

# Elektronika Cyfrowa

## Sprawozdanie z Laboratorium 2

Tomasz Dziób

Grupa 15

20.03.2024

## Spis treści

<b>1 Wstęp teoretyczny</b>	<b>2</b>
1.1 Elementy wykorzystane w układach . . . . .	2
1.1.1 Opornik . . . . .	2
1.1.2 Kondensator . . . . .	2
1.1.3 Cewka . . . . .	3
1.2 Czwórnik . . . . .	3
1.3 Rodzaje czwórników . . . . .	3
1.3.1 Wzmacniacze . . . . .	3
1.3.2 Prostowniki . . . . .	3
1.3.3 Filtry . . . . .	4
1.3.3.1 Górnoprzepustowe . . . . .	4
1.3.3.2 Środkowoprzepustowe . . . . .	4
1.3.3.3 Dolnoprzepustowe . . . . .	5
1.3.3.4 Środkowozaporowe . . . . .	5
<b>2 Ćwiczenia</b>	<b>5</b>
2.1 Ćwiczenie 2.1 . . . . .	5
2.1.1 Pomiary . . . . .	6
2.1.2 Stała czasowa . . . . .	6
2.1.3 Układ CR . . . . .	6
2.1.4 Pomiary dla 1V oraz 1kHz . . . . .	6
2.1.5 Uzyskana charakterystyka amplitudowa . . . . .	7
2.1.6 Uzyskana charakterystyka fazowa . . . . .	8
2.2 Ćwiczenie 2.2 . . . . .	8
2.2.1 Fala Prostokątna . . . . .	9
2.2.2 Fala Trójkątna . . . . .	9
2.3 Ćwiczenie 2.3 . . . . .	10
2.3.1 Układ RC . . . . .	10
2.3.2 Pomiary dla 1V oraz 1kHz . . . . .	10
2.3.3 Charakterystyka amplitudowa . . . . .	11
2.3.4 Charakterystyka fazowa . . . . .	12
2.3.5 Przebieg impulsów wyjściowych i wejściowych dla fali prostokątnej . . . . .	12
<b>3 Omówienie wyników</b>	<b>13</b>
3.1 Ćwiczenie 2.1 . . . . .	13
3.2 Ćwiczenie 2.2 . . . . .	14
3.3 Ćwiczenie 2.3 . . . . .	14
<b>4 Podsumowanie</b>	<b>14</b>
<b>5 Notatki i materiały z zajęć</b>	<b>14</b>

# 1 Wstęp teoretyczny

Poniższe sprawozdanie dotyczy drugich zajęć których głównym celem było zapoznanie się z podstawowymi elementami elektronicznymi. Zadania skupiają się głównie na przećwiczeniu tworzenia prostych układów, wypracowania dobrych nawyków w zbieraniu danych oraz zaprezentowaniu działania kilku poszczególnych układów.

## 1.1 Elementy wykorzystane w układach

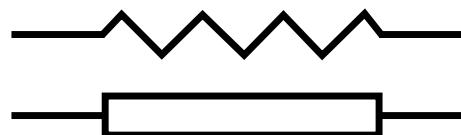
### 1.1.1 Opornik

Element bierny obwodu elektrycznego, wykorzystywany do ograniczenia prądu w nim płynącego. Występujący na nim spadek napięcia jest wprost proporcjonalny do prądu płynącego przez opornik. Idealny opornik posiada tylko jedną wielkość, która go charakteryzuje — **rezystancję**.<sup>[1]</sup>

W rzeczywistości oporniki oprócz rezystancji R mają także pewną pojemność C oraz indukcyjność L. Są one na ogół pomijalnie małe, ale w pewnych warunkach, szczególnie przy wysokich częstotliwościach sygnałów, mogą odgrywać znaczącą rolę.



Rysunek 1: Rezystor o rezystancji  $330 \Omega$ ,  
Źródło: [Wikipedia](#)



Rysunek 2: Dwa stosowane symbole rezystorów,  
Źródło: [Wikipedia](#)

Jednostką rezystancji jest: *Ohm* [ $\Omega$ ]

$$1\Omega = \frac{1kg \cdot 1m^2}{1s^3 \cdot 1A^2} = \frac{1V}{1A} \quad (1)$$

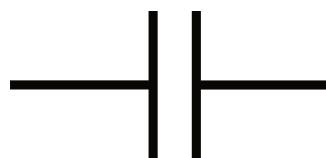
### 1.1.2 Kondensator

Element elektroniczny bierny zbudowany z dwóch przewodników, inaczej okładek lub elektrod, rozdzielonych dielektrykiem. Przechowuje on energię w postaci pola elektrycznego.

Doprowadzenie napięcia do okładek kondensatora powoduje zgromadzenie się na nich ładunku elektrycznego. Po odłączeniu od źródła napięcia, ładunki utrzymują się na okładkach siłami przyciągania elektrostatycznego.<sup>[2]</sup>



Rysunek 3: Kondensator elektrolityczny  $10F$ ,  
Źródło: [Link](#)



Rysunek 4: Symbol służący do oznaczania  
kondensatorów w układach,  
Źródło: [Link](#)

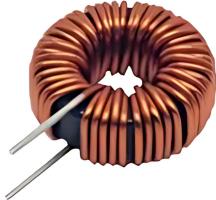
Jednostką pojemności jest: *Farad* [ $F$ ]

$$1F = \frac{1C}{1V} \quad (2)$$

[1]<https://pl.wikipedia.org/wiki/Rezystor>  
[2]<https://pl.wikipedia.org/wiki/Kondensator>

### 1.1.3 Cewka

Cewka to część obwodu elektrycznego, zaliczana do elementów biernych. Posiada uzwojenie, czyli zwoje przewodnika nawinięte na powierzchnię, na przykład walca czy pierścienia. Wytworzą pole magnetyczne które, zgodnie z prawem Faradaya, może też wpływać na prąd elektryczny płynący w obwodzie.<sup>[3]</sup>



Rysunek 5: Przykładowa cewka indukcyjna,  
Źródło: [Link](#)



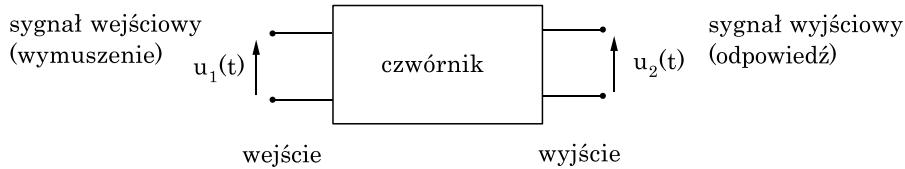
Rysunek 6: Symbol służący do oznaczania cewek w  
układach,  
Źródło: [Link](#)

Jednostka indukcyjności jest: *Henr* [ $H$ ]

$$1H = \frac{1V \cdot 1s}{1A} \quad (3)$$

## 1.2 Czwórnik

Nazywany również dwuwrotnikiem, to obwód elektryczny lub element obwodu, który posiada cztery zaciski, uporządkowane w dwie pary. Jedna z par stanowi wejście czwórnika, a druga wyjście.



Rysunek 7: Ogólny schemat działania czwórnika,  
Źródło: [Strona wykładów](#)

Sprzężenie wyjścia z wejściem opisywane jest przez funkcję przejścia, nazywaną też **transmisją układu** lub **transmitancją**.

$$\mathbf{T} = \frac{u_2}{u_1} \quad (4)$$

## 1.3 Rodzaje czwórników

Możemy wyróżnić kilka rodzajów czwórników:

### 1.3.1 Wzmacniacze

Wzmacniacz to układ, który zwiększa moc sygnału wejściowego kosztem energii pobieranej ze źródła zasilającego.

### 1.3.2 Prostowniki

Element lub zestaw elementów elektronicznych służący do zamiany napięcia przemiennego na napięcie jednego znaku, które później może być zmienione na napięcie stałe.

[3] <https://pl.wikipedia.org/wiki/Cewka>

### 1.3.3 Filtry

Filtr to układ elektroniczny, który przepuszcza sygnały sinusoidalne oraz składowe sygnałów o częstotliwościach powyżej pewnej określonej częstotliwości, a tłumii składowe leżące poniżej tej częstotliwości.

Filtry możemy podzielić na:

#### 1.3.3.1 Górnoprzepustowe

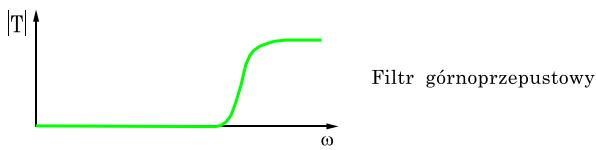
Inaczej znany jako *Czwórnik CR* lub *układ różniczkujący*. Filtr górnoprzepustowy przepuszcza składowe o częstotliwościach wyższych od częstotliwości granicznej, a tłumii składowe o częstotliwościach poniżej częstotliwości granicznej.

Częstość graniczną oznaczamy jako:

$$\omega_0 = \frac{1}{CR}, \quad (5)$$

gdzie  $CR$  to stała czasowa.

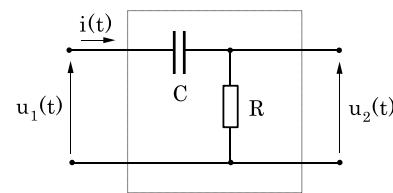
Jak sama nazwa wskazuje układ ten można zbudować z kondensatora i opornika:



Rysunek 8: Zależność funkcji przejścia  $T$  od częstości w filtrze górnoprzepustowym, gdzie

$$|T(\omega)| = \sqrt{\frac{(\frac{\omega}{\omega_0})^2}{1+(\frac{\omega}{\omega_0})^2}},$$

Źródło: [Strona wykładów](#)

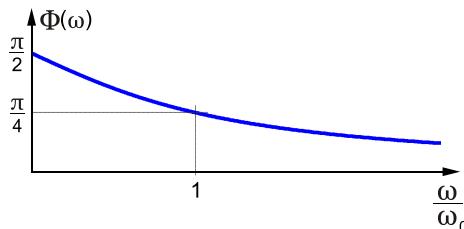


Rysunek 9: Schemat budowy filtru górnoprzepustowego,

Źródło: [Strona wykładów](#)

Rysunek 8 przedstawia nic innego jak uproszczoną charakterystykę amplitudową tego filtra, czyli jak wpływa on na amplitudę sygnałów o różnych częstotliwościach.

Natomiast jego charakterystyka fazowa prezentuje się następująco:

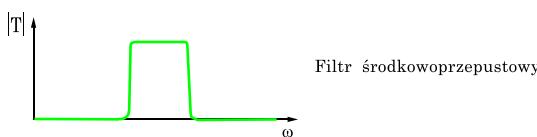


Rysunek 10: Zależność przesunięcia fazy początkowej od ilorazu częstości granicznej i częstości w filtrze górnoprzepustowym, gdzie  $\Phi(\omega) = \arctan(\frac{\omega_0}{\omega})$ ,

Źródło: [Strona wykładów](#)

#### 1.3.3.2 Środkowoprzepustowe

Filtr środkowoprzepustowy przepuszcza składowe o częstotliwościach leżących w pobliżu częstotliwości granicznej, a tłumii składowe o częstotliwościach poniżej i powyżej częstotliwości granicznej.

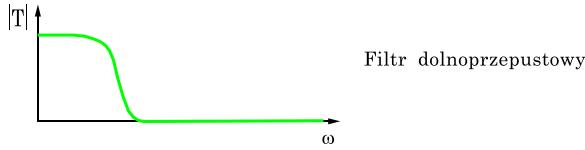


Rysunek 11: Schemat działania filtru środkowoprzepustowego,  
Źródło: [Strona wykładów](#)

### 1.3.3.3 Dolnoprzepustowe

Inaczej znany jako *Czwórnik RC* lub *układ całkujący*. Filtr dolnoprzepustowy przepuszcza składowe o częstotliwościach niższych od częstotliwości granicznej, a tłumii składowe o częstotliwościach powyżej częstotliwości granicznej. Częstotliwość graniczna i stała czasowa jest identyczna jak w przypadku układu różniczkującego.

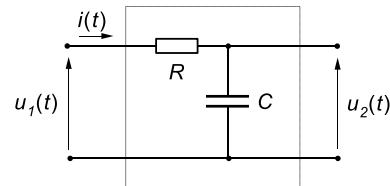
Układ ten buduje się z jednego opornika oraz kondensatora:



Rysunek 12: Zależność funkcji przejścia  $T$  od częstotliwości w filtrze dolnoprzepustowym, gdzie

$$|T(\omega)| = \sqrt{\frac{1}{1+(\frac{\omega}{\omega_0})^2}},$$

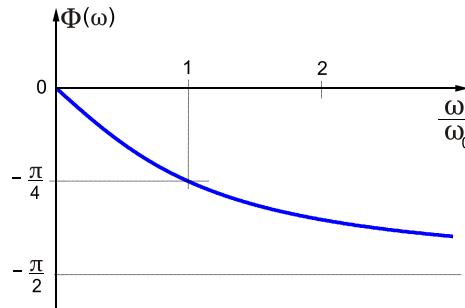
Źródło: [Strona wykładów](#)



Rysunek 13: Schemat budowy filtru dolnoprzepustowego,

Źródło: [Strona wykładów](#)

Rysunek (12) prezentuje nam uproszczoną wersję charakterystyki amplitudowej a poniżej znajdziemy charakterystykę fazową tego układu:

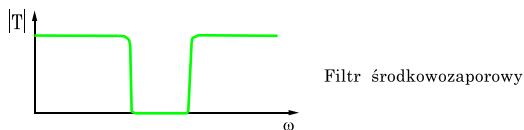


Rysunek 14: Zależność przesunięcia fazy początkowej od ilorazu częstotliwości i częstotliwości granicznej w filtrze dolnoprzepustowym, gdzie  $\Phi(\omega) = -\arctan(\frac{\omega}{\omega_0})$ ,

Źródło: [Strona wykładów](#)

### 1.3.3.4 Środkowozaporowe

Filtr środkowozaporowy tłumii składowe o częstotliwościach leżących w pobliżu częstotliwości granicznej, a przepuszcza składowe o częstotliwościach poniżej i powyżej częstotliwości granicznej.



Rysunek 15: Schemat działania filtru środkowozaporowego,  
Źródło: [Strona wykładów](#)

## 2 Ćwiczenia

### 2.1 Ćwiczenie 2.1

Pierwszym zadaniem było zmontowanie układu różniczkującego, o stałej czasowej  $\tau = RC$ . Powinien on znajdować się w przedziale od  $0.1 - 1ms$ . Układ miał zostać zmontowany na specjalnie przygotowanej płytce (numer 9) zawierającej podstawowe elementy RLC.

### 2.1.1 Pomiary

Przy użyciu specjalnego miernika (oznaczonego numerem 1) uzyskałem poniższe pomiary:

$$R_1 = 5,58k\Omega$$

$$R_2 = 2,981k\Omega$$

$$r = 47\Omega$$

$$C = 141,7nF$$

### 2.1.2 Stała czasowa

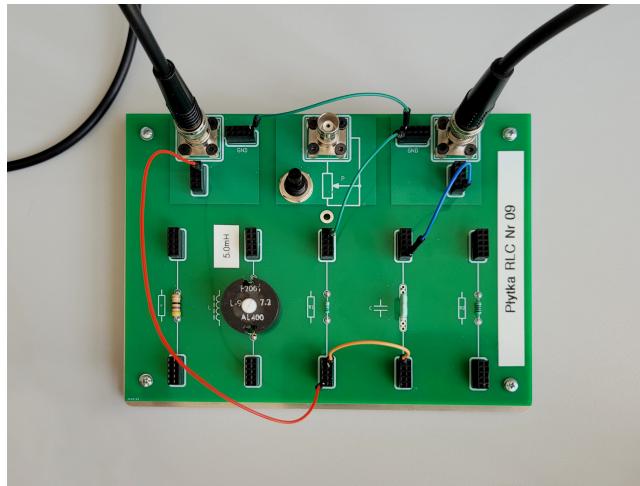
Do wykonania układu użyłem opornika  $R_1$  oraz kondensatora  $C$ . Wykorzystując te dane do obliczenia stałej czasowej uzyskałem ponizszy wynik:

$$\begin{aligned} \tau &= R_1 \cdot C = 5,58k\Omega \cdot 141,7nF = 5,58 \cdot 141,7 \cdot 10^{-9+3}\Omega \cdot F = \\ &= 790,686 \cdot 10^{-6}s = 0,000790686s = \mathbf{0,790686ms} \end{aligned} \quad (6)$$

Jak możemy zobaczyć w równaniu (6), wartość zawiera się w przewidzianym zakresie.

### 2.1.3 Układ CR

Kolejnym wymaganym krokiem było faktyczne zmontowanie układu różniczkującego, jak na schemacie (9), w celu wykonania pomiarów.



Rysunek 16: Poprawnie zmontowany układ CR,  
Źródło: Opracowanie własne

Do układu został również podłączony kabel prowadzący do oscyloskopu w celu wizualizacji sygnału. Nie wpływa to na wynik działania układu.

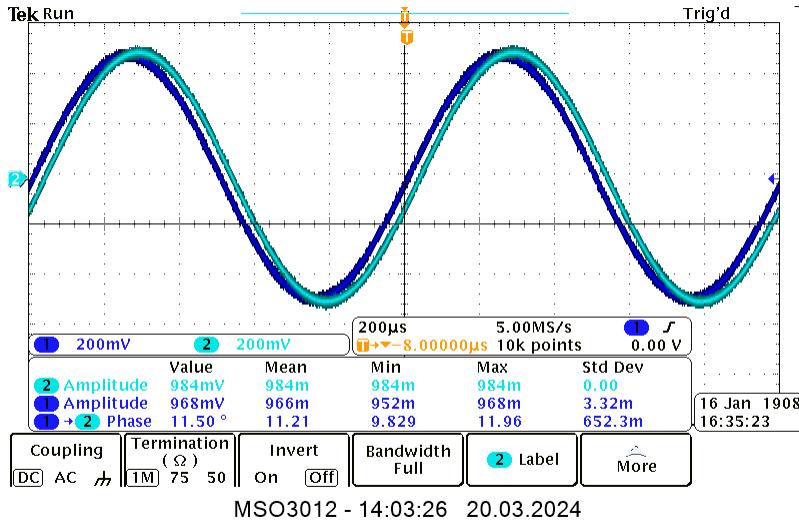
### 2.1.4 Pomiary dla 1V oraz 1kHz

Pierwszy pomiar z użyciem własnoręcznie zmontowanego układu dotyczył obliczenia transmisji układu (4), czyli stosunku amplitudy sygnału wyjściowego do amplitudy sygnału wejściowego, dla podanego na wejściu 1V oraz 1kHz.

$$T = \frac{966mV}{984mV} = \frac{161}{164} \approx \mathbf{0.9817073} \quad (7)$$

Natomiast przesunięcie fazy pomiędzy dwoma sygnałami wynosi:

$$\varphi = \mathbf{11.21^\circ} \quad (8)$$



Rysunek 17: Uzyskany odczyt z oscyloskopu dla 1V oraz 1kHz,  
 Źródło: Opracowanie własne

### 2.1.5 Uzyskana charakterystyka amplitudowa

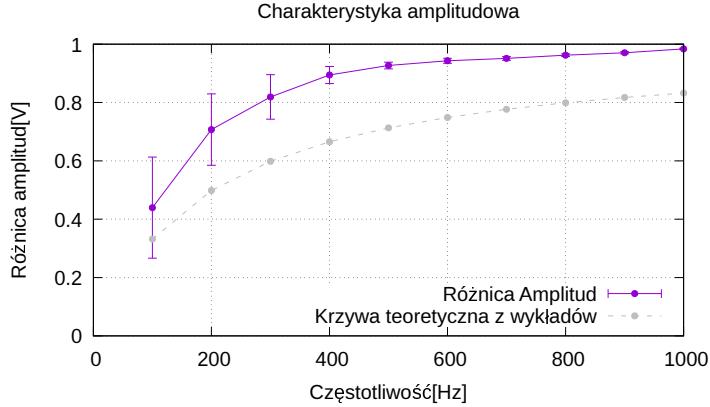
W czasie zajęć zadaniem było zebranie danych z różnych zakresów częstotliwości w celu utworzenia wykresu.

Hz	Amplituda wyjściowa[mV]	Amplituda wejściowa[mV]	Stosunek Amplitud(wyjściowa/wejściowa)	Krzywa teoretyczna
100	433	985	0.439593909	0.331910059
200	696	984	0.707317073	0.498397106
300	806	984	0.819105691	0.598460234
400	880	984	0.894308943	0.665240347
500	912	984	0.926829268	0.712975429
600	928	984	0.943089431	0.748795899
700	936	984	0.951219512	0.776667627
800	947	984	0.962398374	0.798972171
900	955	984	0.970528455	0.81722608
1 000	968	984	0.983739837	0.832440929
2 000	976	984	0.991869919	0.908559633
3 000	976	984	0.991869919	0.937123265
4 000	976	984	0.991869919	0.952089332
5 000	976	984	0.991869919	0.961300643
6 000	976	984	0.991869919	0.96754118
7 000	976	984	0.991869919	0.972048544
8 000	976	984	0.991869919	0.975456724
9 000	976	984	0.991869919	0.978124098
10 000	984	984	1	0.980268524

Tablica 1: Dane użyte do stworzenia wykresu,  
 Źródło: Opracowanie własne

Stosunek amplitud jest to po prostu iloraz amplitudy wejściowej do wyjściowej. Krzywa teoretyczna została obliczona przy użyciu wzoru:

$$|T(\omega)| = \sqrt{\frac{(\frac{\omega}{\omega_0})^2}{1 + (\frac{\omega}{\omega_0})^2}} \quad (9)$$



Rysunek 18: Uzyskany wynik porównany z krzywą teoretyczną,  
Źródło: Opracowanie własne

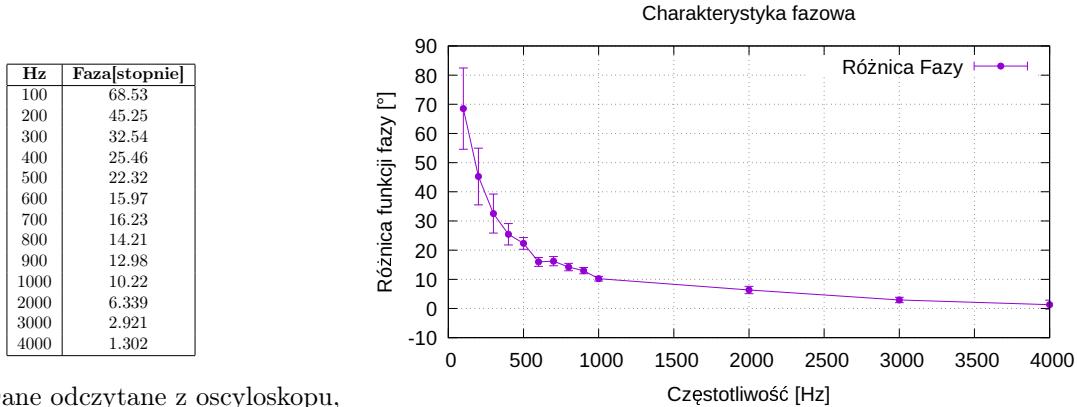
Linia fioletowa to różnica amplitud uzyskana przy pomocy pomiarów własnych. Jest ona również wzbogacona o odchylenie standardowe reprezentowane poprzez zakres zaznaczony w każdym punkcie. Linia przerywana natomiast to wartość idealna wyliczona ze wzoru opierającego się na częstotliwości granicznej.

Same obliczenie częstotliwości granicznej przedstawia się następująco:

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{1}{RC} = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 0,790686} = 201,287 \text{ Hz} \quad (10)$$

#### 2.1.6 Uzyskana charakterystyka fazowa

W charakterystyce fazowej ukazujemy natomiast przesunięcie sygnału w czasie, spowodowane przez dłuższą drogę prowadzącą przez układ.



Tablica 2: Dane odczytane z oscyloskopu,  
Źródło: Opracowanie własne

Rysunek 19: Wykres zależności kąta fazowego  
 $\theta$  od częstotliwości,  
Źródło: Opracowanie własne

dla  $f_0 = 201,287 \text{ Hz}$  kąt  $\theta$  będzie wałał się wokół  $45^\circ$ .

## 2.2 Ćwiczenie 2.2

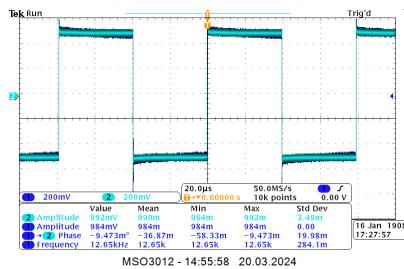
Ćwiczenie to polegało na porównaniu zachowania fal prostokątnej oraz trójkątnej dla różnych okresów:

$$T_{mniejsze} = 0,1 \cdot \tau = 0,079068 \text{ ms}$$

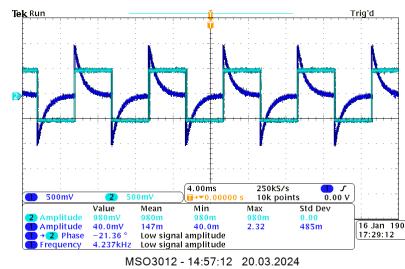
$$T_{rowne} = 1 \cdot \tau = 0,79068 \text{ ms}$$

$$T_{wieksze} = 10 \cdot \tau = 7,9068 \text{ ms}$$

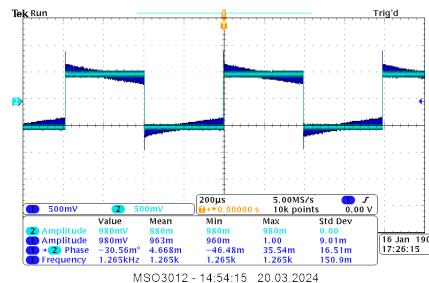
### 2.2.1 Fala Prostokątna



Rysunek 20: Impulsy prostokątne o okresie T **mniejszym** od stałej czasowej  $\tau$ ,  
 Źródło: Opracowanie własne

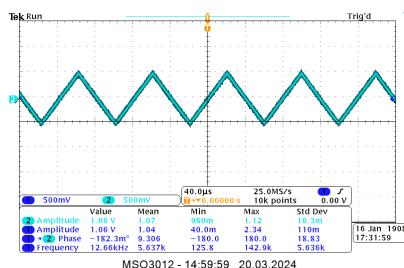


Rysunek 21: Impulsy prostokątne o okresie T **większym** od stałej czasowej  $\tau$ ,  
 Źródło: Opracowanie własne

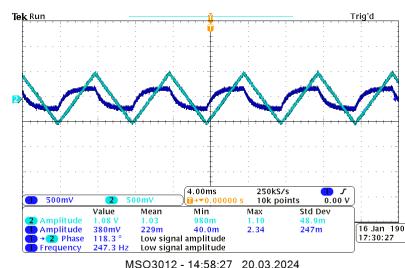


Rysunek 22: Impulsy prostokątne o okresie T **równym** stałej czasowej  $\tau$ ,  
 Źródło: Opracowanie własne

### 2.2.2 Fala Trójkątna

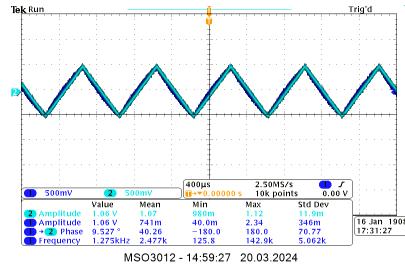


Rysunek 23: Impulsy trójkątne o okresie T **mniejszym** od stałej czasowej  $\tau$ ,  
 Źródło: Opracowanie własne



Rysunek 24: Impulsy trójkątne o okresie T **większym** od stałej czasowej  $\tau$ ,  
 Źródło: Opracowanie własne

Jak jesteśmy w stanie zaobserwować, w obu przypadkach, zmiany zachodzą w przykładzie gdzie T jest większe – co za tym idzie, **układ różniczkuje lepiej sygnały o niższych częstotliwościach**.

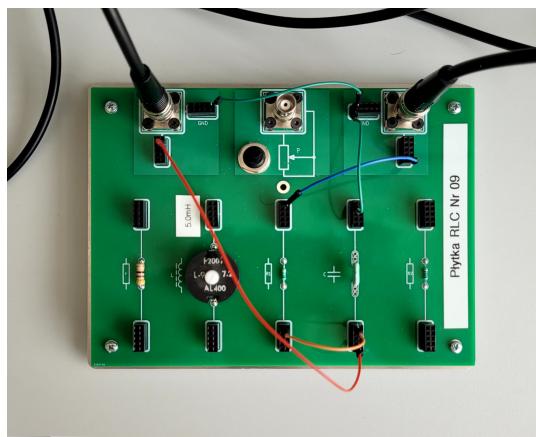


Rysunek 25: Impulsy trójkątne o okresie T **równym** stałej czasowej  $\tau$ ,  
 Źródło: Opracowanie własne

## 2.3 Ćwiczenie 2.3

Kolejnym punktem zadań było przekonstruowanie istniejącego układu w układ całkujący według rysunku (13).

### 2.3.1 Układ RC



Rysunek 26: Poprawnie zmontowany układ RC,  
 Źródło: Opracowanie własne

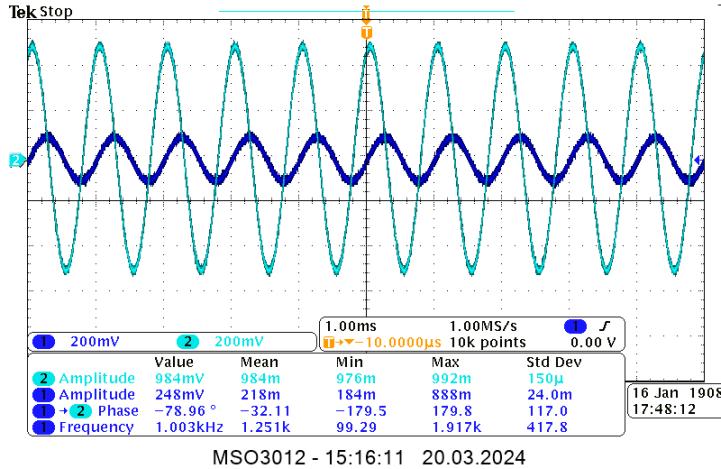
### 2.3.2 Pomiary dla 1V oraz 1kHz

Stosunek amplitudy sygnału wyjściowego do amplitudy sygnału wejściowego, w tym przypadku dla 1V oraz 1kHz: wynosi:

$$T = \frac{218mV}{976mV} = \frac{109}{488} \approx \mathbf{0.2233606} \quad (11)$$

Przesunięcie fazy pomiędzy dwoma sygnałami wynosi średnio:

$$\varphi = -\mathbf{32,11^\circ} \quad (12)$$



Rysunek 27: Uzyskany odczyt z oscyloskopu dla 1V oraz 1kHz,  
Źródło: Opracowanie własne

### 2.3.3 Charakterystyka amplitudowa

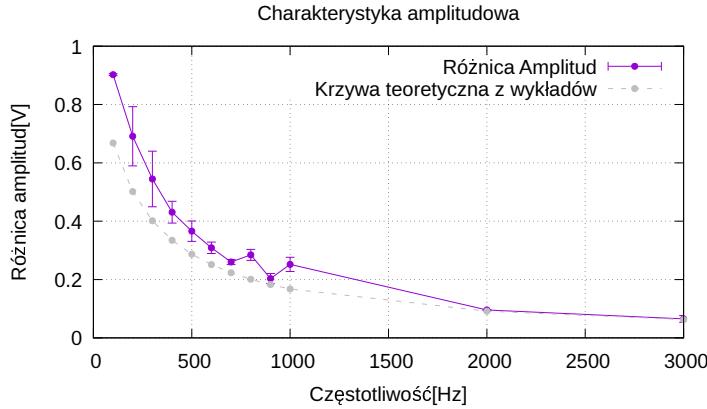
Hz	Amplituda wyjściowa[mV]	Amplituda wejściowa[mV]	Stosunek Amplitud(wyjściowa/wejściowa)	Krzywa teoretyczna
100	888	984	0.902439024	0.66809074
200	680	984	0.691056911	0.501603795
300	536	984	0.544715447	0.401540632
400	424	984	0.430894309	0.334760455
500	360	984	0.365853659	0.287025308
600	304	984	0.308943089	0.251204778
700	256	984	0.260162602	0.223332998
800	280	984	0.284552846	0.201028408
900	200	984	0.203252033	0.182774458
1000	248	984	0.25203252	0.167559573
2000	94	984	0.095528455	0.091440666
3000	64	984	0.06504065	0.062876947
4000	60	984	0.06097561	0.047910832
5000	36.8	984	0.037398374	0.038699491
6000	31.2	984	0.031707317	0.032458933
7000	37.2	984	0.037804878	0.027951554
8000	23.6	984	0.02398374	0.024543363
9000	20.4	984	0.020731707	0.021875979
10000	17.2	984	0.017479675	0.019731546
20000	7.2	984	0.007317073	0.009964076

Tablica 3: Dane użyte do stworzenia wykresu,  
Źródło: Opracowanie własne

Stosunek amplitud jest to po prostu iloraz amplitudy wejściowej do wyjściowej. Krzywa teoretyczna została obliczona przy użyciu wzoru:

$$|T(\omega)| = \sqrt{\frac{1}{1 + (\frac{\omega}{\omega_0})^2}} \quad (13)$$

Jak widzimy odczyty z oscyloskopu pokrywają się z krzywą teoretyczną jeśli chodzi o ogólny kształt wykresu.

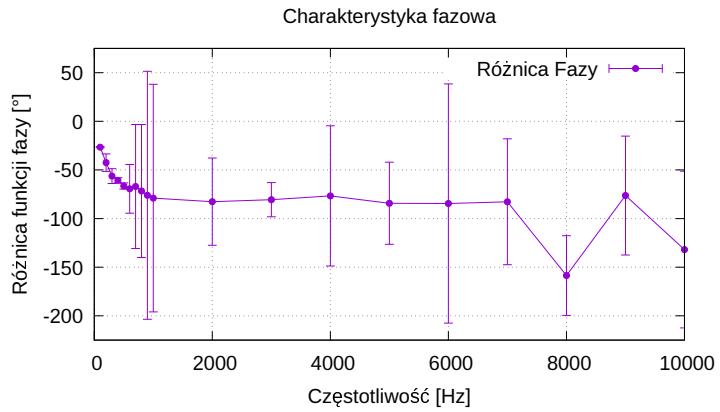


Rysunek 28: Uzyskany wynik porównany z krzywą teoretyczną,  
Źródło: Opracowanie własne

### 2.3.4 Charakterystyka fazowa

Hz	Faza [stopnie]
100	-26,61
200	-42,48
300	-56,33
400	-60,65
500	-66,51
600	-69,42
700	-67,04
800	-71,64
900	-76,1
1 000	-78,96
2 000	-82,64
3 000	-80,58
4 000	-76,69
5 000	-84,27
6 000	-84,47
7 000	-82,75
8 000	-158,6
9 000	-76,32
10 000	-131,9

Tablica 4: Dane odczytane z oscyloskopu,  
Źródło: Opracowanie własne

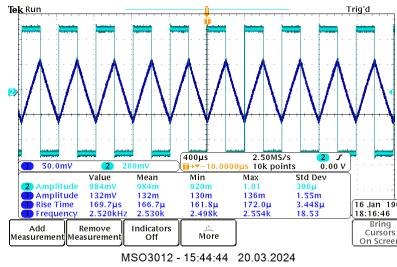


Rysunek 29: Wykres zależności kąta fazowego  
 $\theta$  od częstotliwości,  
Źródło: Opracowanie własne

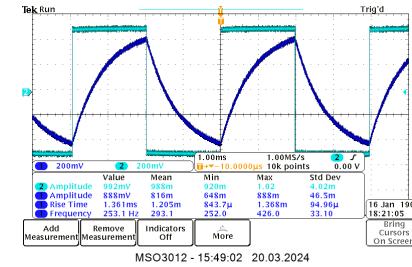
Charakterystyka fazowa ukazująca przesunięcie sygnału w czasie, również przyjmuje oczekiwany kształt jednak powyżej 7kHz momentu występują pewne zakłuczenia sygnału.

### 2.3.5 Przebieg impulsów wyjściowych i wejściowych dla fali prostokątnej

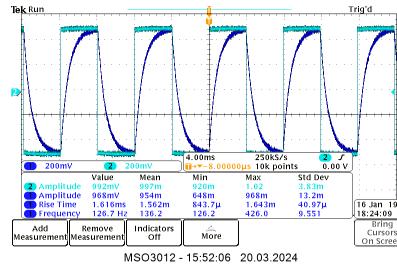
W tej części polecenia zadaniem było zaobserwować powstawanie charakterystycznego czasu narastania dla sygnału o fali prostokątnej w miarę stopniowej zmiany okresu zaczynając od wielkości  $T = 0,5 \cdot \tau$  aż do  $T = 10 \cdot \tau$ .



Rysunek 30: Impulsy prostokątne o okresie  
 $T = 0.5\tau$ ,  
 Źródło: Opracowanie własne



Rysunek 31: Impulsy prostokątne o okresie  
 $T = 5\tau$ ,  
 Źródło: Opracowanie własne



Rysunek 32: Impulsy prostokątne o okresie  $T = 10\tau$ ,  
 Źródło: Opracowanie własne

- Jak jesteśmy w stanie zaobserwować dla  $T = 0.5\tau$  sygnał charakterystyką przypomina bardziej falę trójkątną, impulsy wejściowe przyjmują postać funkcji liniowej.
- Dla okresu równego  $5\tau$  zaczynamy zauważać powolną zmianę natury czasu narastania, przypominają ona w tych fragmentach parabolę.
- Finalnie przy okresie rzędu  $10\tau$  otrzymujemy oczekiwany efekt, czyli charakterystyczny kształt zaczynający się gwałtownym implusem na początku oraz powolnym wejściem na docelową amplitudę idealnie na końcu sygnału prostokątnego.

Dla  $5\tau$  okres układu wynosi:

$$T = 5\tau = 5 \cdot 0.790686\text{ms} = \mathbf{3.95343\text{ms}} \quad (14)$$

Z rysunku (31) dzięki ustawionemu measurement'owi jesteśmy w stanie odczytać w prosty sposób **czas narastania** który wynosi **średnio 1,562ms**.

### 3 Omówienie wyników

#### 3.1 Ćwiczenie 2.1

Po przeprowadzeniu pomiarów rezystancji ( $R$ ) i pojemności ( $C$ ), obliczono stałą czasową układu. Wynosiła ona 0.790686 ms, co mieściło się w zakładanym przedziale 0.1 – 1 ms. Przeprowadzony został pomiar transmisji układu oraz przesunięcia fazowego dla sygnału wejściowego o amplitudzie 1V i częstotliwości 1kHz. Stosunek amplitud wynosił około 0.9817073, a przesunięcie fazowe wynosiło  $11.21^\circ$ . Otrzymane wartości są jak najbardziej wiarygodne oraz potwierdzają poprawność działania układu różniczkującego.

Analizując uzyskaną charakterystykę amplitudową jesteśmy w stanie zauważyc podobny profil krzywej do tej uzyskanej teoretycznym wzorem. Mimo wszystko widoczne jest ewidentne przesunięcie wykresu o  $\approx 0.1V$  od idealnych wartości. Została ona stworzona przy zastosowaniu wzoru:

$$|T(\omega)| = \sqrt{\frac{(\frac{\omega}{\omega_0})^2}{1 + (\frac{\omega}{\omega_0})^2}} \quad (15)$$

Co ciekawe jeśli popatrzymy na uzyskany wynik przy obliczaniu częstotliwości granicznej to z wykresu wynika, że odpowiada on wartości  $\approx 0,71$  czyli  $\frac{1}{\sqrt{2}}$  co wynika bezpośrednio z powyższego wzoru. Krzywa ta jest w takim razie poprawnie wykonana.

Wykres zmiany przesunięcia fazy również odpowiada kształtem oczekiwanej funkcji. Sam odczyt kąta  $\theta$  jest również poprawny ponieważ:

$$\arctg(45^\circ) \approx 0,6665773 \quad (16)$$

Co jest wystarczająco blisko wartości przyjmowanej przez  $\frac{\pi}{4}$  biorąc pod uwagę odchylenie wyniku.

### 3.2 Ćwiczenie 2.2

W powyższym zadaniu wykonano porównanie zachowania fal prostokątnej i trójkątnej dla różnych okresów, które były większe lub mniejsze od stałej czasowej  $\tau$ .

Zaobserwować można było, że dla okresów większych od  $\tau$ , sygnał był różniczkowalny tak w przeciwnieństwie do mniejszych okresów gdzie przypominały one funkcję wejściową.

Wnioskiem z tego eksperymentu jest to, że układ różniczkujący lepiej radzi sobie z sygnałami o niższych częstotliwościach. Natomiast dla sygnałów o wyższych częstotliwościach, zachowanie układu różniczkującego może być mniej skuteczne, szczególnie gdy okres jest mniejszy od  $\tau$ .

### 3.3 Ćwiczenie 2.3

W tym podpunkcie zostały wykonane bliżniacze badania co w zadaniu 2.1. Obliczony został stosunek amplitudy sygnału wyjściowego do wejściowego oraz przesunięcie fazowe dla parametrów  $1V$  oraz  $1kHz$  co pozwoliło określić wzmacnienie układu dla tej konkretnej częstotliwości i napięcia.

Wyniki dotyczące charakterystyki amplitudowej i fazowej prezentują się bardzo podobnie. Oba pokrywają się ogólnym kształtem funkcji aczkolwiek w przypadku różnicicy amplitud dalej występuje lekkie przesunięcie danych. Natomiast wykreślona funkcja fazy powyżej częstotliwości  $7kHz$  ukazuje lekko odbiegające wartości zapewne przez występujące zakłócenia i wstarczająco słaby już sygnał. Zapisanie tak wysokich wartości wynika tylko z mojego kurczowego trzymania się instrukcji oraz chęci ukazania co może się wydarzyć gdy sygnał wystarczająco osłabnie.

Punkt dotyczący badania impulsów wejściowych i wyjściowych przebieg pomyślnie oraz dostarczył pożądanych wyników. Dziesięciokrotność  $\tau$  prezentuje oczekiwane impulsy wejściowe i wyjściowe. Obliczone wartości teoretyczne czasu narasania zgadzają się z odczytanymi pomiarami:

$$\frac{0.5\tau}{2} = \frac{0.395343ms}{2} = 0,1976715ms \sim \mathbf{0,2ms} \text{ (Odczytane z oscyloskopu)}$$

$$\frac{5\tau}{2} = \frac{3.95343ms}{2} = 1,976715ms \sim \mathbf{2ms} \text{ (Odczytane z oscyloskopu)}$$

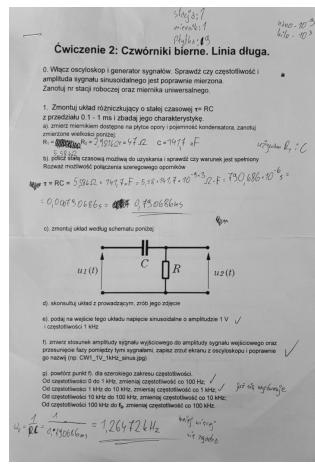
$$\frac{10\tau}{2} = \frac{7.90686ms}{2} = 3,95343ms \sim \mathbf{4ms} \text{ (Odczytane z oscyloskopu)}$$

Reszta wykonanych screenshot'ów znajduje się w notatkach i materiałach z zajęć.

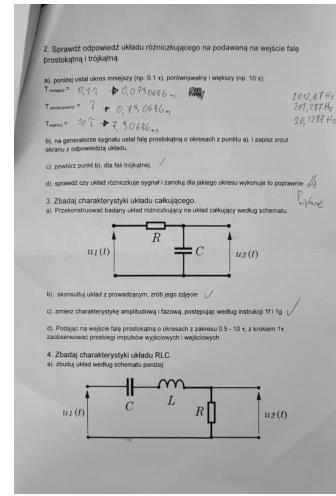
## 4 Podsumowanie

Drugie ćwiczenia laboratoryjne dostarczyły cennej wiedzy na temat podstawowych elementów elektronicznych, jak również ich zastosowań w praktyce. Podczas laboratorium udało się zbudować układy różniczkujące, całkujące oraz zbadać ich charakterystyki amplitudowe i fazowe. Dodatkowo, porównano zachowanie fal prostokątnych i trójkątnych dla różnych okresów, co pozwoliło lepiej zrozumieć działanie tych układów. Całość doświadczenia była świetnym sposobem na lepsze zrozumienie teoretycznych podstaw elektroniki oraz nauczenie się praktycznych umiejętności związanych z montażem i pomiarami na układach elektronicznych.

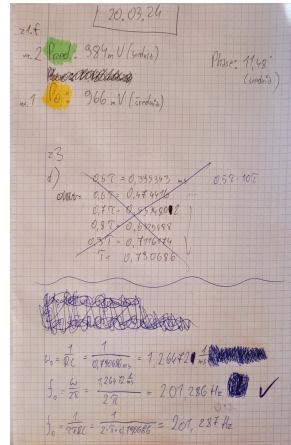
## 5 Notatki i materiały z zajęć



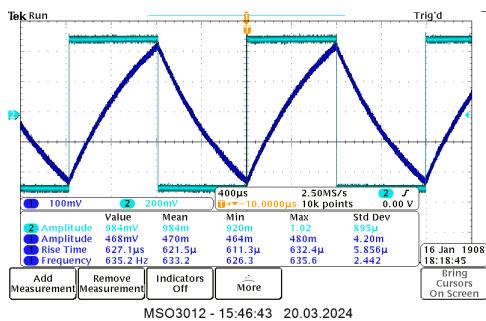
Rysunek 33: Wypełniona karta pracy,  
 Źródło: Opracowanie własne



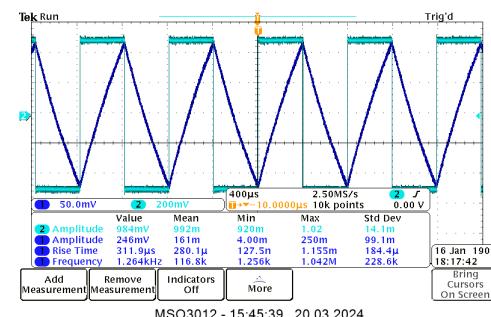
Rysunek 34: Wypełniona karta pracy,  
 Źródło: Opracowanie własne



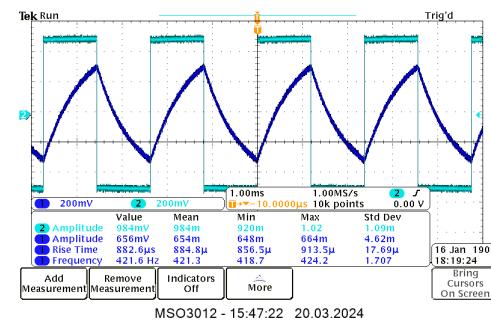
Rysunek 35: Wypełniona karta pracy,  
 Źródło: Opracowanie własne



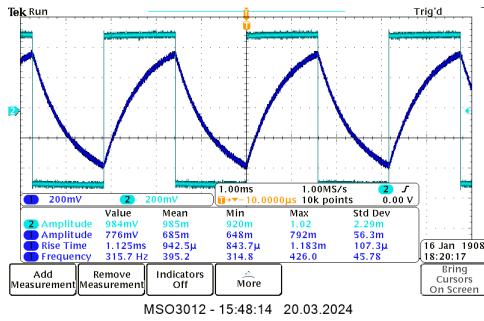
Rysunek 37: Impulsy prostokątne o okresie  $T = 2\tau$ ,  
 Źródło: Opracowanie własne



Rysunek 36: Impulsy prostokątne o okresie  $T = 1\tau$ ,  
 Źródło: Opracowanie własne

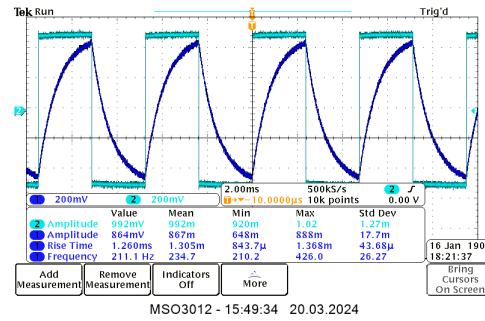


Rysunek 38: Impulsy prostokątne o okresie  $T = 3\tau$ ,  
 Źródło: Opracowanie własne



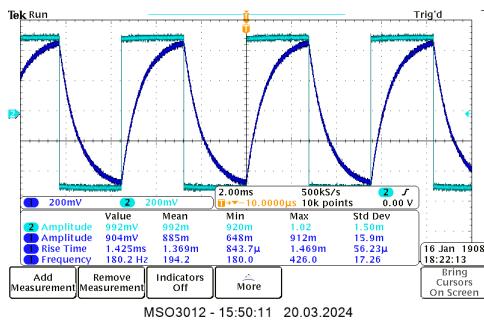
Rysunek 39: Impulsy prostokątne o okresie  
 $T = 4\tau$ ,

Źródło: Opracowanie własne



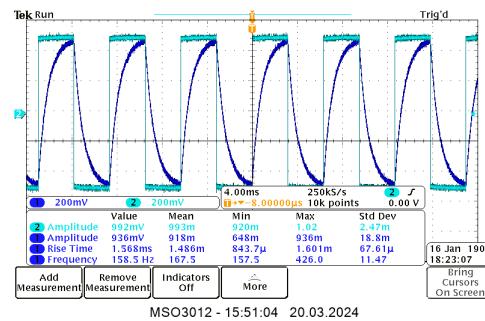
Rysunek 40: Impulsy prostokątne o okresie  
 $T = 6\tau$ ,

Źródło: Opracowanie własne



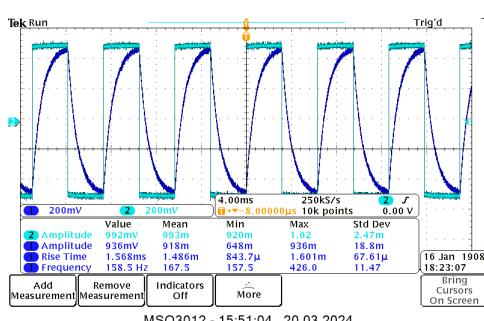
Rysunek 41: Impulsy prostokątne o okresie  
 $T = 7\tau$ ,

Źródło: Opracowanie własne



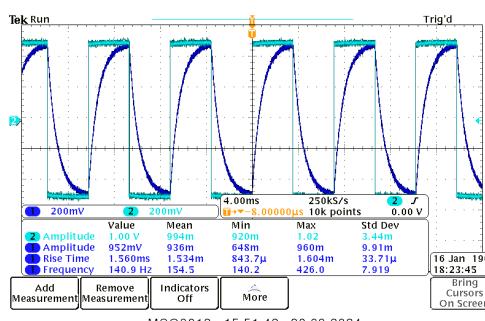
Rysunek 42: Impulsy prostokątne o okresie  
 $T = 8\tau$ ,

Źródło: Opracowanie własne



Rysunek 43: Impulsy prostokątne o okresie  
 $T = 8\tau$ ,

Źródło: Opracowanie własne



Rysunek 44: Impulsy prostokątne o okresie  
 $T = 9\tau$ ,

Źródło: Opracowanie własne