

# **Sprawozdanie**

## Ćwiczenie 2

**Jan Kwinta**

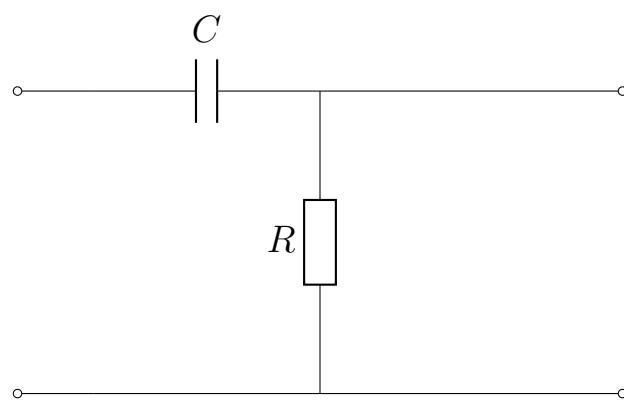
Prowadzący ćwiczenia: dr. Rafał Lalik  
(w zastępstwie za dr. Szymona Niedźwieckiego)

Data wykonania: 29 marca 2023

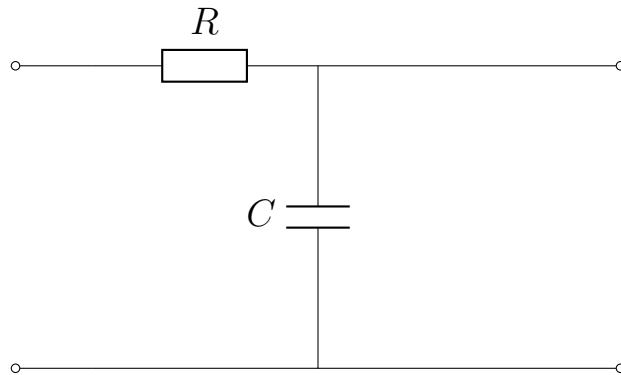
### **Wstęp**

Przedmiotem drugich laboratoriów z Elektroniki Cyfrowej były czwórnikи bierne. Czwórnikiem nazywamy układ elektryczny posiadający dwie pary zacisków. Jedna z par stanowi wejście układu, a druga jego wyjście. Czwórnikи montowane i analizowane przeze mnie w trakcie laboratoriów to filtry górnoprzepustowy, dolno- i średnoprzepustowy. Są to układy odpowiedzialne za przepuszczanie lub blokowanie sygnałów w zależności od ich częstotliwości.

Filtr górnoprzepustowy blokuje sygnały o niskich częstotliwościach. Jest też nazywany układem CR (składa się z kondensatora i rezystora) lub układem różniczkującym (wyjście tego czwórnika śledzi zróżniczkowany sygnał wejściowy).



Filtr dolnoprzepustowy blokuje sygnały o wysokich częstotliwościach. Jest też nazywany układem RC (składa się z rezystora i kondensatora) lub układem całkującym (wyjście tego czwórnika śledzi z całkowany sygnał wejściowy).

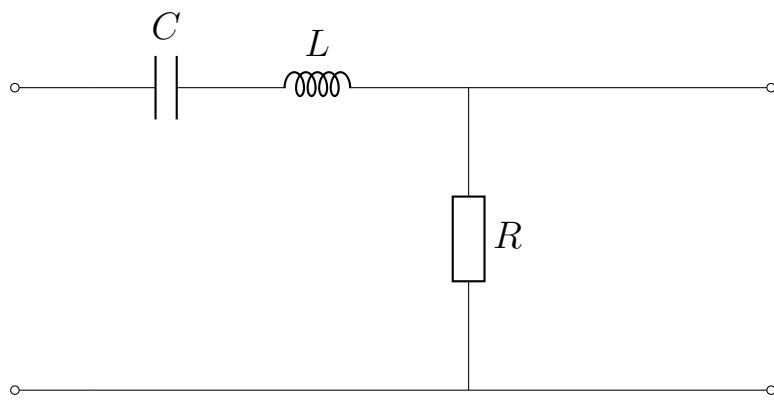


Częstotliwość graniczna filtru to wartość częstotliwości, dla której kończy się umowne pasmo przepustowe filtru. To znaczy, że poza tą wartością tłumienie sygnału w stosunku do sygnału wewnątrz pasma przepustowego staje się większe niż 3 dB. Teoretyczna wartość częstotliwości granicznej dla filtrów górnoprzepustowych i dolnoprzepustowych wynosi:

$$f_g = \frac{1}{2\pi\tau}$$

gdzie  $\tau$  to stała czasowa wynosząca  $\tau = RC$

Filtr środkowoprzepustowy to układ blokujący zarówno wysokie jak i niskie częstotliwości, a przepuszczający sygnały "w środku" - stąd nazwa. Nazywany jest też układem RLC, bo oprócz kondensatora i opornika składa się również z cewki.

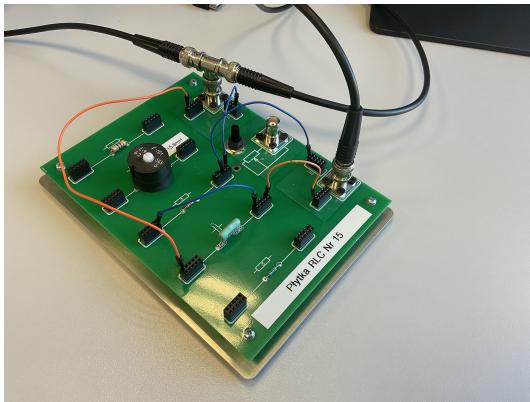


Częstotliwość rezonansowa (czyli wartość częstotliwości, dla której w obwodzie RLC występuje rezonans) ma teoretyczną wartość równą:

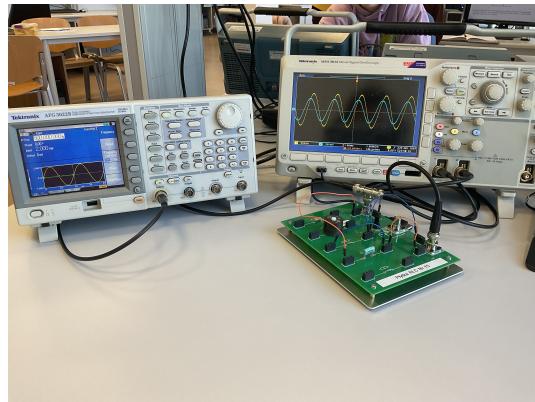
$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

## Ćwiczenie 2.1

Zmontowanie układu różniczkującego, zmierzenie stosunku amplitudy sygnału wejściowego do wyjściowego oraz kąta przesunięcia fazowego w zależności od częstotliwości. Przedstawienie tych wartości na wykresie i wyznaczenie dolnej częstotliwości granicznej.



(a)



(b)

Montując układ CR użyłem rezystora o oporze  $6.8 \text{ } k\Omega$  oraz kondensatora o pojemności  $47 \text{ } nF$ . Stała czasowa tego układu wynosi:

$$\tau = RC = 6.8 \text{ } [k\Omega] \cdot 47 \text{ } [nF] = 6.8 \cdot 47 \cdot 10^3 \cdot 10^{-9} \text{ } [s] = 319.6 \cdot 10^{-6} \text{ } [s] = 0.3196 \text{ } [ms]$$

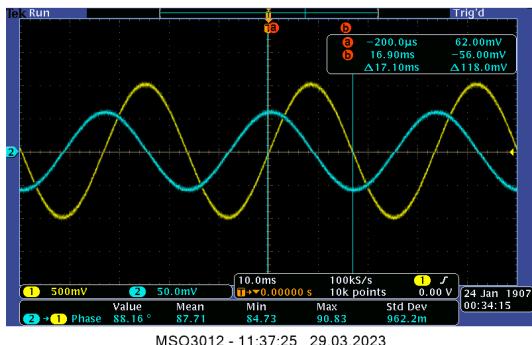
Teoretyczna częstotliwość graniczna powinna więc wynosić:

$$f_g = \frac{1}{2\pi\tau} = \frac{1}{2\pi \cdot 319.6} \cdot 10^6 \left[ \frac{1}{s} \right] = 497.98 \text{ } [Hz]$$

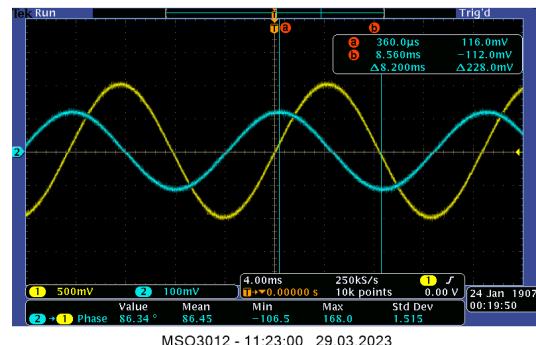
Podałem na wejście układu sygnał sinusoidalny o amplitudzie  $2 \text{ V}_{pp}$  o częstotliwościach od  $30 \text{ Hz}$  do  $8 \text{ kHz}$ . Wartości amplitudy wyjściowej oraz przesunięcia fazowego wynosiły jak w tabeli poniżej:

Częstotliwość	Amplituda wyjściowa	Przesunięcie fazowe	Stosunek $U_{WY}/U_{WE}$
$30 \text{ Hz}$	$118 \text{ mV}$	$88.16^\circ$	0.059
$60 \text{ Hz}$	$228 \text{ mV}$	$86.34^\circ$	0.114
$120 \text{ Hz}$	$448 \text{ mV}$	$78.01^\circ$	0.224
$250 \text{ Hz}$	$800 \text{ mV}$	$63.8^\circ$	0.4
$500 \text{ Hz}$	$1.38 \text{ V}$	$46.37^\circ$	0.69
$1 \text{ kHz}$	$1.74 \text{ V}$	$26.54^\circ$	0.87
$2 \text{ kHz}$	$1.92 \text{ V}$	$14.83^\circ$	0.96
$4 \text{ kHz}$	$1.96 \text{ V}$	$7.159^\circ$	0.98
$8 \text{ kHz}$	$2 \text{ V}$	$2.882^\circ$	1

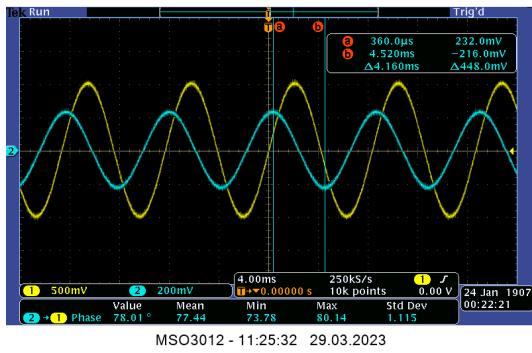
Zamieszczam poniżej odczyty oscyloskopu. Kanał 1 (żółty) - sygnał wejściowy, kanał 2 (niebieski) - sygnał wyjściowy.



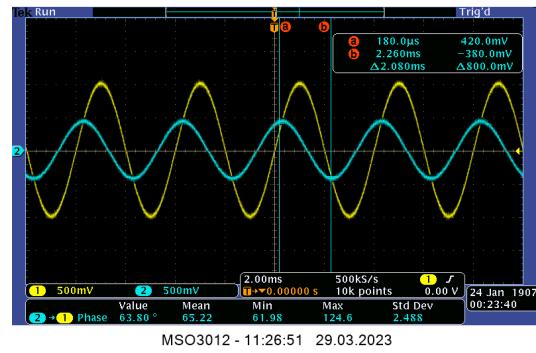
(c) 30 Hz



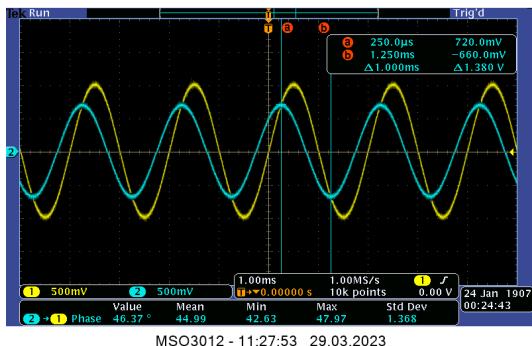
(d) 60 Hz



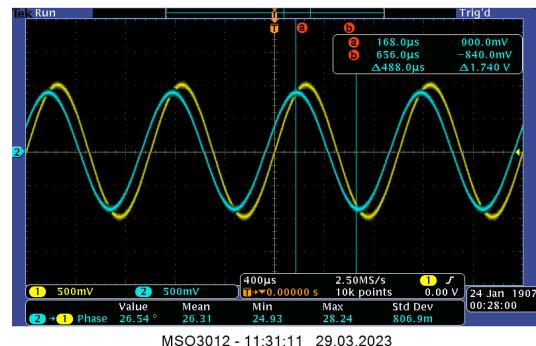
(e) 120 Hz



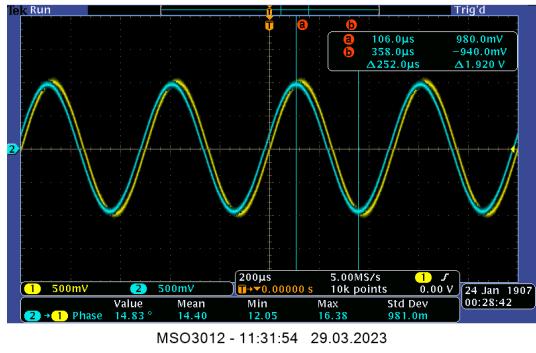
(f) 250 Hz



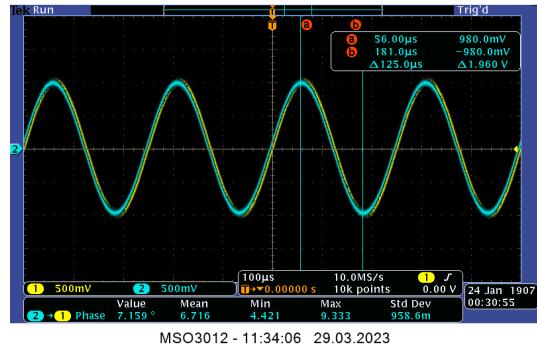
(g) 500 Hz



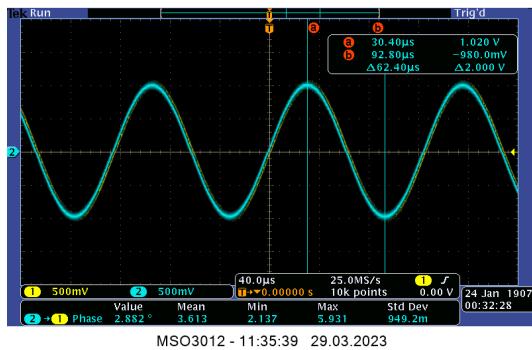
(h) 1 kHz



(i) 2 kHz

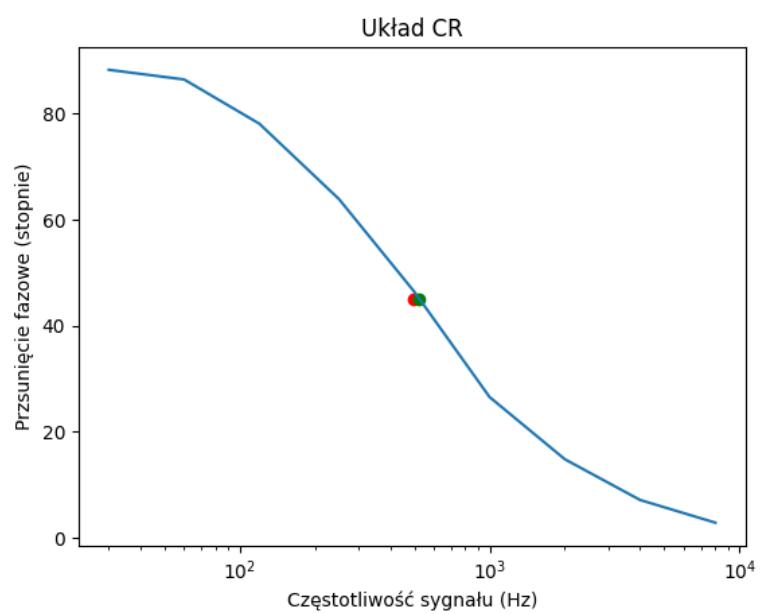
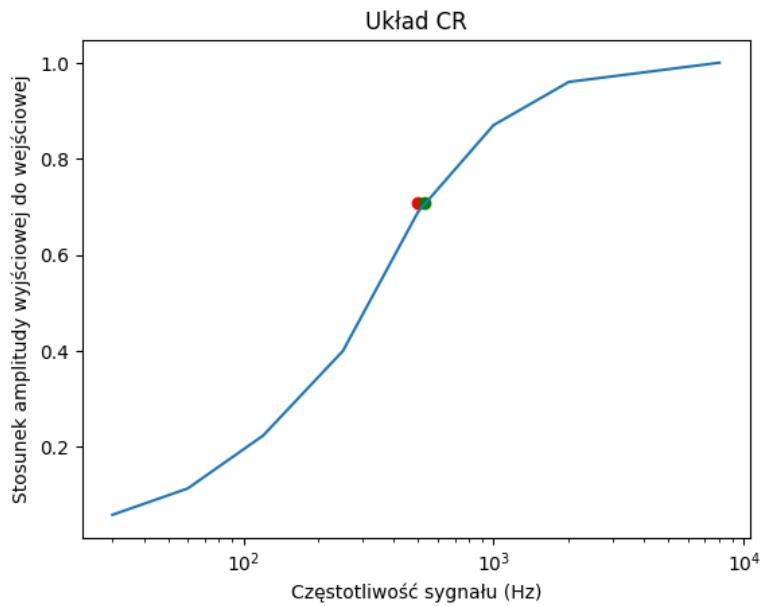


(j) 4 kHz



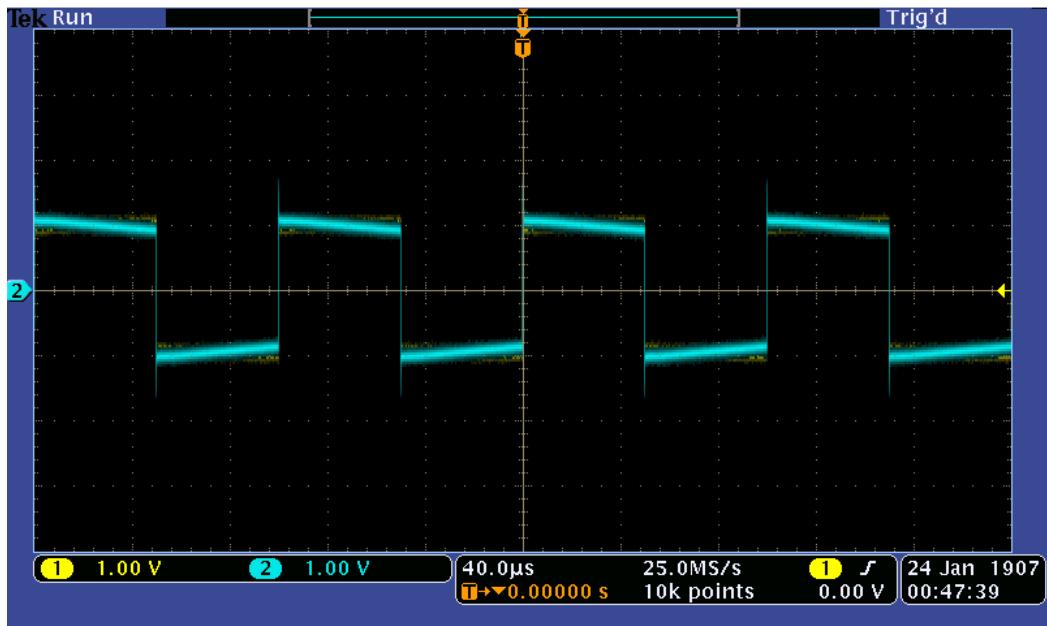
(k) 8 kHz

Wykresy: stosunek  $U_{WY}/U_{WE}$  oraz przesunięcie fazowe w zależności od częstotliwości sygnału.



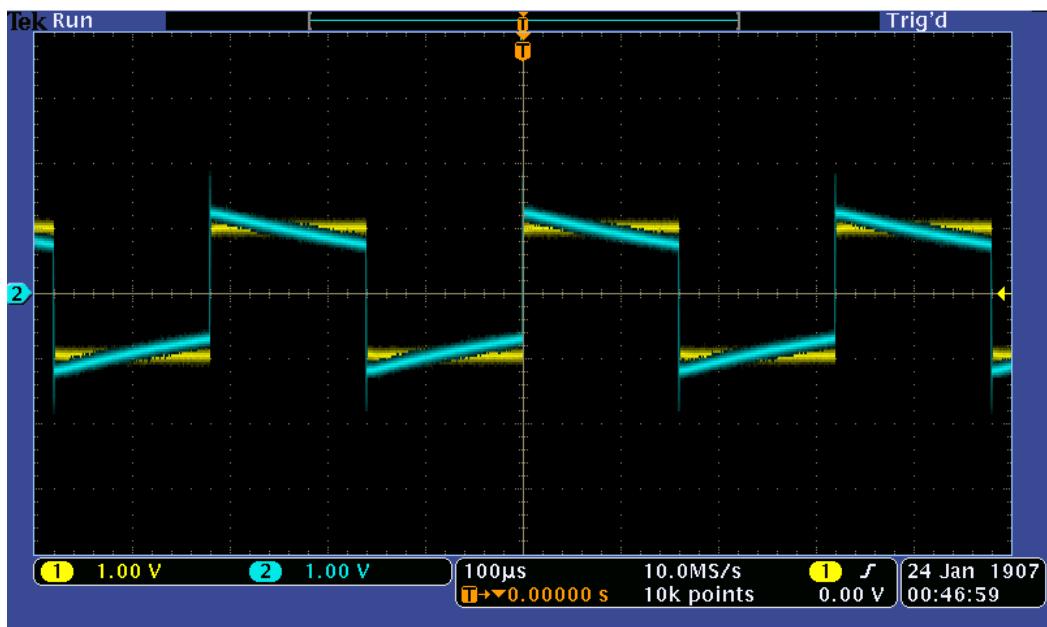
## Ćwiczenie 2.2

Badanie odpowiedzi układu różniczkującego na podawaną na wejście falę prostokątną okresie  $T$  mniejszym, porównywalnym i większym od stałej czasowej  $\tau$ . Badanie odpowiedzi układu na impuls trójkątny.



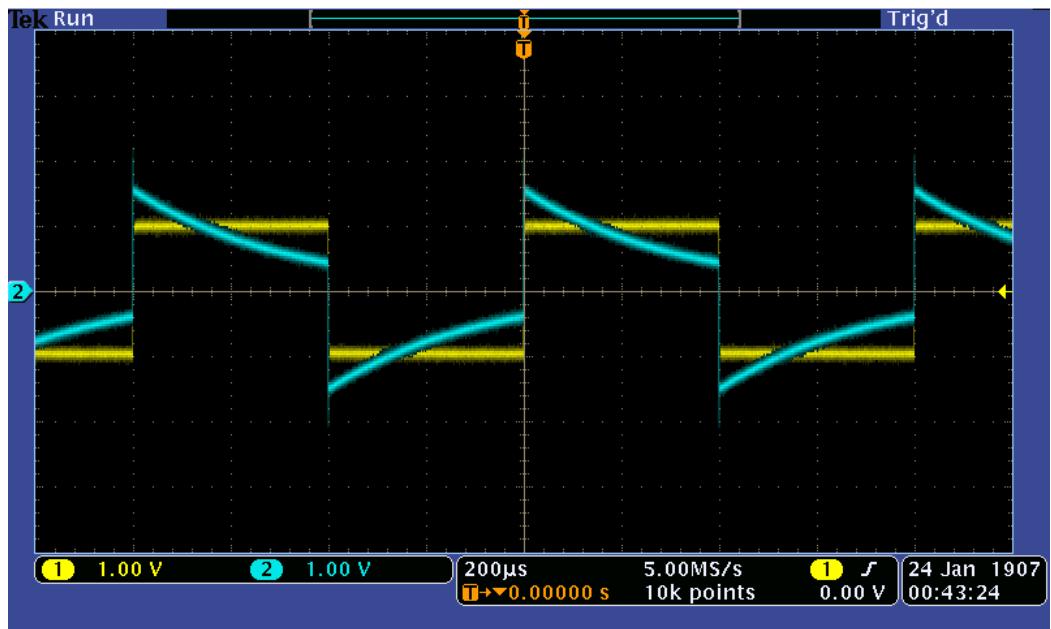
MSO3012 - 11:50:49 29.03.2023

Sygnal prostokątny  $T = 0.1 \text{ ms}$   $f = 10 \text{ kHz}$



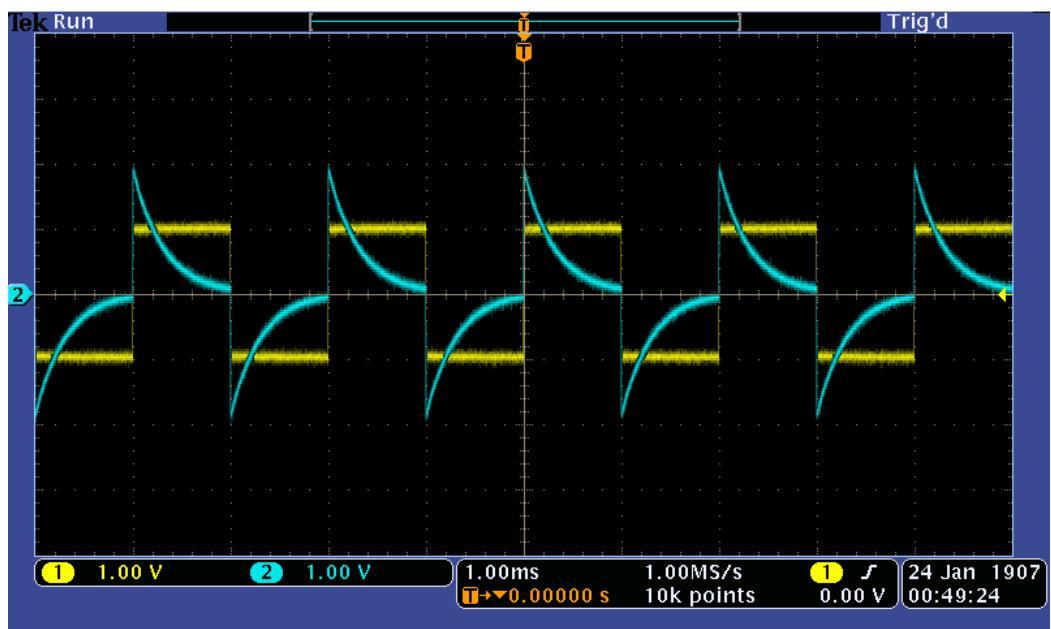
MSO3012 - 11:50:08 29.03.2023

Sygnal prostokątny  $T = 0.32 \text{ ms}$   $f = 3.125 \text{ kHz}$



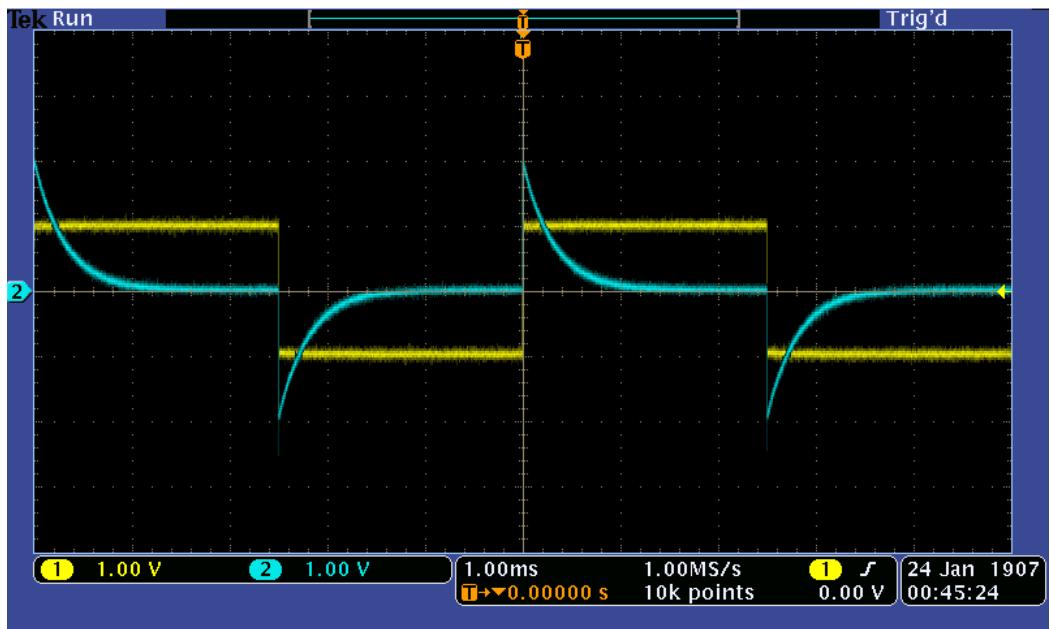
MSO3012 - 11:46:33 29.03.2023

Sygnal prostokątny  $T = 0.8 \text{ ms}$   $f = 1.25 \text{ kHz}$



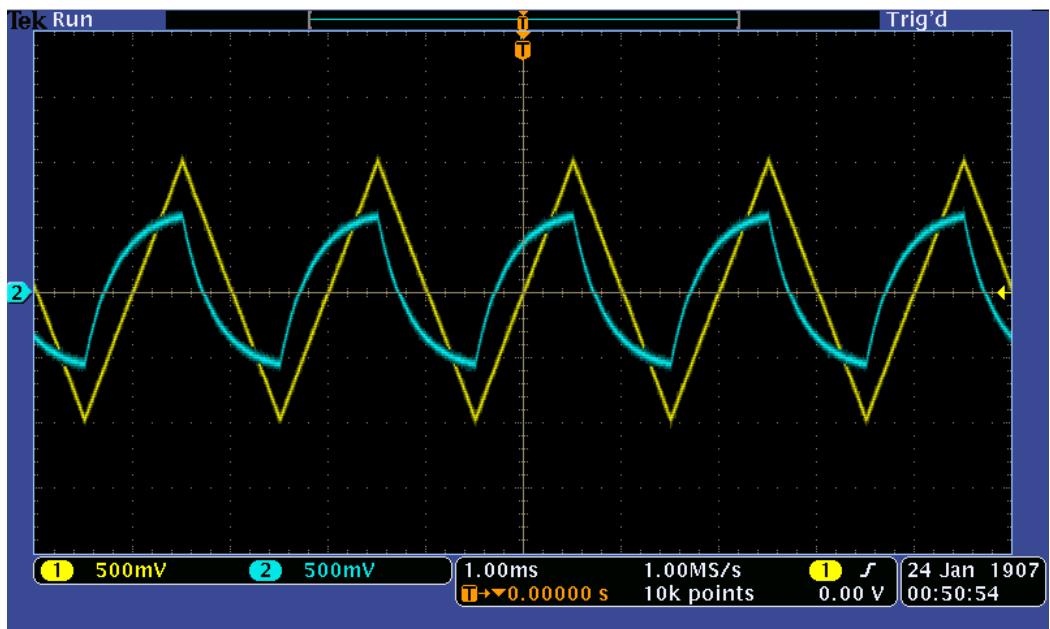
MSO3012 - 11:52:33 29.03.2023

Sygnal prostokątny  $T = 2 \text{ ms}$   $f = 500 \text{ Hz}$



MSO3012 - 11:48:34 29.03.2023

Sygnal prostokątny  $T = 5 \text{ ms}$   $f = 200 \text{ Hz}$

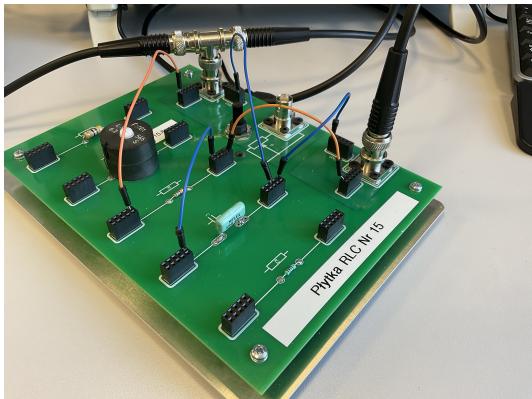


MSO3012 - 11:54:03 29.03.2023

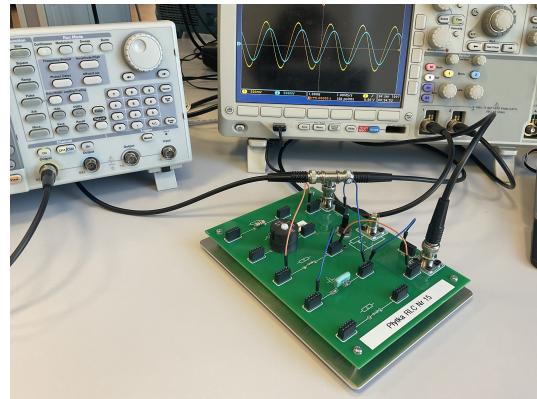
Sygnal trójkątny  $T = 2 \text{ ms}$   $f = 500 \text{ Hz}$

## Ćwiczenie 2.3

Zmontowanie układu całkującego, zmierzenie stosunku amplitudy sygnału wejściowego do wyjściowego oraz kąta przesunięcia fazowego w zależności od częstotliwości. Przedstawienie tych wartości na wykresie i wyznaczenie dolnej częstotliwości granicznej.



(a)



(b)

Montując układ RC użyłem tych samych komponentów co w poprzednim ćwiczeniu. Stała czasowa oraz częstotliwość graniczna tego układu wynoszą tyle samo co w Ćwiczeniu 2.1:

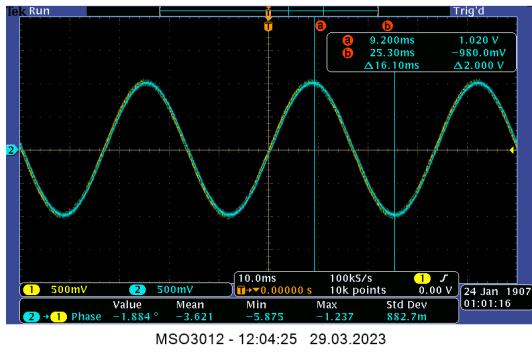
$$\tau = RC = 0.3196 \text{ [ms]}$$

$$f_g = 497.98 \text{ [Hz]}$$

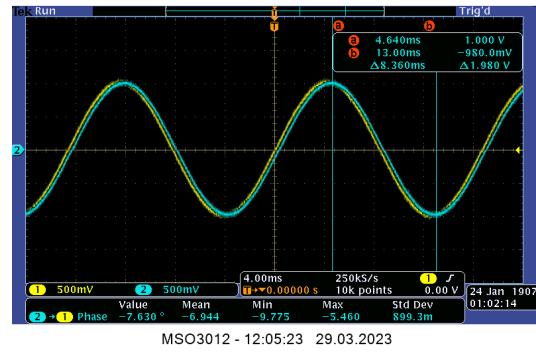
Podałem na wejście układu sygnał sinusoidalny o amplitudzie 2 Vpp o częstotliwościach od 30 Hz do 8kHz. Wartości amplitudy wyjściowej oraz przesunięcia fazowego wynosiły jak w tabeli poniżej:

Częstotliwość	Amplituda wyjściowa	Przesunięcie fazowe	Stosunek $U_{WY}/U_{WE}$
30 Hz	2 V	-1.884°	1
60 Hz	1.98 V	-7.63°	0.99
120 Hz	1.92 V	-13.72°	0.96
250 Hz	1.76 V	-26.25°	0.88
500 Hz	1.38 V	-45.66°	0.68
1 kHz	860 mV	-64.7°	0.43
2 kHz	488 mV	-73.21°	0.244
4 kHz	256 mV	-81.74°	0.128
8 kHz	126 mV	-86.59°	0.063

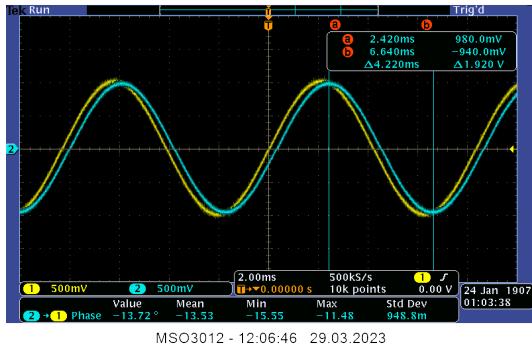
# Odczyty oscyloskopu.



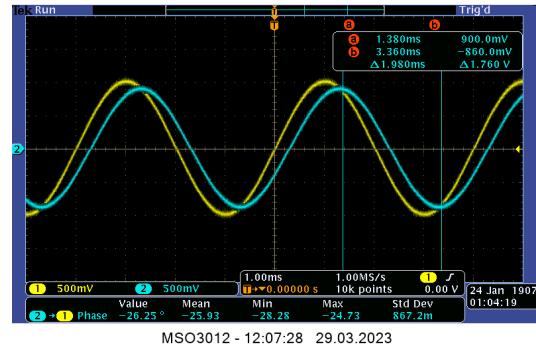
(c) 30 Hz



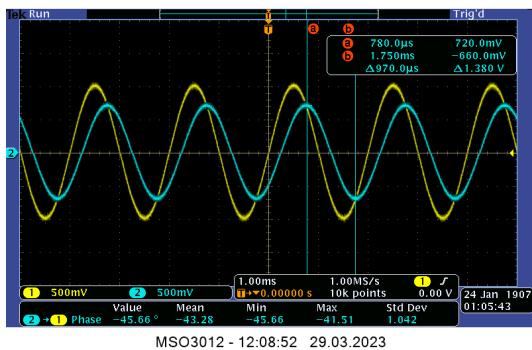
(d) 60 Hz



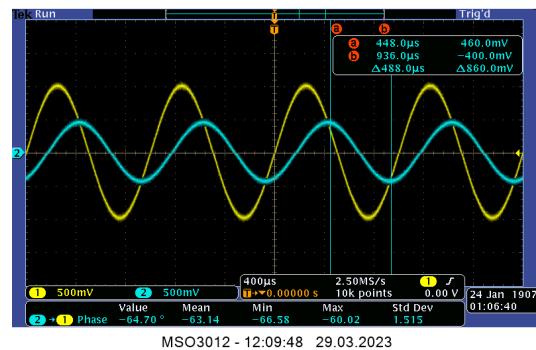
(e) 120 Hz



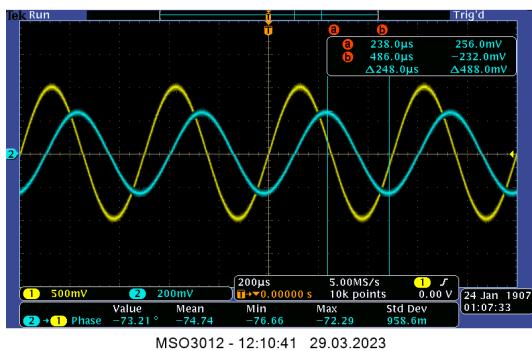
(f) 250 Hz



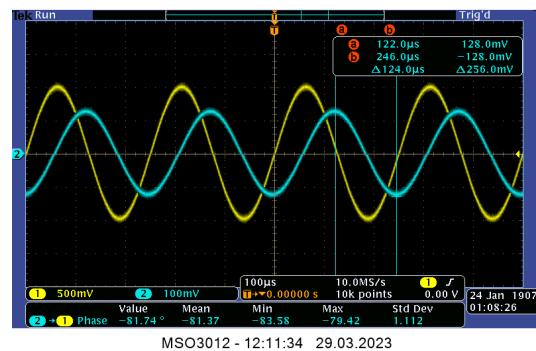
(g) 500 Hz



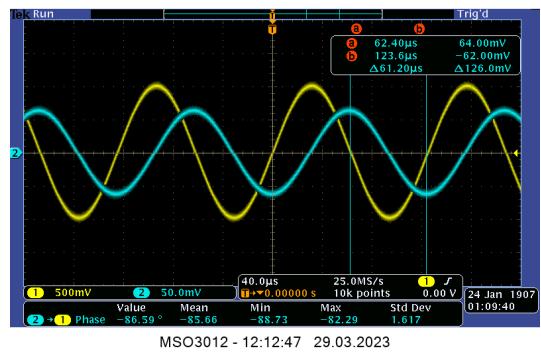
(h) 1 kHz



(i) 2 kHz

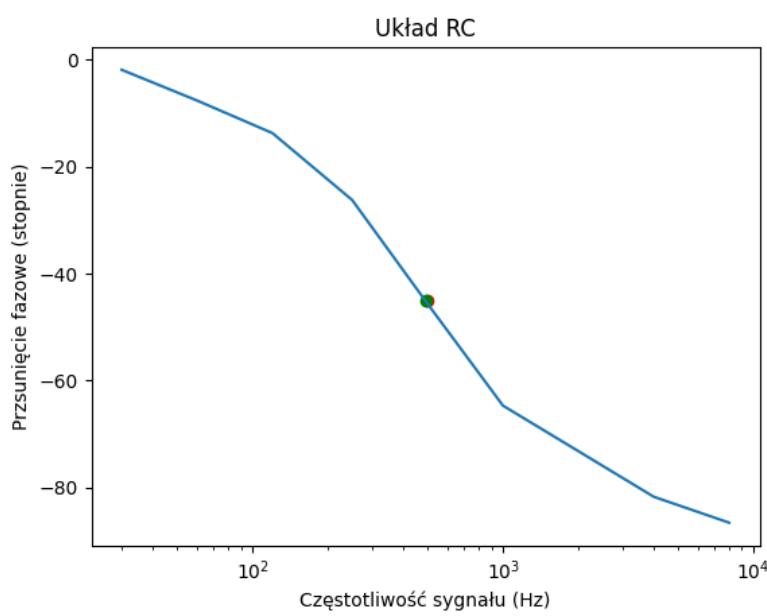
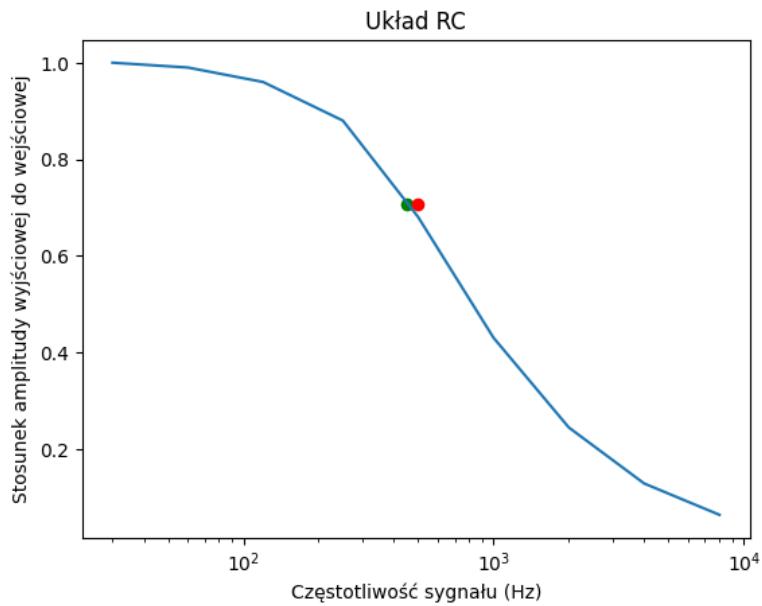


(j) 4 kHz

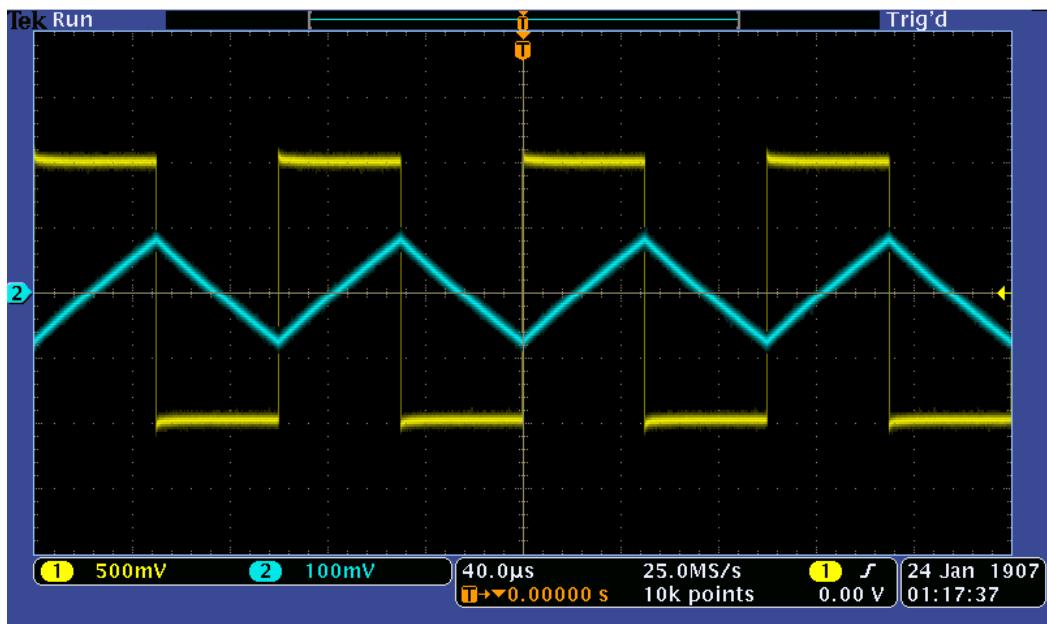


(k) 8 kHz

Wykresy: stosunek  $U_{WY}/U_{WE}$  oraz przesunięcie fazowe w zależności od częstotliwości sygnału.

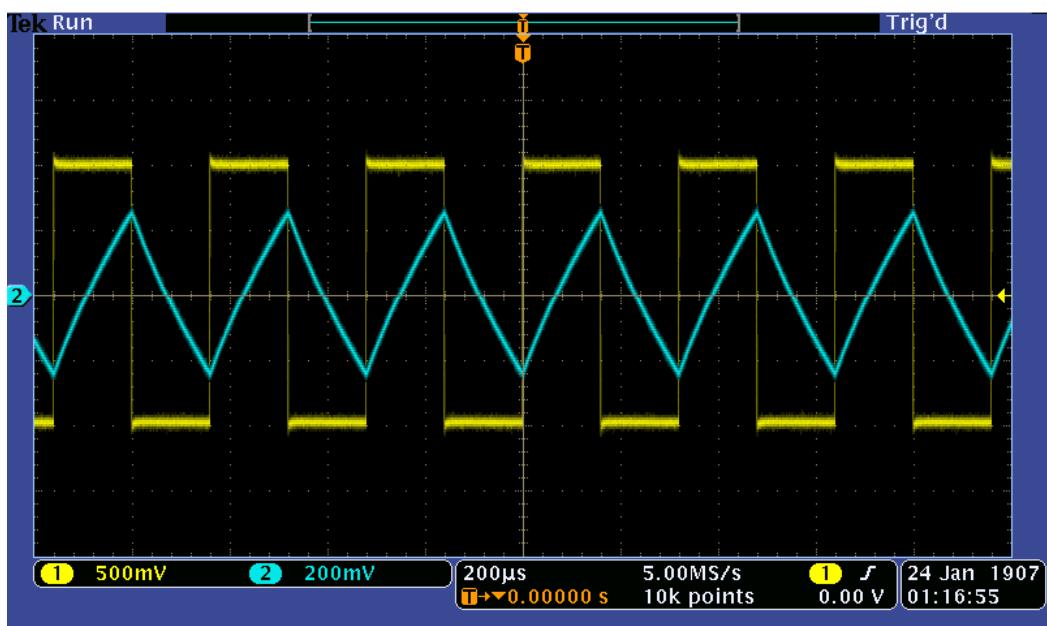


Podanie na wejście układu RC fali prostokątnej o okresach z zakresu od  $0.5\tau$  do  $10\tau$ . Obserwacja przebiegów impulsów wyjściowych.



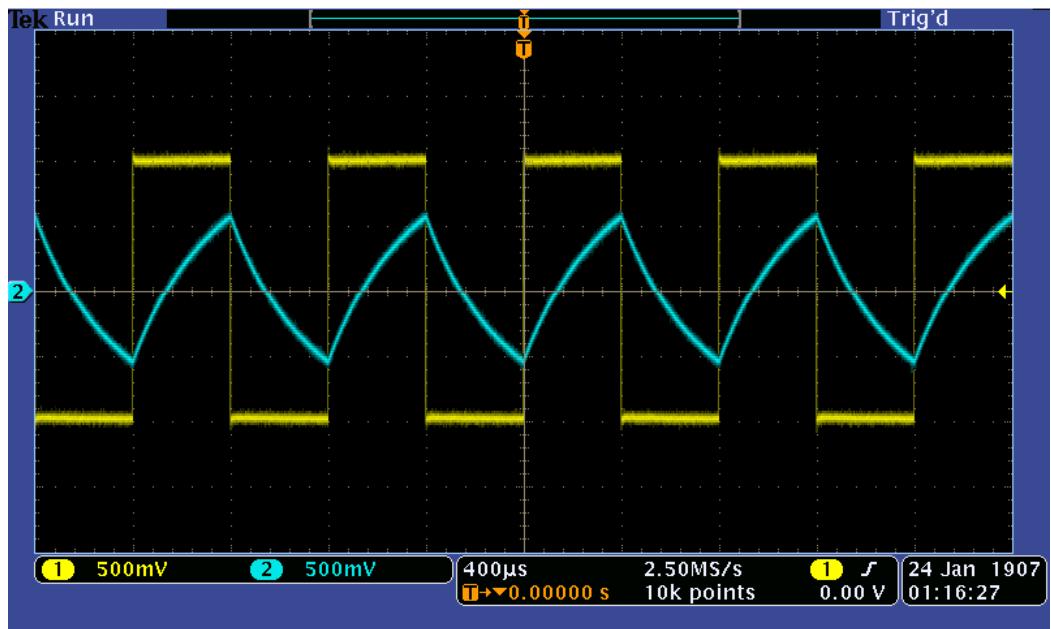
MSO3012 - 12:20:45 29.03.2023

Sygnal prostokątny  $T = 0.1 \text{ ms}$   $f = 10 \text{ kHz}$



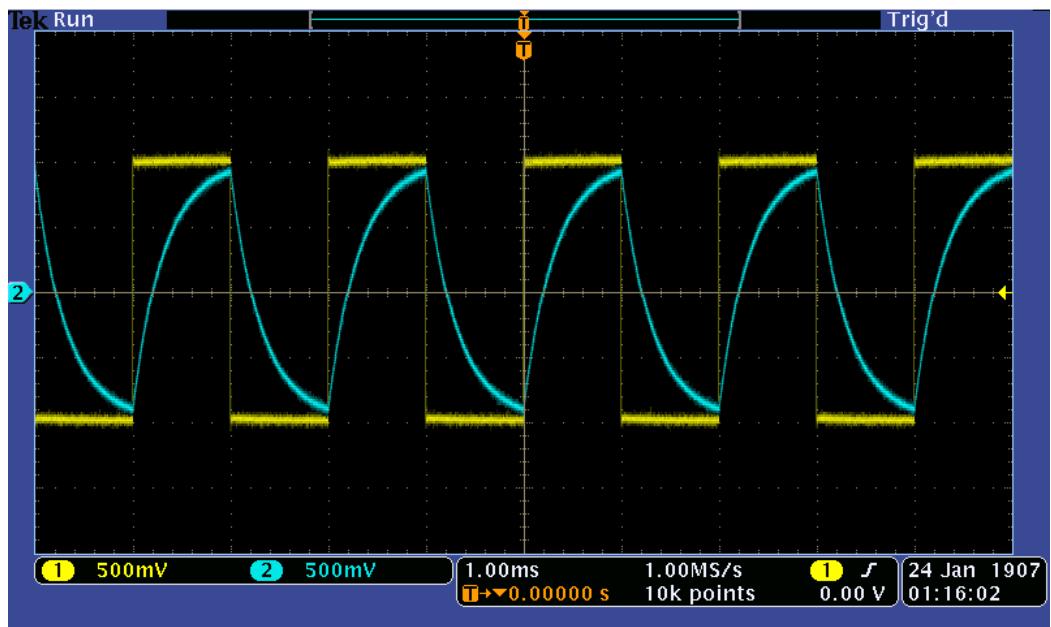
MSO3012 - 12:20:03 29.03.2023

Sygnal prostokątny  $T = 0.32 \text{ ms}$   $f = 3.125 \text{ kHz}$



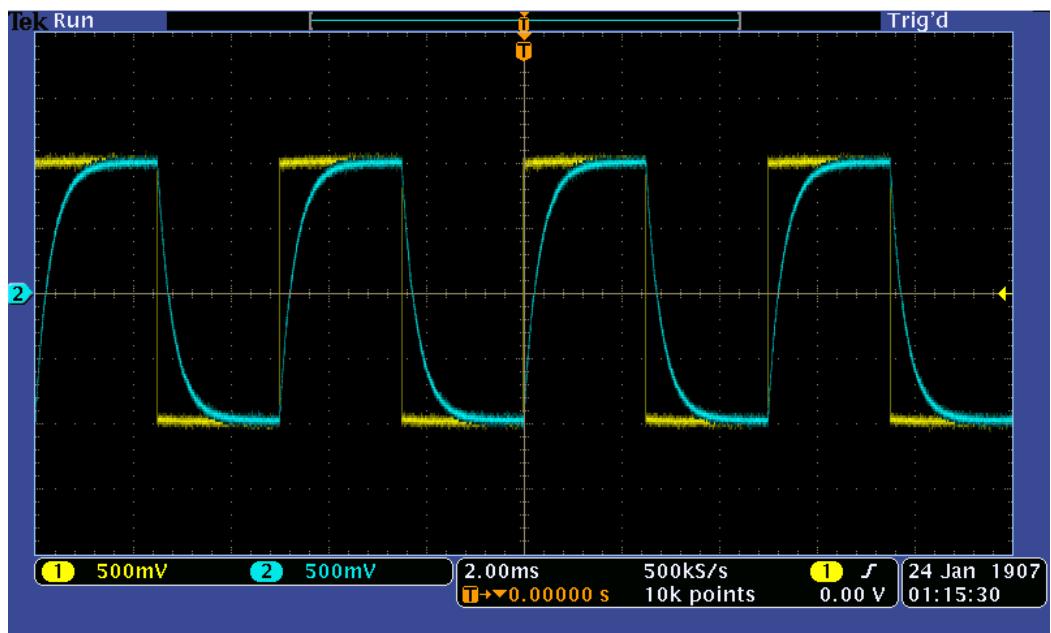
MSO3012 - 12:19:34 29.03.2023

Sygnal prostokątny  $T = 0.8 \text{ ms}$   $f = 1.25 \text{ kHz}$



MSO3012 - 12:19:09 29.03.2023

Sygnal prostokątny  $T = 2 \text{ ms}$   $f = 500 \text{ Hz}$

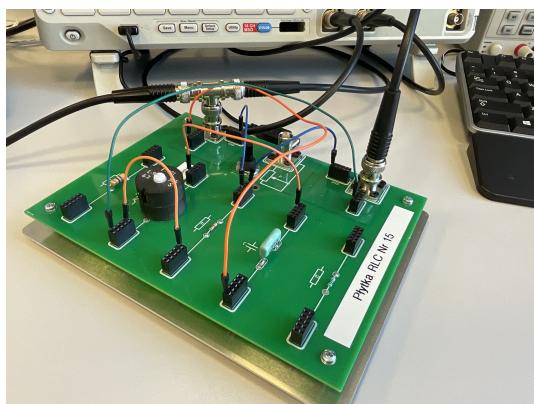


MSO3012 - 12:18:37 29.03.2023

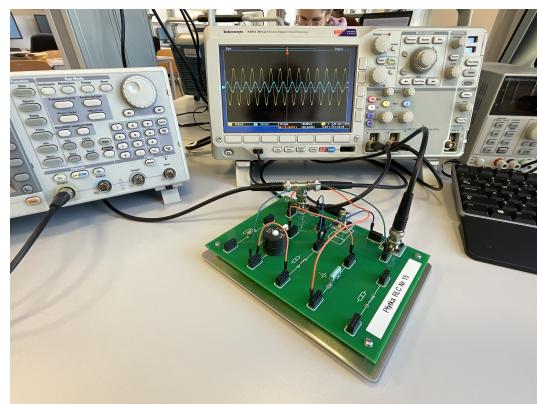
Sygnal prostokątny  $T = 5 \text{ ms}$   $f = 200 \text{ Hz}$

## Ćwiczenie 2.3

Zbudowanie układu RLC (filtr środkowoprzepustowy), zmierzenie jego charakterystyk amplitudowej i fazowej dla sygnałów sinusoidalnych i wyznaczenie jego częstotliwości rezonansowej.



(a)



(b)

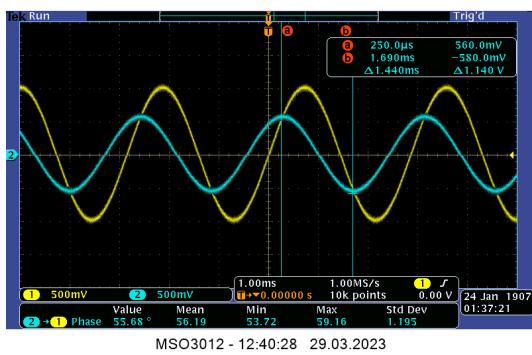
Montując układ RLC użyłem rezystora o oporze  $6.8 \text{ k}\Omega$ , kondensatora o pojemności  $47 \text{ nF}$  i cewki o indukcyjności  $15.8 \text{ mH}$ . Teoretyczna częstotliwość rezonansowa wynosi:

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{15.8 \cdot 47 \cdot 10^{-12}}} \left[ \frac{1}{s} \right] = 5840.4 \text{ [Hz]}$$

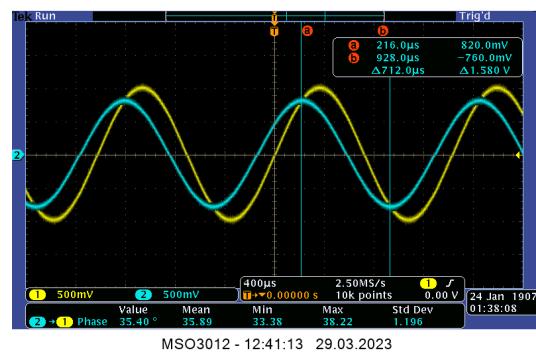
Podałem na wejście układu sygnał sinusoidalny o amplitudzie  $2 \text{ V}_{\text{pp}}$  o częstotliwościach od  $350 \text{ Hz}$  do  $120 \text{ kHz}$ . Wartości amplitudy wyjściowej oraz przesunięcia fazowego wynosiły jak w tabeli poniżej:

Częstotliwość	Amplituda wyjściowa	Przesunięcie fazowe	Stosunek $U_{WY}/U_{WE}$
$350 \text{ Hz}$	$1.14 \text{ V}$	$55.68^\circ$	0.57
$700 \text{ Hz}$	$1.58 \text{ V}$	$35.4^\circ$	0.79
$1.45 \text{ kHz}$	$1.86 \text{ V}$	$17.81^\circ$	0.93
$2.9 \text{ kHz}$	$1.96 \text{ V}$	$8.913^\circ$	0.98
$5.8 \text{ kHz}$	$2 \text{ V}$	$-0.5022^\circ$	1
$10 \text{ kHz}$	$1.96 \text{ V}$	$-6.805^\circ$	0.98
$20 \text{ kHz}$	$1.94 \text{ V}$	$-14.75^\circ$	0.97
$40 \text{ kHz}$	$1.84 \text{ V}$	$-36^\circ$	0.92
$80 \text{ kHz}$	$1.36 \text{ V}$	$-71.26^\circ$	0.68
$120 \text{ kHz}$	$780 \text{ mV}$	$-97.39^\circ$	0.39

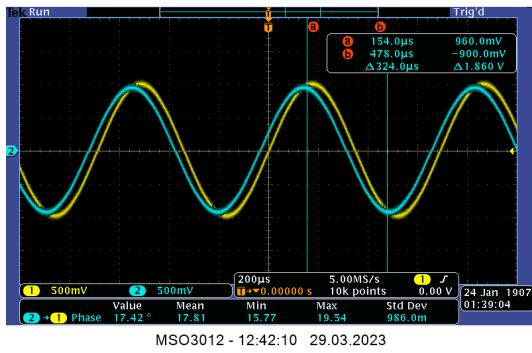
Zamieszczam poniżej odczyty oscyloskopu. Kanał 1 (żółty) - sygnał wejściowy, kanał 2 (niebieski) - sygnał wyjściowy.



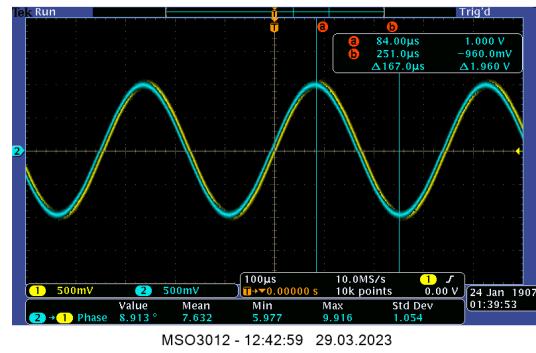
(c) 350 Hz



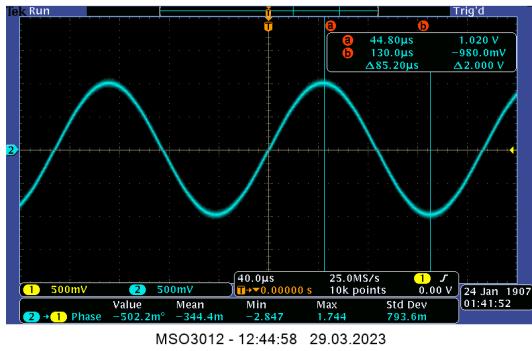
(d) 700 Hz



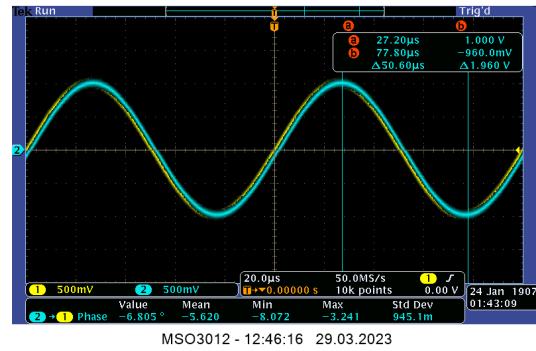
(e) 1.45 kHz



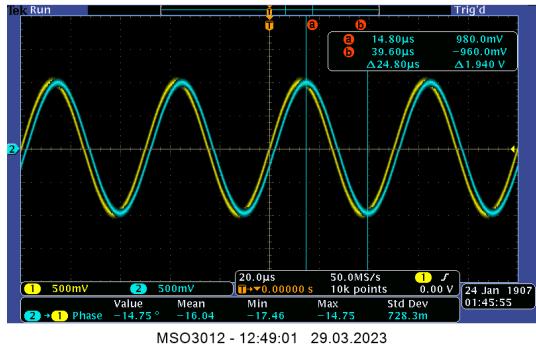
(f) 2.9 kHz



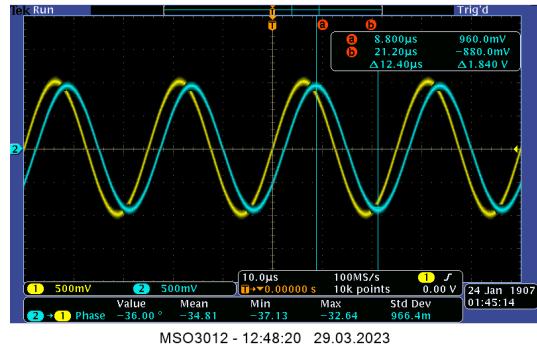
(g) 5.8 kHz



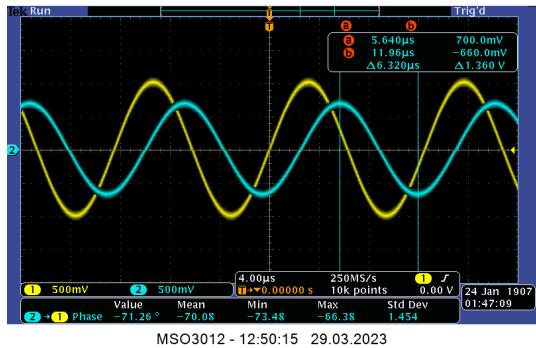
(h) 10 kHz



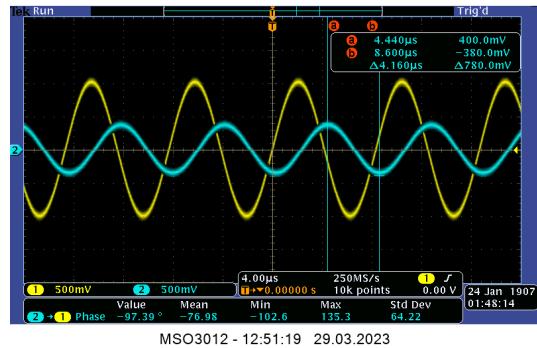
(i) 20 kHz



(j) 40 kHz

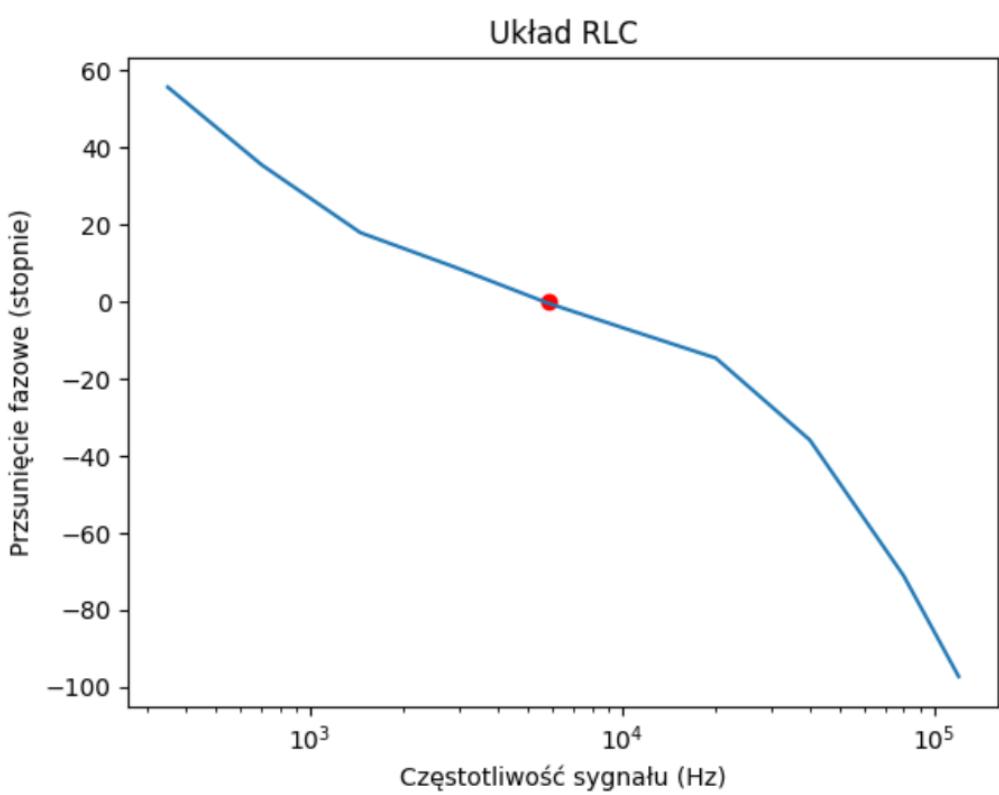
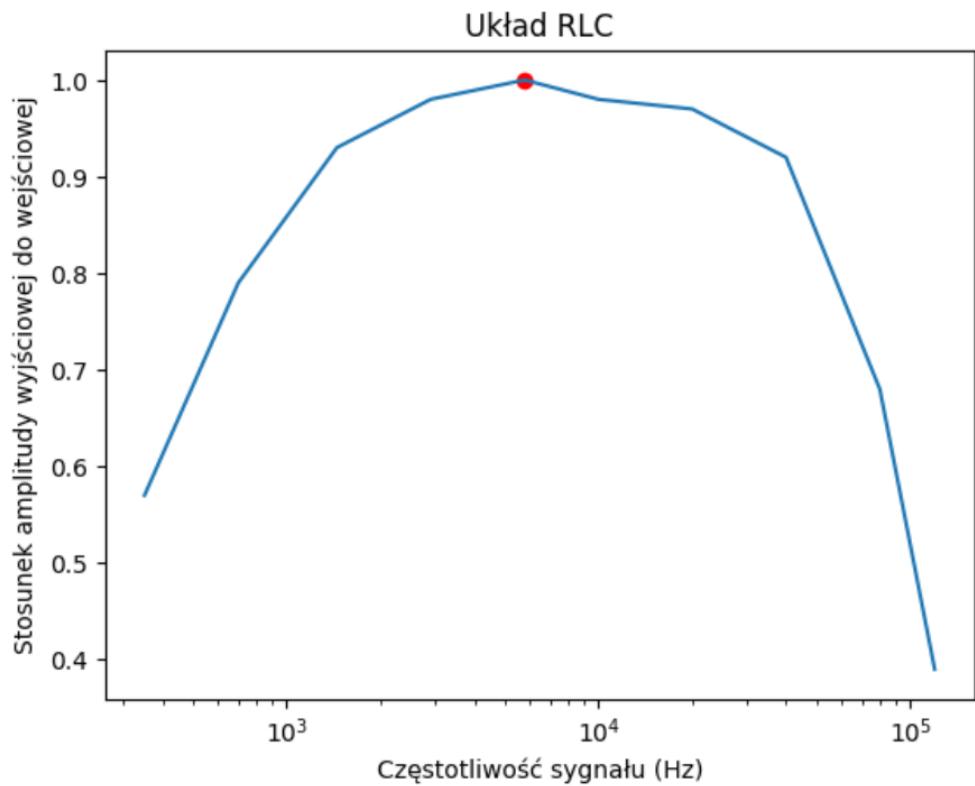


(k) 80 kHz



(1) 120 kHz

Wykresy: stosunek  $U_{WY}/U_{WE}$  oraz przesunięcie fazowe w zależności od częstotliwości sygnału.



## Omówienie wyników

Na wykresach charakterystyk amplitudowych i fazowych filtrów zaznaczyłem czerwoną kropką punkty, w których powinno znajdować się miejsce częstotliwości odpowiednio granicznej górnej, granicznej dolnej i rezonansowej.

Dla charakterystyki amplitudowej filtrów górnoprzepustowego i dolnoprzepustowego jest to miejsce tłumienia większego niż  $3 \text{ dB}$ . Wartość takiego stosunku amplitud wyjściowej do wejściowej można policzyć z definicji decybelu:

$$20 \log_{10}(x) = -3 \Rightarrow x \approx 0.707$$

Pozostałymi takimi punktami są  $\frac{U_{WY}}{U_{WE}} = 1$  dla częstotliwości rezonansowej filtra średkowoprzepustowego i odpowiednio  $45^\circ$ ,  $-45^\circ$  i  $0^\circ$  dla charakterystyk fazowych układów CR, RC i RLC.

Kropkami zielonymi zaznaczyłem te częstotliwości, które wyznaczylem na podstawie sporządzonych wykresów. Są to odpowiednio:

$$f_1 = 530 \text{ Hz} \quad f_2 = 525 \text{ Hz}$$

$$f_3 = 452 \text{ Hz} \quad f_4 = 490 \text{ Hz}$$

$$f_5 = f_6 = 5800 \text{ Hz}$$

Możemy obliczyć błędy względne:

$$E_1 = \left| \frac{498 - 530}{498} \right| \approx 6.42\%$$

$$E_2 = \left| \frac{498 - 525}{498} \right| \approx 5.42\%$$

$$E_3 = \left| \frac{498 - 452}{498} \right| \approx 9.24\%$$

$$E_4 = \left| \frac{498 - 490}{498} \right| \approx 1.61\%$$

$$E_5 = E_6 = \left| \frac{5840 - 5800}{5840} \right| \approx 6.85\%$$

Błąd przy wyznaczaniu częstotliwości granicznych i rezonansowej to średnio około 6%.

Także odpowiedzi układów CR i RC na sygnały prostokątne i trójkątne pokrywają się z teorią. Widać na podanych przeze mnie wyżej odczytach z oscyloskopu skąd biorą się nazwy "układ różniczkujący" i "całkujący". Widać też jaki wpływ na sygnał wyjściowy ma stała czasowa układów, które potrzebują  $\tau$  czasu na powrócenie do stanu ustalonego.

## Notatki z zeszytu labolatoryjnego

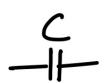
Poniżej załączone są notatki z zeszytu labolatoryjnego, które prowadziłem podczas zajęć wykonując pomiary.

ĆWICZENIE 2.  
29 MAR

PTykta RLC Nr 15

Wykorzystywane komponenty

  $R_1$   $6.8 \text{ k}\Omega$

  $C$   $47 \text{ nF}$

  $L$   $15.8 \text{ mH}$

ZADANIE 1

UKŁAD CR

stała czasowa

$$\begin{aligned} \tau &= RC = 6.8[\text{k}\Omega] \cdot 47[\text{nF}] = 6.8 \cdot 47 \cdot 10^3 \cdot 10^{-9} [\text{s}] \\ &= 319.6 \cdot 10^{-6} [\text{s}] = 0.3196 [\text{ms}] \end{aligned}$$

teoretyczna częstotliwość  
gramiczna

$$\begin{aligned} f_g &= \frac{1}{2\pi\tau} = \frac{1}{2\pi \cdot 319.6 \cdot 10^{-6}} = \frac{1}{2\pi \cdot 319.6} \cdot 10^6 = \\ &= 0.00049798 \cdot 10^6 = 497.98 [\text{Hz}] \end{aligned}$$

## POMIARY

We wszystkich pomiarach sygnał sinusoidalny o amplitudzie wejściowej 2 Vpp

CZĘSTOTLIOŚĆ	AMPLITUDA WYJŚCIOWA	PRZESUNIĘCIE FАЗOWE
30 Hz	118 mV	88. 16 °
60 Hz	228 mV	86. 34 °
120 Hz	448 mV	78.04 °
250 Hz	800 mV	63.80 °
500 Hz	1.380 V	46.37 °
1 kHz	1.74 V	26.54 °
2 kHz	1.92 V	14. 83 °
4 kHz	1.96 V	7. 159 °
8 kHz	2V	2. 882 °

## ZADANIE 2

ODPOWIEDZI UKŁADU  
CR NA SYGNAL PROSTOKĄTNY

Sygnal prostokątny, amplituda  $\Delta V_{pp}$

OKRES CZĘSTOTLIWOŚĆ

5 ms	200 Hz
2 ms	500 Hz
0.8 ms	1.25 kHz
0.32 ms	3.125 kHz
0.1 ms	10 kHz

### ZADANIE 3

#### UKTAD RC

stała czasowa  $\tau = 0.3196 \text{ ms}$

Częstotliwość graniczna  $f_g = 497.98 \text{ Hz}$

#### POMIARY

We wzajemnych pomiarach sygnał sinusoidalny o amplitudzie wejściowej  $2 \text{ Vpp}$

CZĘSTOTLIWOŚĆ	AMPLITUDA WYJŚCIOWA	PRZESUNIĘCIE FAZOWE
30 Hz	2 V	-1.884°
60 Hz	1.98 V	-7.63°
120 Hz	1.92 V	-13.72°
250 Hz	1.76 V	-26.25°
500 Hz	1.38 V	-45.66°
1 kHz	860 mV	-64.70°
2 kHz	488 mV	-73.21°
4 kHz	256 mV	-81.74°
8 kHz	128 mV	-86.59°

Obserwując odpowiedź układu RC na same fale prostokątne podane w zad. 2.

## ZADANIE 4.

### UKŁAD RLC

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{15.8 \cdot 47 \cdot 10^{-12}}} = 5840.4 \text{ [Hz]}$$

### POMIARY

Wc. wsgórnych pomiarach sygnał sinusoidalny o amplitudzie wejściowej 2 Vpp

CZĘSTOTLIWOŚĆ	AMPLITUDA WYJŚCIOWA	PRZESUNIĘCIE FАЗOWE
350 Hz	1.140 V	55.68°
700 Hz	1.58 V	35.40°
1.45 kHz	1.86 V	17.81°
2.9 kHz	1.96 V	8.913°
5.8 kHz	2V	-0.5022°
10 kHz	1.96 V	-6.805°
20 kHz	1.94 V	-14.75°
40 kHz	1.84 V	-36°
80 kHz	1.86 V	-71.26°
120 kHz	780 mV	-97.39°