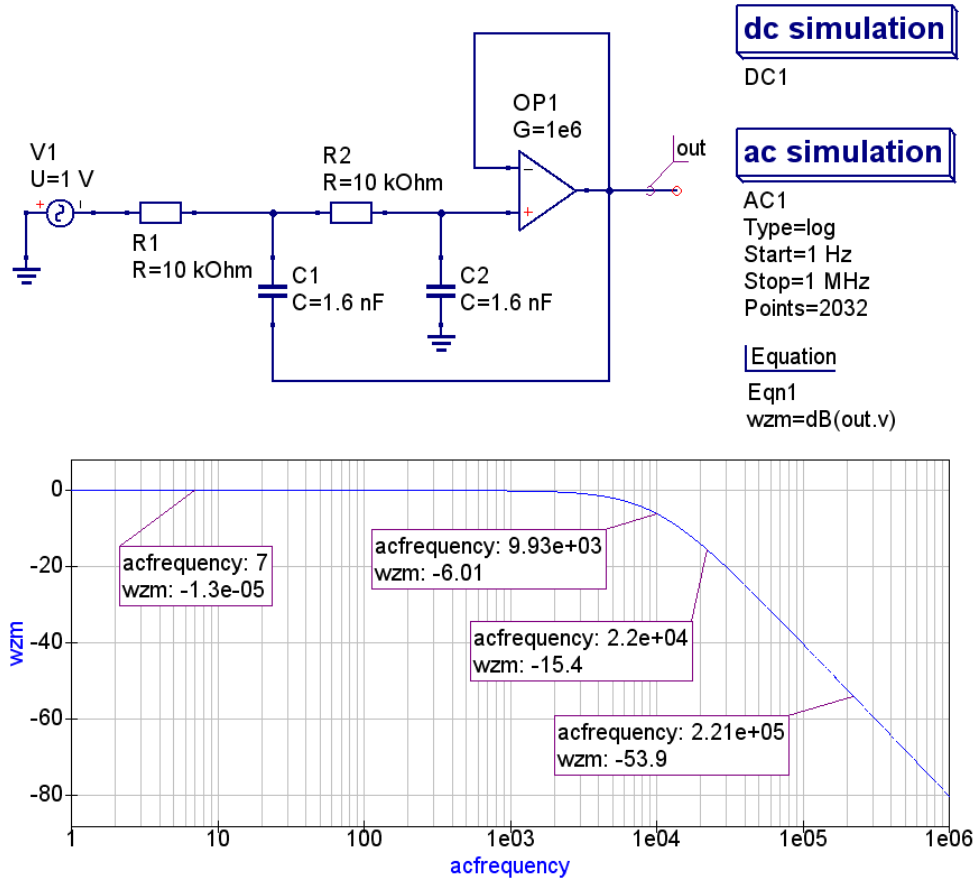
Na podstawie powyższych danych sporządzimy wykres zależności wzmocnienia od częstotliwości:



Rysunek 16: Charakterystyka amplitudowa $K_u = f(f)$ filtru o tłumieniu krytycznym

Wzmocnienie filtra w pasmie przepustowym wynosi -0,119 dB, co jest ekwiwalentne 0.986 V/V. Otrzymana wartość jest bardzo bliska wartości teoretycznej 0 dB = 1 V/V. Różnica pomiędzy tymi wartościami jest rzędu 1,4%.

W celu uproszczenia analizy zebranych wyników wykonaliśmy symulację filtra o tłumieniu krytycznym w tej samej konfiguracji, co filtr powyżej:



Rysunek 17: Symulacja filtra krytycznego

Zauważmy podobieństwo charakterystyki teoretycznej do rzeczywistej. Częstotliwość graniczna została obliczona z następującego wzoru:

$$f_g = \frac{1}{2\pi R_1 C_1} = \frac{1}{2\pi R_2 C_2} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 10 \times 10^3 \cdot 1,6 \times 10^{-9}} = 9947,18 \text{ (Hz)} \approx 9,95 \text{ (kHz)} \quad (8)$$

Teraz możemy przeanalizować otrzymane wartości wzmocnienia dla częstotliwości granicznej. Teoretyczna wartość wynosi -6,01 dB, natomiast podczas eksperymentu otrzymaliśmy -6,0126 dB. Zatem różnica pomiędzy tymi wartościami jest równa 0,043%.

Następnie rozpatrzmy nachylenie asymptotyczne charakterystyki w pasmie zaporowym. Wartość teoretyczna odczytana z (rys. 17) wynosi -38,5 dB na dekadę, natomiast otrzymaliśmy 38,6317 db na dekadę. Zatem różnica pomiędzy tymi wartościami wynosi 0,34%.

Zauważmy, że w tym eksperymencie otrzymaliśmy bardzo dokładny wynik.

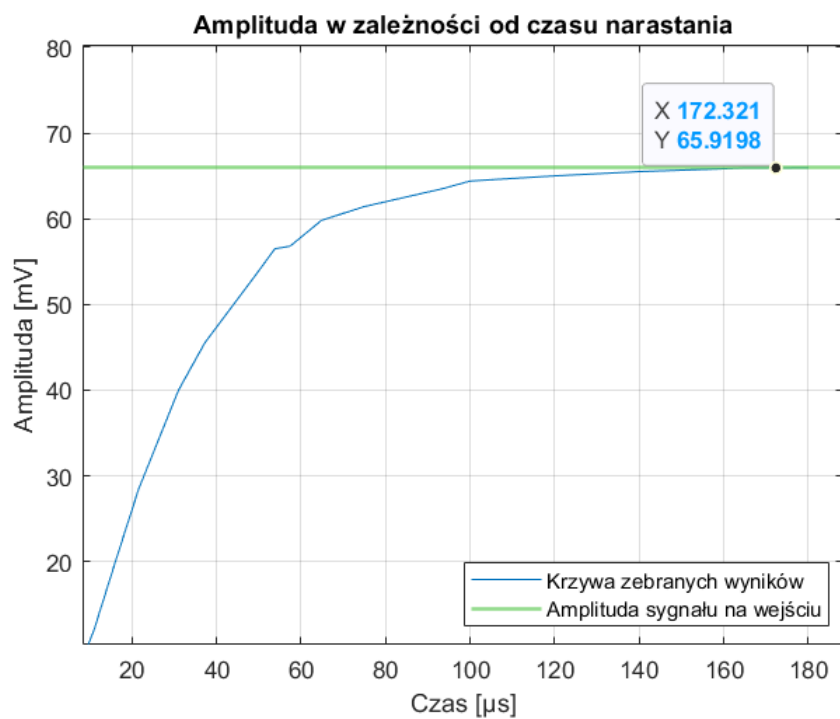
3.4.2 Odpowiedź układu na skok jednostkowy

Dokonałiśmy pomiaru odpowiedzi układu podając sygnał na wejściu o małej amplitudzie, okresie 1 ms oraz o przebiegu prostokątnym. Odczytaliśmy kilkanaście punktów (napięcie oraz czas) na narastającym odcinku odpowiedzi filtru. Zebrane pomiary znajdują się w tabeli poniżej:

Tabela 8: Amplituda sygnału na wyjściu w zależności od czasu narastania

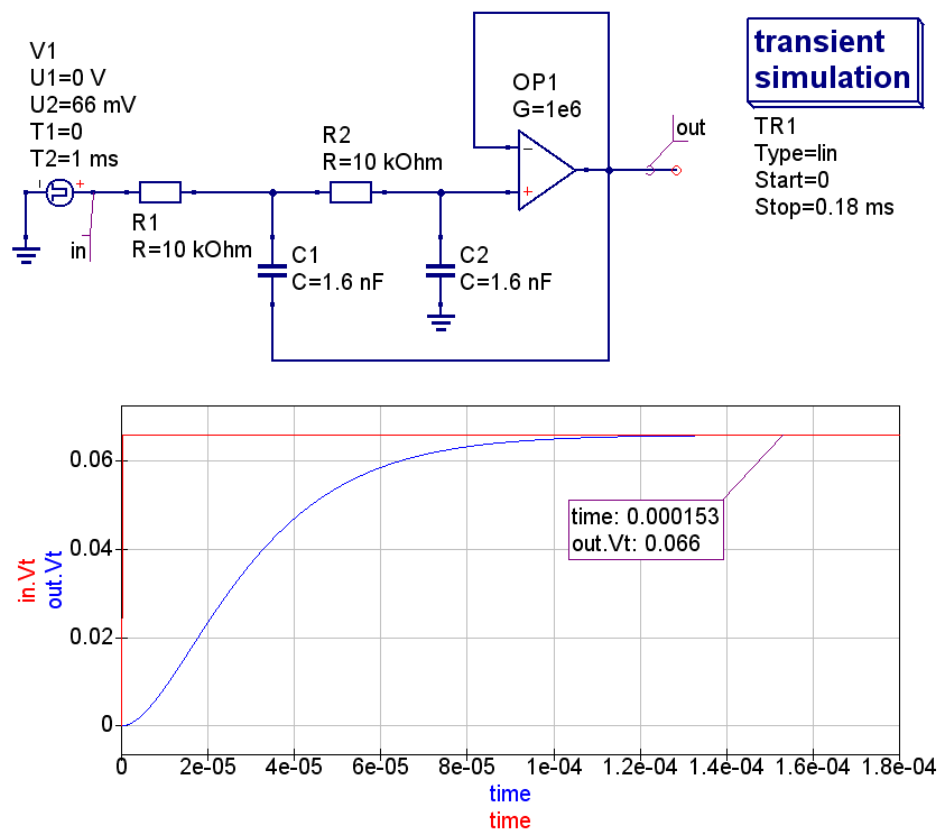
Δx [μs]	Δy [mV]	Δx [μs]	Δy [mV]
6,0	5,80	64,8	59,80
11,0	12,00	74,8	61,40
16,4	20,50	93,4	63,50
21,6	28,50	100,0	64,40
31,0	40,00	120,0	65,00
37,2	45,50	140,0	65,50
49,2	53,40	165,0	65,91
53,8	56,50	180,0	65,93
57,4	56,80		

Na podstawie zebranych wyników sporządzimy wykres zależności amplitudy od czasu narastania:



Rysunek 18: Zmierzona odpowiedź na skok jednostkowy

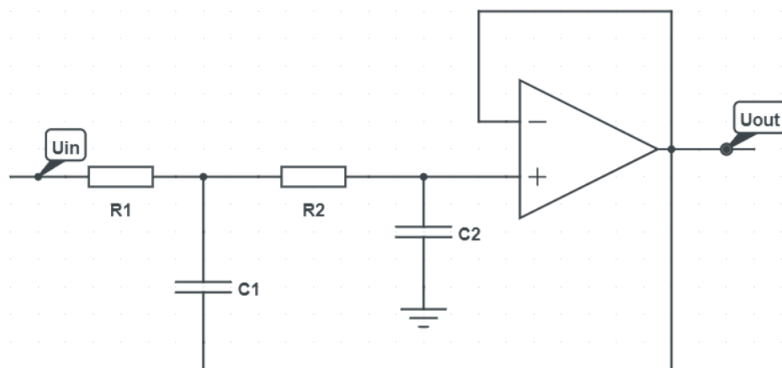
W celu uproszczenia analizy zebranych wyników wykonaliśmy symulację odpowiedzi na skok jednostkowy filtru o wzmacnieniu krytycznym w tej samej konfiguracji, co filtr powyżej:



Rysunek 19: Symulacja odpowiedzi na skok jednostkowy filtru o wzmacnieniu krytycznym

Z wykresów powyżej widzimy podobny kształt oraz podobny czas narastania sygnału. Podczas eksperymentu otrzymaliśmy wartość $172 \mu s$, natomiast wysymulowaliśmy wartość $153 \mu s$. Różnica stanowi około 12%.

3.5 Filtr dolnoprzepustowy aktywny II rzędu (Butterwortha)



Rysunek 20: Schemat filtru ktytycznego

Układ skonfigurowaliśmy jako filtr dolnoprzepustowy aktywny II rzędu tak jak na powyższym schemacie (rys. 20) przy użyciu filtra Butterwortha, skorzystaliśmy również z płytki PCB (rys. 1). Filtr wykorzystany w doświadczeniu miał następujące parametry: $R_1 = R_2 = 10\text{ k}\Omega$, $C_1 = 2.2\text{ nF}$, $C_2 = 1.1\text{ nF}$. Amplituda sygnału na wejściu filtru wyniosła 66 mV.

3.5.1 Wyznaczenie charakterystyki amplitudowej $K_u = f(f)$

Wyznaczyliśmy charakterystykę amplitudową $K_u = f(f)$ o przebiegu sinusoidalnym. Dokonailiśmy serii pomiarów amplitud sygnału wyjściowego dla częstotliwości z przedziału od 100 Hz do 200 kHz. Pomiary wzmocnienia znajdują się w tabeli poniżej:

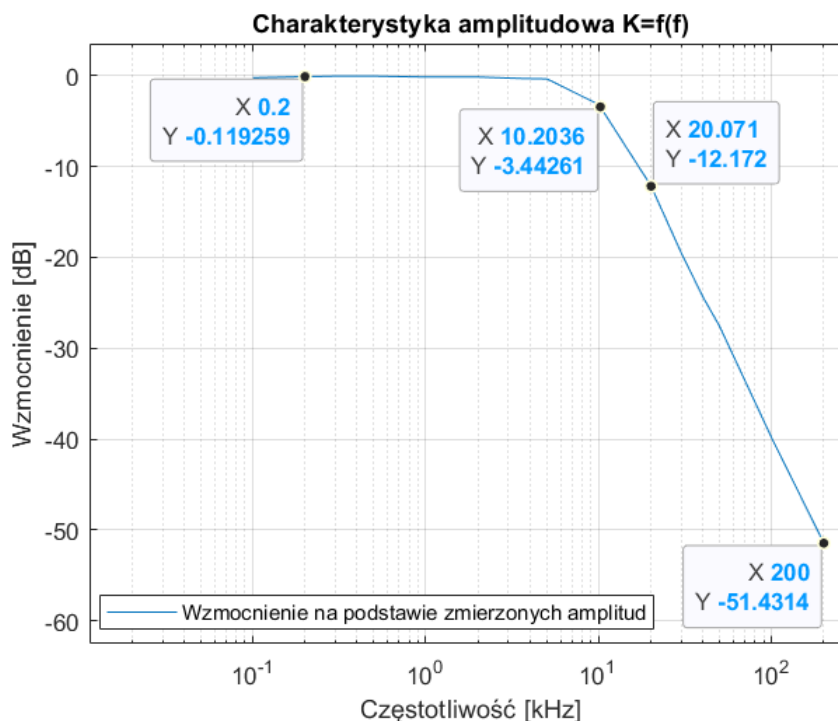
Tabela 9: Amplituda sygnału w zależności od częstotliwości

Częst. [kHz]	Amp. [mV]	Wzm. [dB]	Częst. [kHz]	Amp. [mV]	Wzm. [dB]
0,1	64,250	-0,2334	10,0	45,750	-3,1831
0,2	65,100	-0,1193	20,0	16,375	-12,1073
0,3	65,550	-0,0594	30,0	6,975	-19,5200
0,5	65,550	-0,0594	40,0	4,000	-24,3497
1,0	64,800	-0,1594	50,0	2,750	-27,6042
2,0	64,800	-0,1594	100,0	0,670	-39,8694
3,6	63,600	-0,3217	200,0	0,177	-51,4314
5,0	63,300	-0,3628			

Wartości wzmocnienia w trzeciej kolumnie są obliczone według poniższego wzoru:

$$G = 20 \cdot \log \left(\frac{U_{out}}{U_{in}} \right) \quad (9)$$

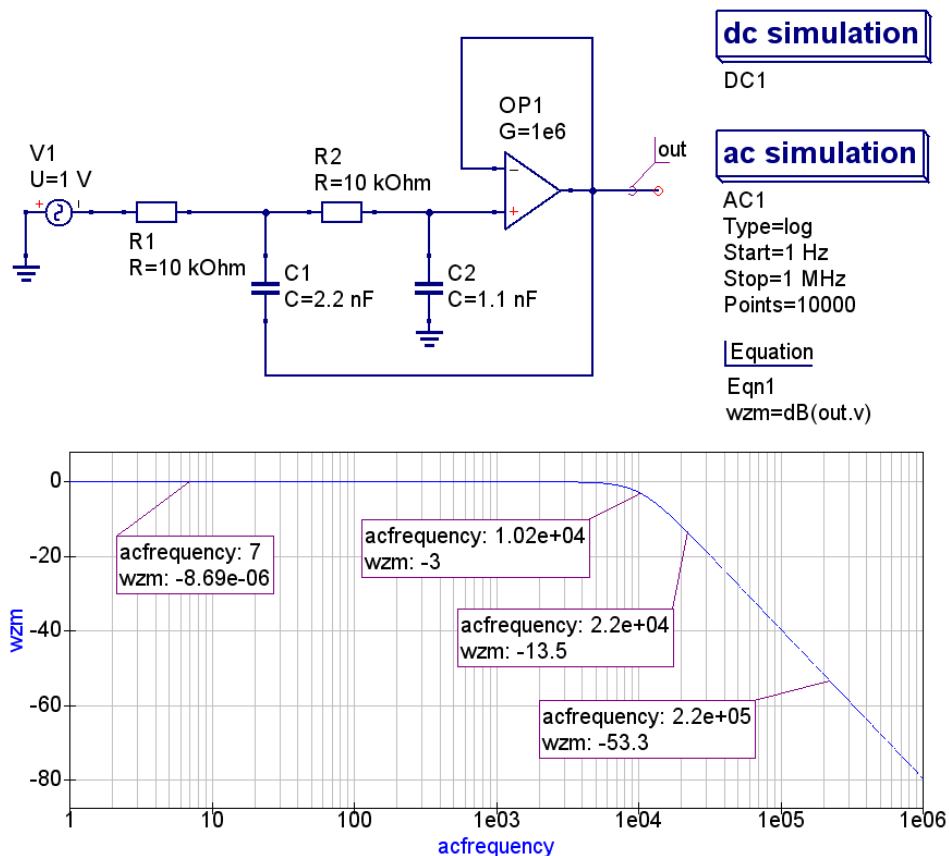
Na podstawie powyższych danych sporządzimy wykres zależności wzmocnienia od częstotliwości:



Rysunek 21: Charakterystyka amplitudowa $K_u = f(f)$ filtru Butterwortha

Wzmocnienie filtra w pasmie przepustowym wynosi -0,119 dB, co jest ekwiwalentne 0.986 V/V. Otrzymana wartość jest bardzo bliska wartości teoretycznej 0 dB = 1 V/V. Różnica pomiędzy tymi wartościami jest rzędu 1,4%.

W celu uproszczenia analizy zebranych wyników wykonaliśmy symulację filtra Butterwortha w tej samej konfiguracji, co filtr powyżej:



Rysunek 22: Symulacja filtra Butterwortha

Zauważmy podobieństwo charakterystyki teoretycznej do rzeczywistej. Częstotliwość graniczna została obliczona z następnego wzoru:

$$f_g = \frac{1}{2\pi R\sqrt{C_1 C_2}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 10 \times 10^3 \cdot \sqrt{1.1 \times 10^{-9} \cdot 2.2 \times 10^{-9}}} = 10230,86 \text{ (Hz)} \approx 10,2 \text{ (kHz)} \quad (10)$$

Teraz możemy przeanalizować otrzymane wartości wzmocnienia dla częstotliwości granicznej. Teoretyczna wartość wynosi -3 dB, natomiast podczas eksperymentu otrzymaliśmy -3.44 dB. Zatem różnica pomiędzy tymi wartościami jest równa 14%.

Następnie rozpatrzmy nachylenie asymptotyczne charakterystyki w pasmie zaporowym. Wartość teoretyczna odczytana z (rys. 17) wynosi -39,8 dB na dekadę, natomiast otrzymaliśmy 39,26 db na dekadę. Zatem różnica pomiędzy tymi wartościami wynosi 1,35%.

Różnica w otrzymanych wartościach może być spowodowana zaszumieniem wyjściowego sygnału, o czym wspominaliśmy podczas ćwiczenia, lub sposobem opracowania wyników. Analizując wzmocnienie dla częstotliwości granicznej zaokrąglamy wartość wzmocnienia w pasmie przenoszenia do 0, gdyż wynosi ono -0,119 dB. Gdybyśmy dążyli do maksymalnie dokładnego wyniku moglibyśmy stwierdzić, że wzmocnienie w tym punkcie wynosi $-3.44 + 0.12 = -3.32 \text{ (dB)}$. Wtedy różnica stanowiłaby 10.5%.

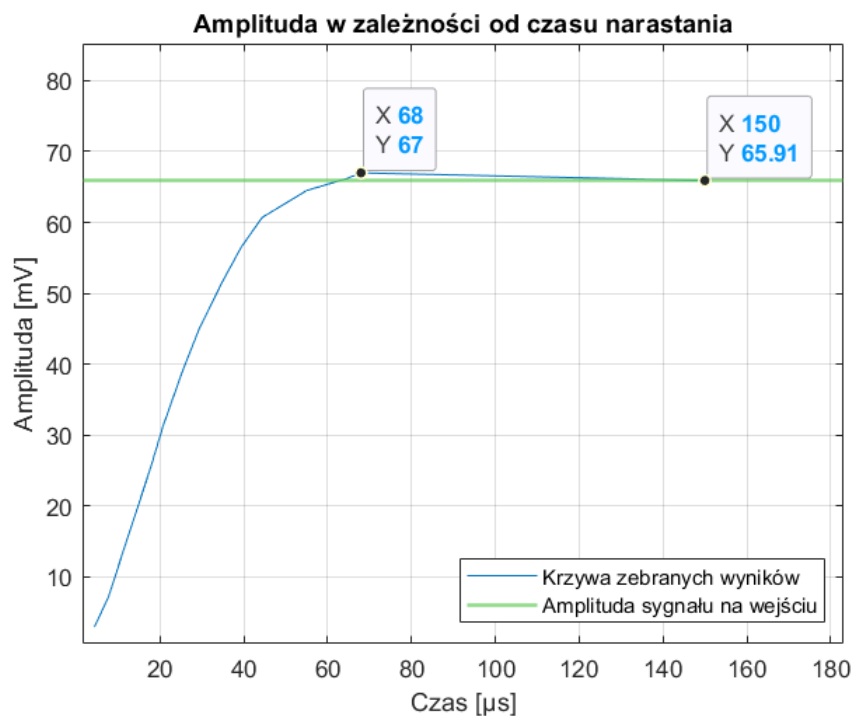
3.5.2 Odpowiedź układu na skok jednostkowy

Dokonałiśmy pomiaru odpowiedzi układu podając sygnał na wejściu o małej amplitudzie, okresie 1 ms oraz o przebiegu prostokątnym. Odczytaliśmy kilkanaście punktów (napięcie oraz czas) na narastającym odcinku odpowiedzi filtru. Zebrane pomiary znajdują się w tabeli poniżej:

Tabela 10: Amplituda sygnału na wyjściu w zależności od czasu narastania

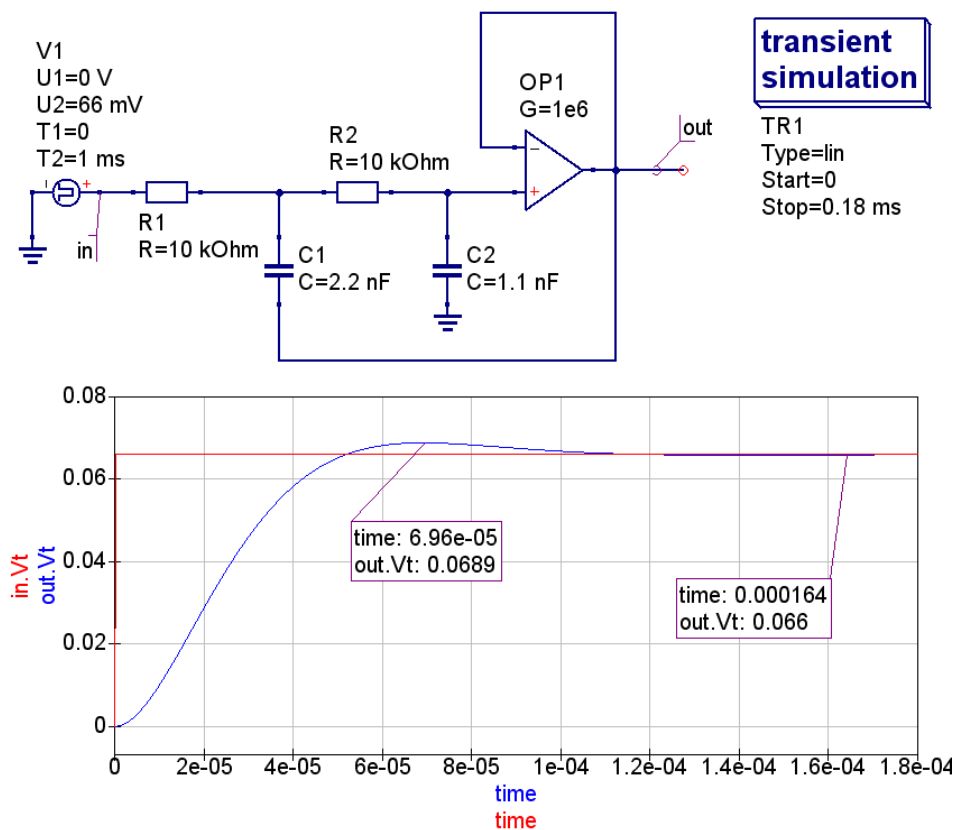
Δx [μs]	Δy [mV]	Δx [μs]	Δy [mV]
4,4	2,90	34,8	51,50
7,8	7,20	39,4	56,50
12,2	15,30	44,4	60,70
17,6	25,00	55,0	64,50
20,8	31,30	64,6	66,20
25,4	39,00	68,0	67,00
29,4	45,00	150,0	65,91

Na podstawie zebranych wyników sporządzimy wykres zależności amplitudy od czasu narastania:



Rysunek 23: Zmierzona odpowiedź filtru Butterwortha na skok jednostkowy

W celu uproszczenia analizy zebranych wyników wykonaliśmy symulację odpowiedzi na skok jednostkowy filtru Butterwortha w tej samej konfiguracji, co filtr powyżej:



Rysunek 24: Symulacja odpowiedzi na skok jednostkowy filtru Butterwortha

Z wykresów powyżej widzimy podobny kształt oraz podobny czas narastania sygnału. Podczas eksperymentu otrzymaliśmy wartość 67 mV jako maksymalną amplitudę, natomiast wysymulowaliśmy wartość 68.9 mV. Różnica stanowi około 2,76%.