

Sprawozdanie z ćwiczenia laboratoryjnego 2

Czwórniki bierne

Dane studenta

Imie i nazwisko:	Bartłomiej Galek
Kierunek studiów:	Informatyka Stosowana
Numer grupy:	2
Data wykonania ćwiczenia:	18.03.2025
Numer ćwiczenia:	2
Temat ćwiczenia:	Czwórniki bierne. Linia długa

Rok akademicki 2024/2025

Spis treści

1	Wstęp	3
1.1	Cel ćwiczenia	3
1.2	Teoria	3
1.2.1	Układy różniczkujące	3
1.2.2	Układy całkujące	3
2	Ćwiczenie 1. Zbudowanie układu różniczkującego	3
2.1	Przebieg ćwiczenia i warunki początkowe	3
2.2	Układ różniczkujący	4
2.3	Zadanie praktyczne 1	4
2.4	Podsumowanie zadania 1	6
3	Ćwiczenie 2. Odpowiedź układu różniczkującego	6
3.1	Odpowiedź na fale prostokątne	7
3.2	Odpowiedź na fale trójkątne	8
3.3	Podsumowanie zadania 2	9
4	Ćwiczenie 3. Układ całkujący	9
4.1	Charakterystyka częstotliwościowa	10
4.2	Odpowiedź na fale prostokątne	14
4.3	Podsumowanie zadania 3	19
5	Ćwiczenie 4. Czwórnik RLC	19
5.1	Przebieg ćwiczenia	19
5.2	Podsumowanie zadania 4	22
6	Wnioski końcowe	22
7	Literatura	23

1 Wstęp

1.1 Cel ćwiczenia

Celem drugiego ćwiczenia jest zbudowanie i przetestowanie różnych czwórników biernych, w tym układów różniczkujących, całkujących oraz RLC, a także analiza ich charakterystyk częstotliwościowych i odpowiedzi na różne sygnały wejściowe.

1.2 Teoria

Czwórniki bierne to układy elektroniczne zbudowane wyłącznie z elementów pasywnych (R, L, C), posiadające dwa porty wejściowe i dwa wyjściowe. Charakteryzują się brakiem wzmocnienia sygnału i możliwością opisu za pomocą parametrów macierzowych.

1.2.1 Układy różniczkujące

Układ różniczkujący realizuje operacje pochodnej sygnału wejściowego. Najprostsza implementacja składa się z szeregowo połączanego kondensatora i rezystora, gdzie napięcie wyjściowe pobierane jest z rezystora. Jego odpowiedź opisuje zależność:

$$U_{wy} \approx RC \cdot \frac{dU_{we}}{dt} \quad (1)$$

1.2.2 Układy całkujące

Układ całkujący realizuje operacje całkowania sygnału wejściowego. Podstawowa konstrukcja zawiera rezystor na wejściu i kondensator równolegle do wyjścia. Zależność napięciowa:

$$U_{wy} \approx \frac{1}{RC} \cdot \int U_{we} dt \quad (2)$$

Oba typy układów znajdują zastosowanie w filtracji, przetwarzaniu sygnałów i technice impulsowej.

2 Ćwiczenie 1. Zbudowanie układu różniczkującego

2.1 Przebieg ćwiczenia i warunki początkowe

W ramach pierwszego ćwiczenia zbudowano układ różniczkujący CR. Przeanalizowano stosunek amplitudy wejściowej do wyjściowej oraz porównano częstotliwość graniczną z wartością teoretyczną.

2.2 Układ różniczkujący

Układ zbudowano korzystając z opornika o oporze $R_1 = 3.65 \text{ k}\Omega$ i kondensatorze o pojemności $C = 142.4 \text{ nF}$ zmierzonej doświadczalnie. Stała czasowa tego układu wynosi:

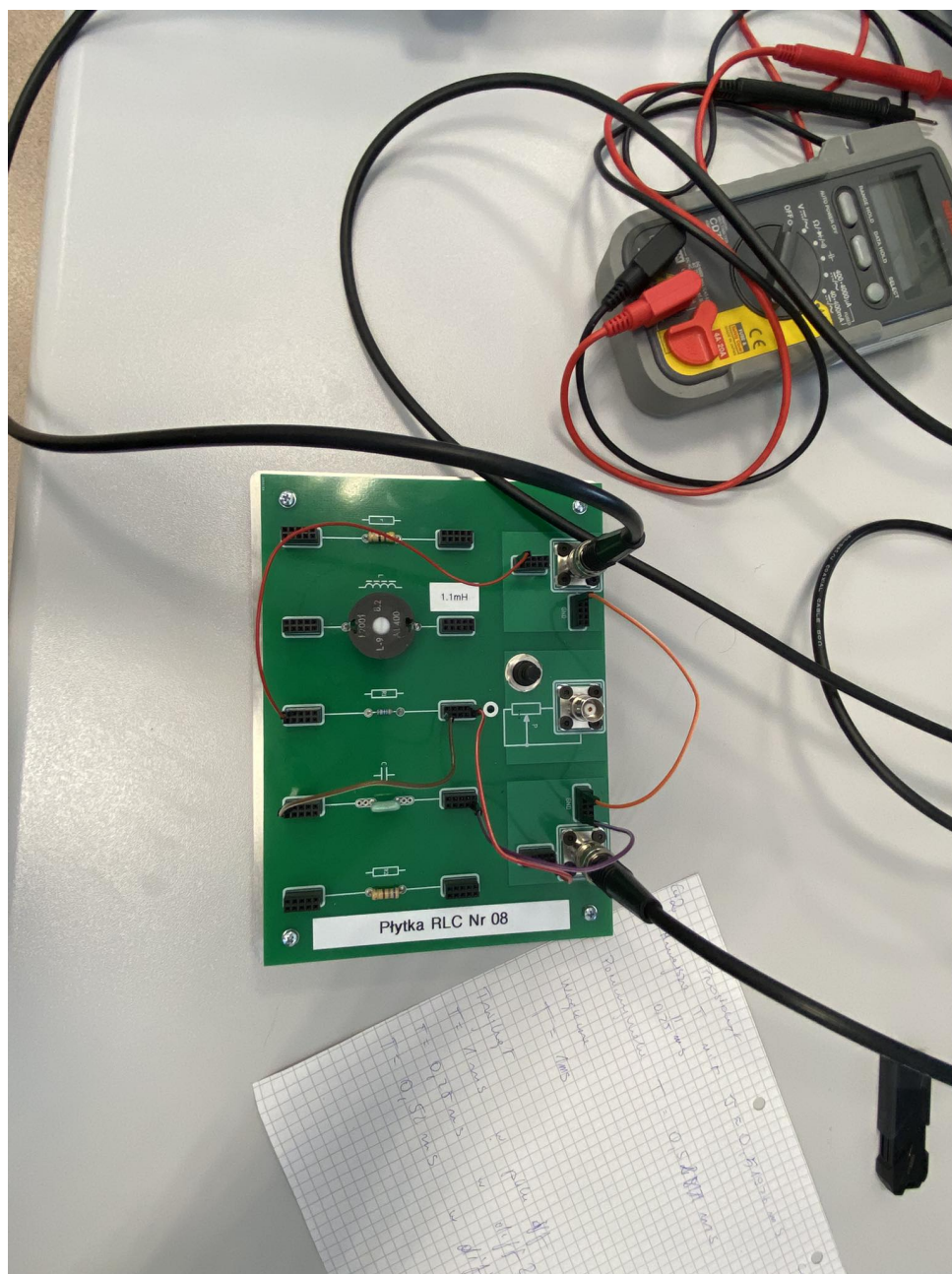
$$\tau_1 = R_1 \cdot C = 0.51976 \text{ ms} \quad (3)$$

Częstotliwość graniczna powinna wynosić:

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} = 300.580 \text{ Hz} \quad (4)$$

2.3 Zadanie praktyczne 1

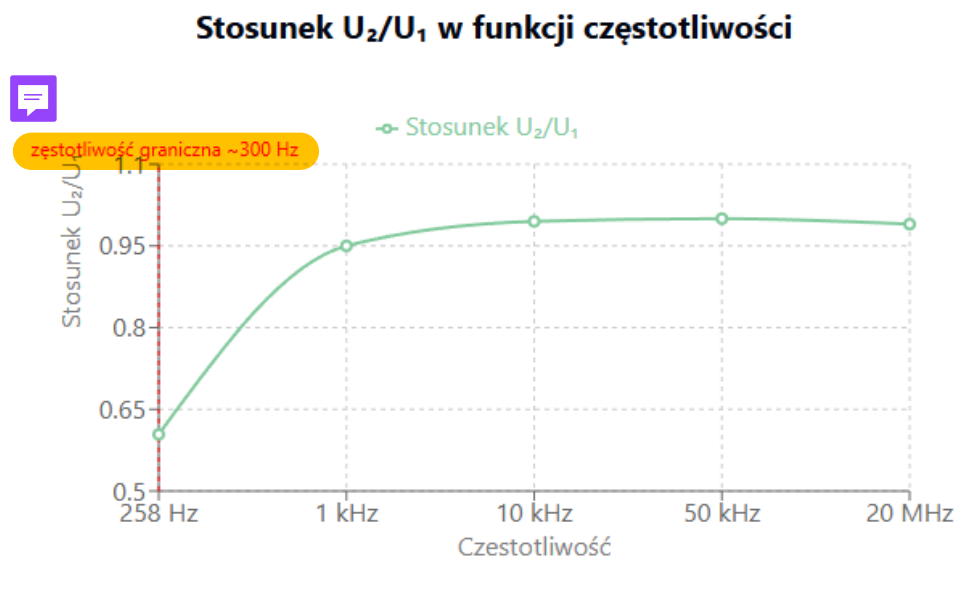
W ramach pierwszego zadania praktycznego zmierzono wartości napięć i fazy w zależności od częstotliwości. Wyniki pomiarów przedstawiono w tabeli 1.



Rysunek 1. Zbudowany układ RC

Tabela 1. Wyniki pomiarów napięcia i fazy w zależności od częstotliwości

Częstotliwość	U_1 [V]	U_2 [V]	Faza [stopnie]
1 kHz	2.010	1.910	16.9
258 Hz	2.020	1.219	49.6
50 kHz	2.010	2.010	90.5
20 MHz	2.020	2.000	185.4
10 kHz	2.000	1.990	1.8



Rysunek 2. Wykres stosunku U_2/U_1 w zależności od częstotliwości

2.4 Podsumowanie zadania 1

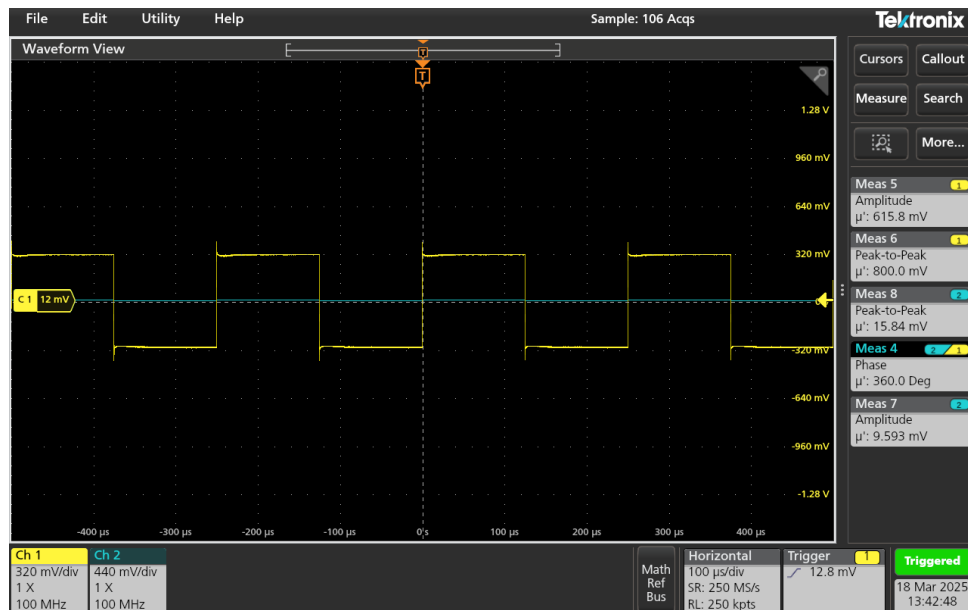
Wartość teoretyczna częstotliwości granicznej jest zgodna z rzeczywistą.

3 Ćwiczenie 2. Odpowiedź układu różniczkującego

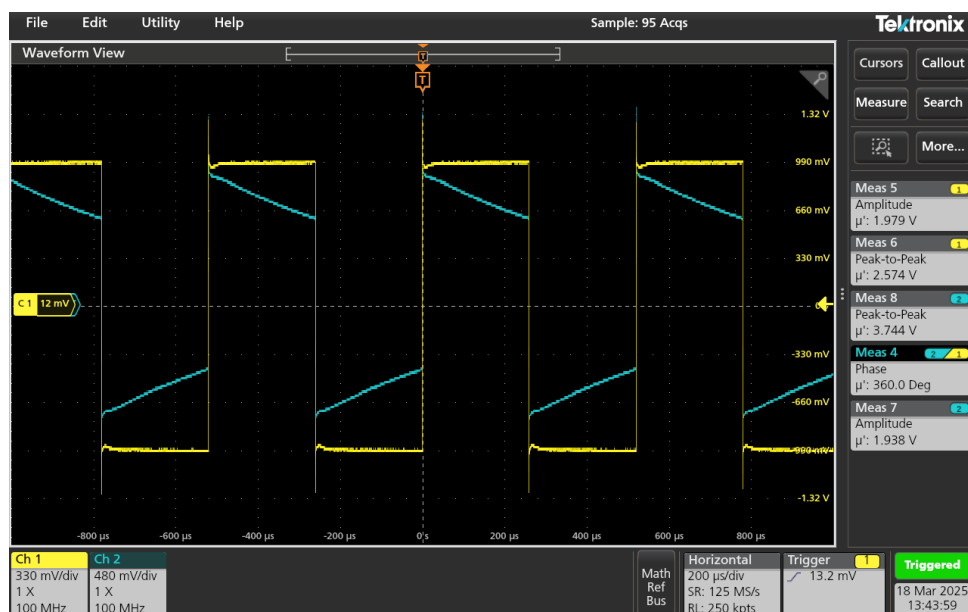
W ramach tego ćwiczenia zbadano odpowiedź układu różniczkującego na sygnały o różnym kształcie i częstotliwości. Do układu różniczkującego podano fale prostokątne o okresach:

- mniejszym od stałej czasowej: $T = 0.25 \text{ ms} < \tau$
- porównywalnym ze stałą czasową: $T = 0.52 \text{ ms} \approx \tau$
- większym od stałej czasowej: $T = 1 \text{ ms} > \tau$

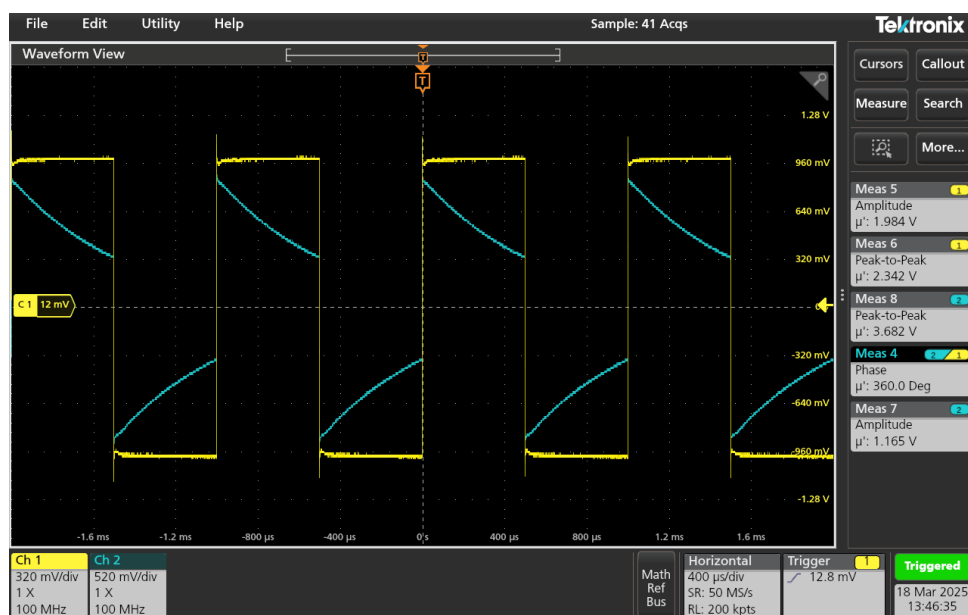
3.1 Odpowiedź na fale prostokątne



Rysunek 3. Odpowiedź układu różniczkującego dla fali prostokątnej o okresie $T = 0.25$ ms



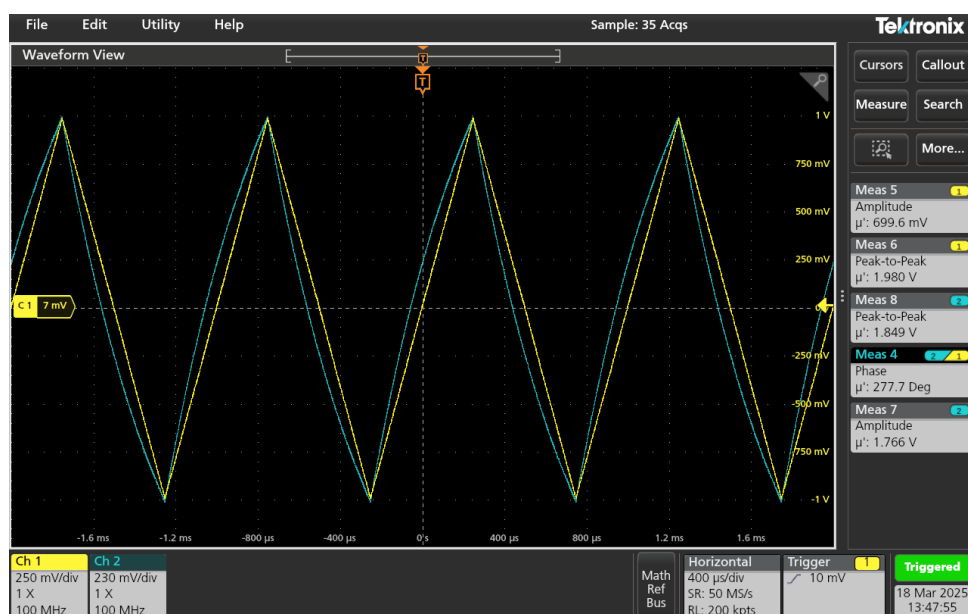
Rysunek 4. Odpowiedź układu różniczkującego dla fali prostokątnej o okresie $T = \tau \approx 0.52$ ms



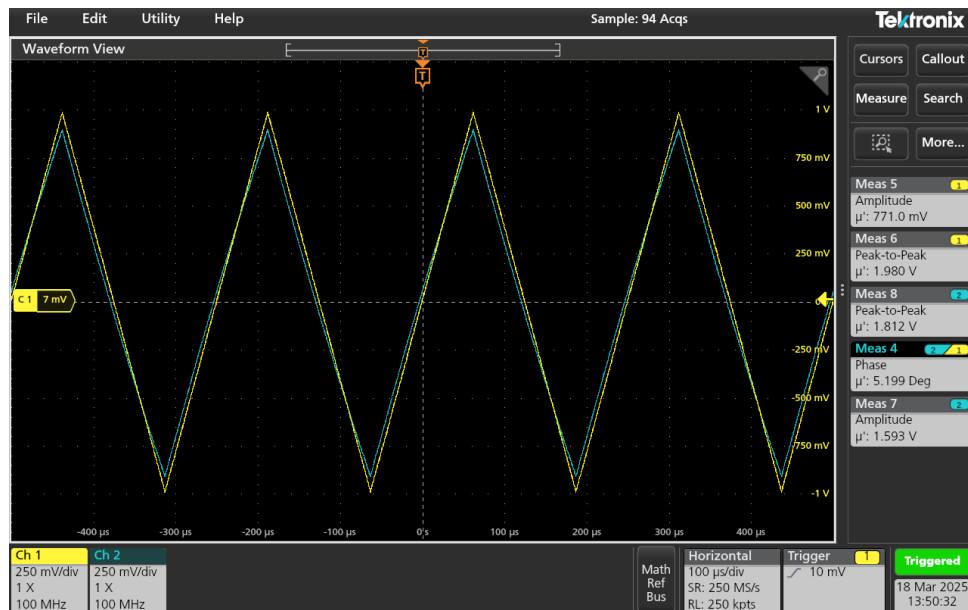
Rysunek 5. Odpowiedź układu różniczkującego dla fali prostokątnej o okresie $T = 1$ ms

3.2 Odpowiedź na fale trójkątne

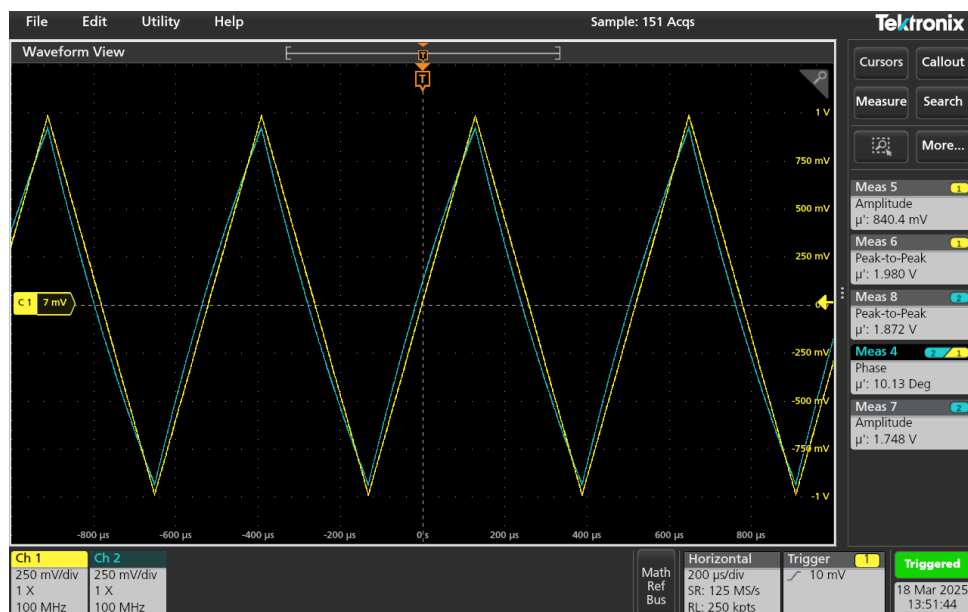
Następnie podano fale trójkątne o tych samych okresach.



Rysunek 6. Odpowiedź układu różniczkującego dla fali trójkątnej o okresie $T = 0.25$ ms



Rysunek 7. Odpowiedź układu różniczkującego dla fali trójkątnej o okresie $T = \tau \approx 0.52$ ms



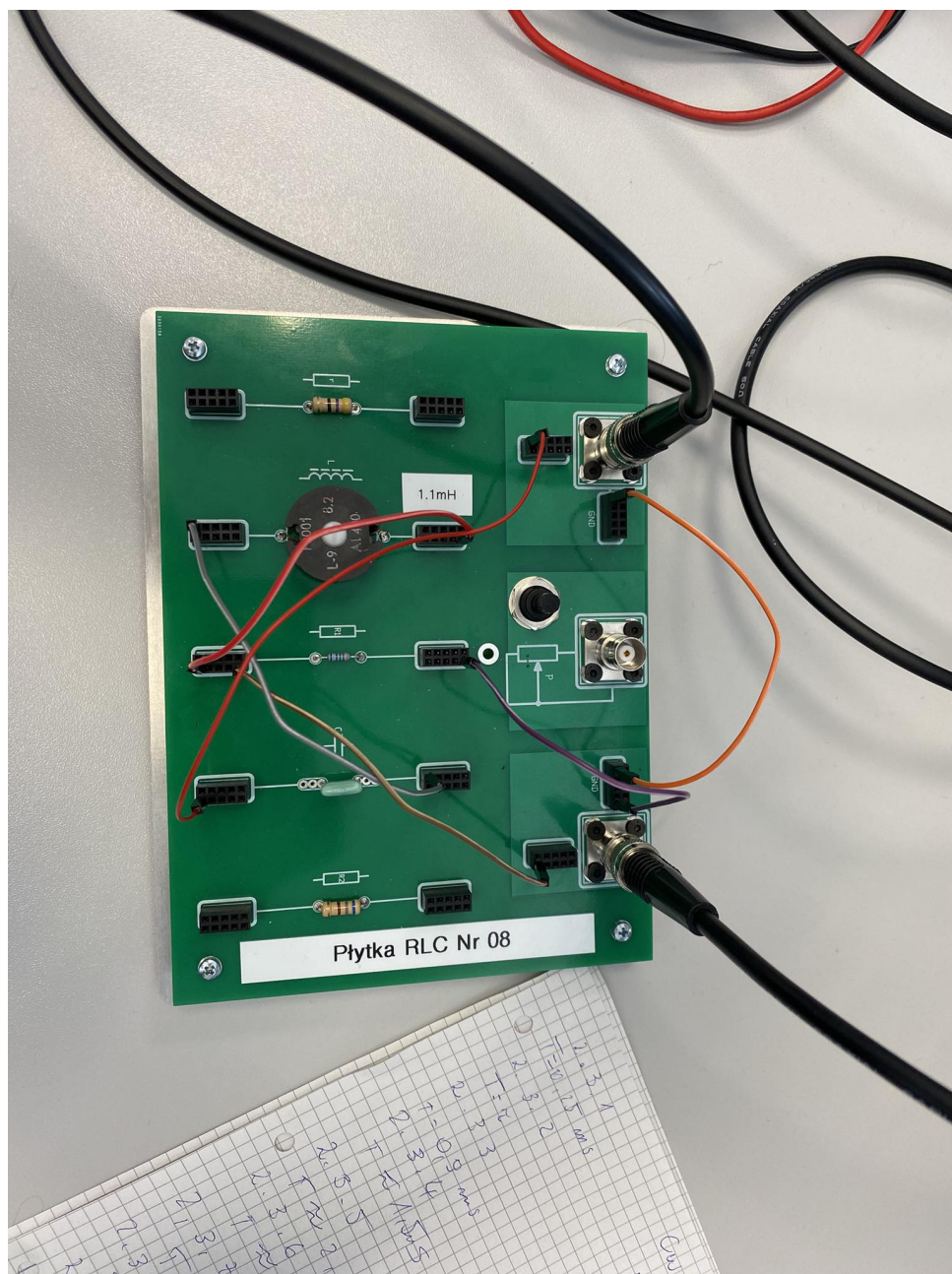
Rysunek 8. Odpowiedź układu różniczkującego dla fali trójkątnej o okresie $T = 1$ ms

3.3 Podsumowanie zadania 2

Odpowiedzi układu na fale prostokątne i trójkątne są zgodne z jego różniczkującą naturą.

4 Ćwiczenie 3. Układ całkujący

Przekonstruowano układ na układ całkujący korzystając z tego samego opornika i kondensatora. Zbadano jego charakterystykę amplitudową i fazową dla różnych częstotliwości.



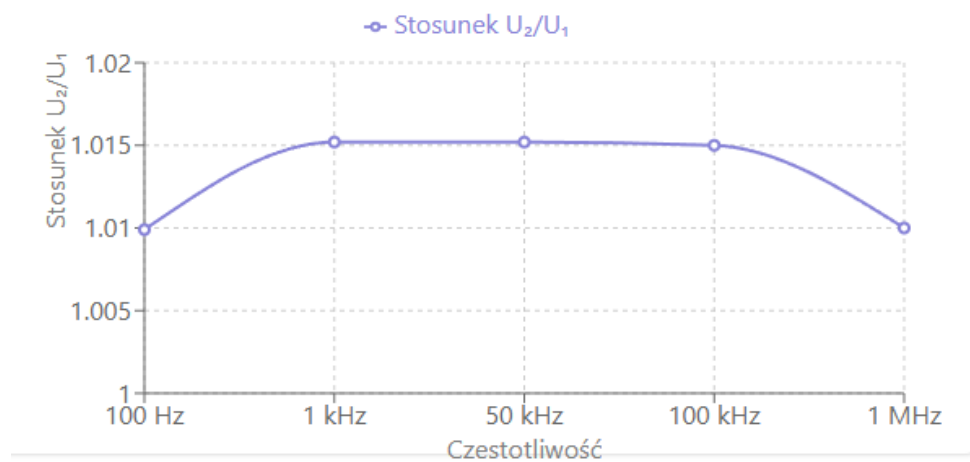
Rysunek 9. Zbudowany układ CR

4.1 Charakterystyka częstotliwościowa

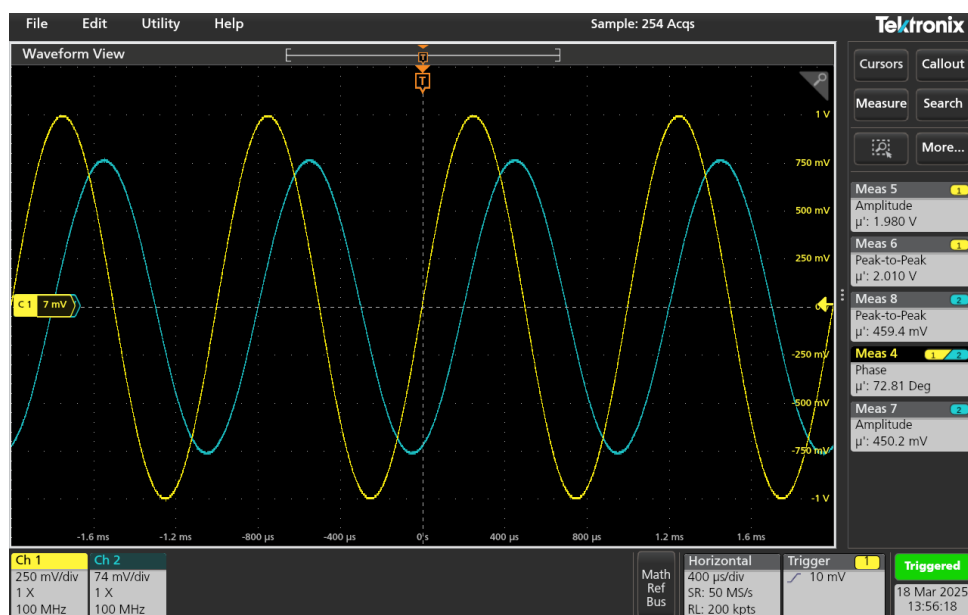
Wyniki pomiarów przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Wyniki pomiarów napięcia i fazy dla układu całkującego

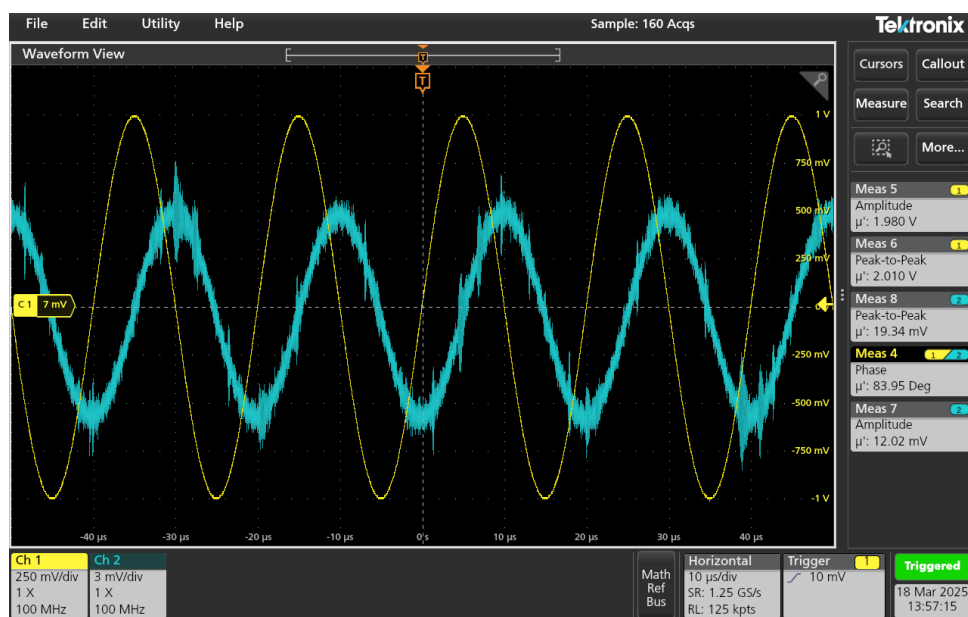
Częstotliwość	U_1 [V]	U_2 [V]	Faza [stopnie]
1 kHz	1.980	2.010	287.19
50 kHz	1.980	2.010	276.05
100 Hz	2.018	2.038	341.67
100 kHz	1.998	2.028	287.98
1 MHz	2.008	2.028	349.41

Stosunek U_2/U_1 w funkcji częstotliwości dla układu całkującego**Rysunek 10.** Wykres stosunku U_2/U_1 w zależności od częstotliwości

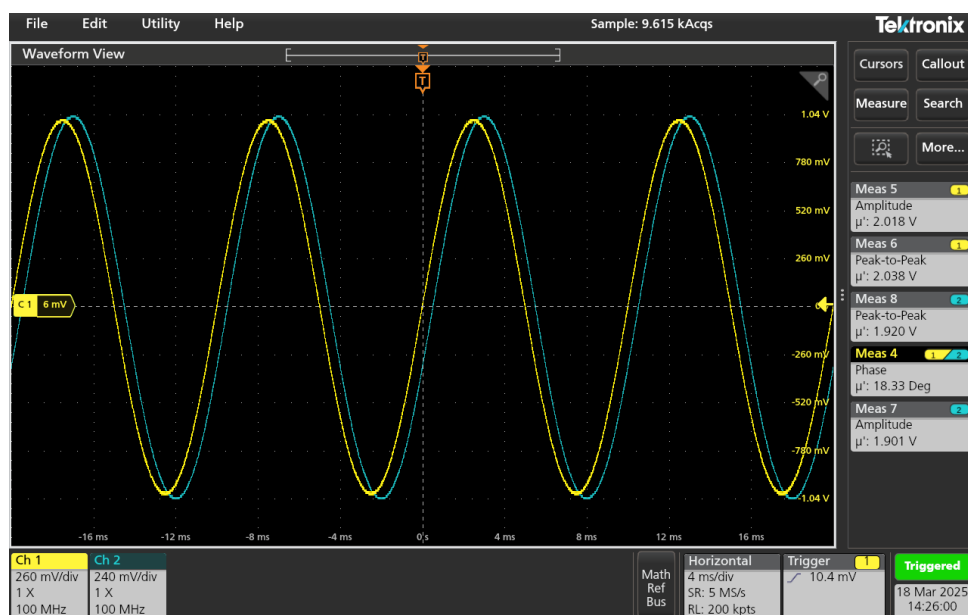
Poniżej przedstawiono zrzuty ekranu z oscyloskopu dla każdej z tych częstotliwości:



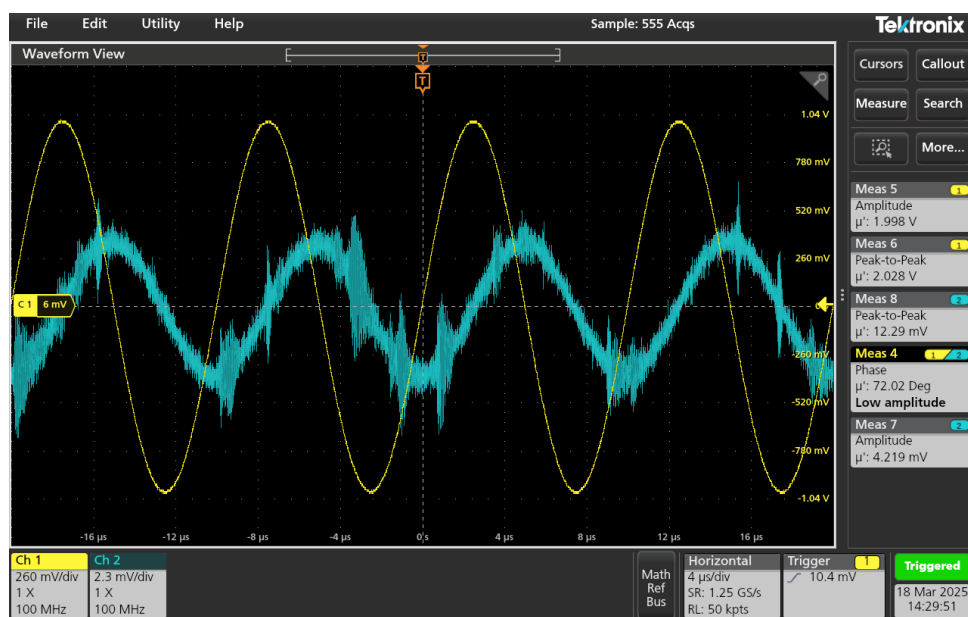
Rysunek 11. Charakterystyka układu całkującego dla częstotliwości 1 kHz



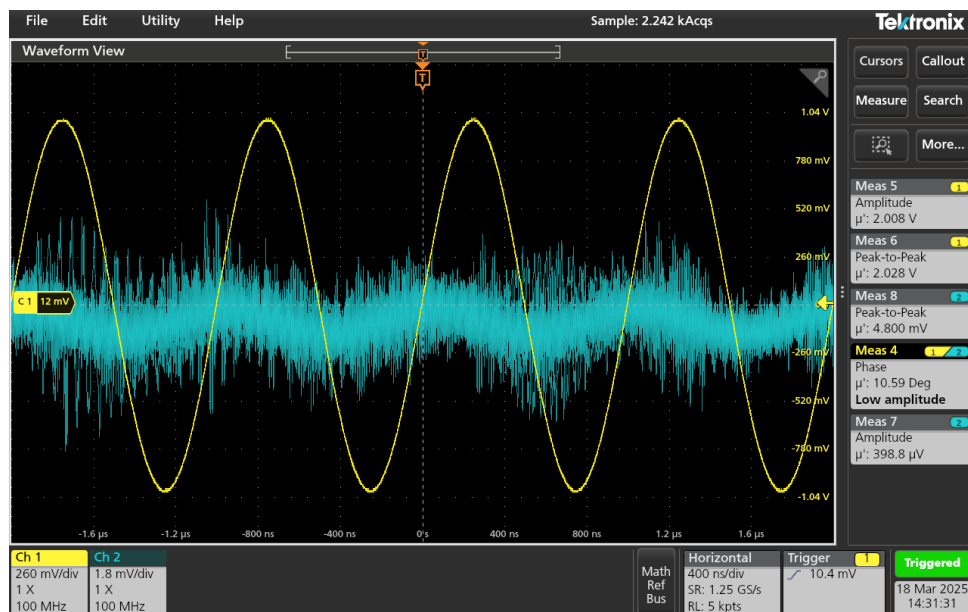
Rysunek 12. Charakterystyka układu całkującego dla częstotliwości 50 kHz



Rysunek 13. Charakterystyka układu całkującego dla częstotliwości 100 Hz



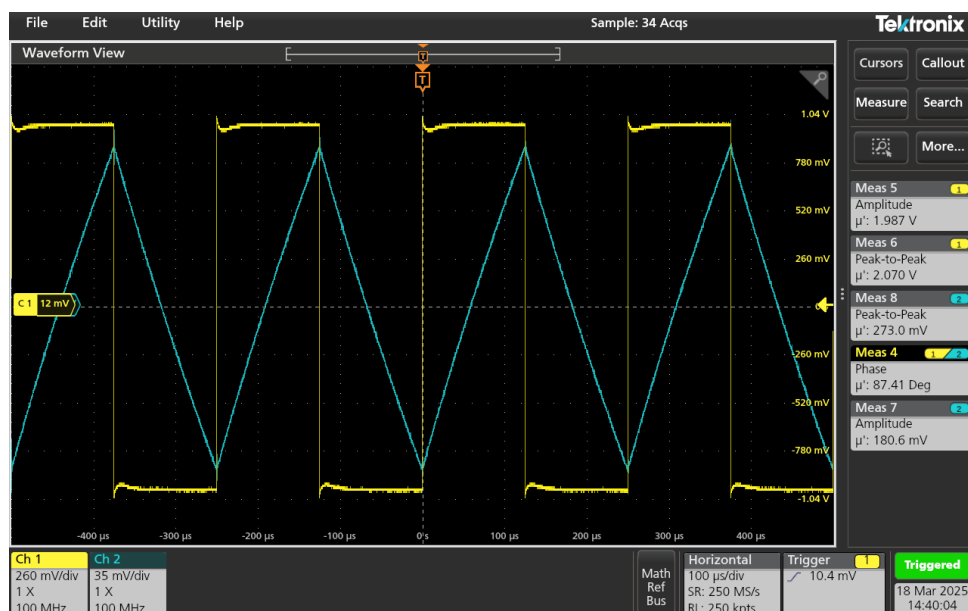
Rysunek 14. Charakterystyka układu całkującego dla częstotliwości 100 kHz



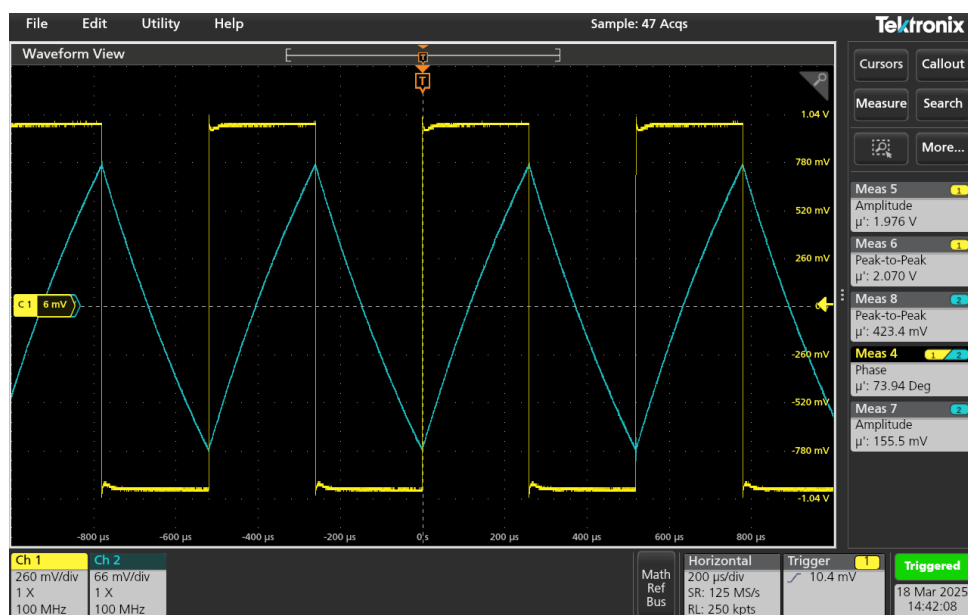
Rysunek 15. Charakterystyka układu całkującego dla częstotliwości 1 MHz

4.2 Odpowiedź na fale prostokątne

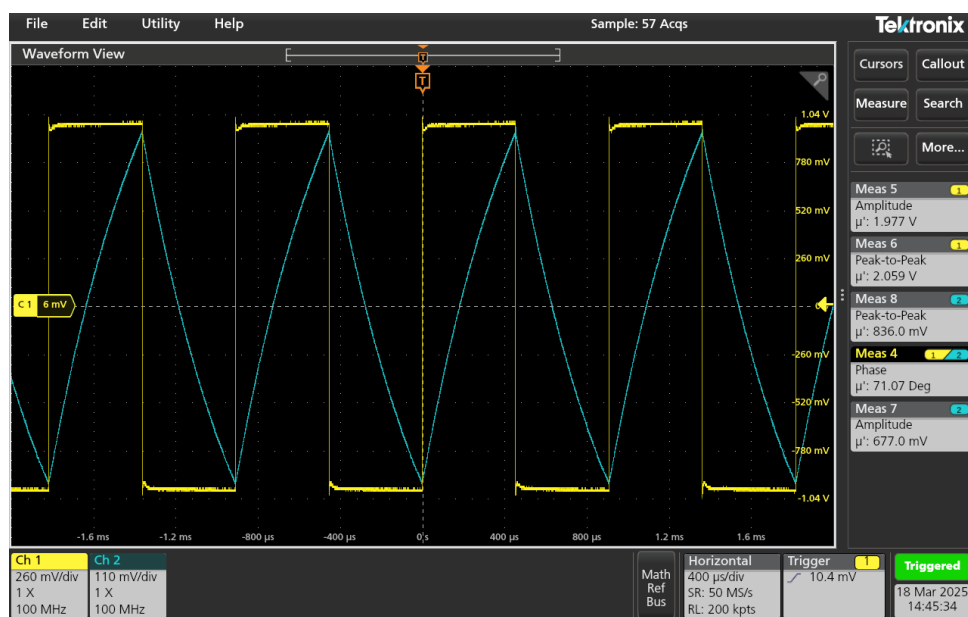
Następnie podano fale prostokątne o okresach z zakresu $0.5-10\tau$. Poniżej przedstawiono zrzuty ekranu z oscyloskopu oznaczone odpowiednimi okresami:



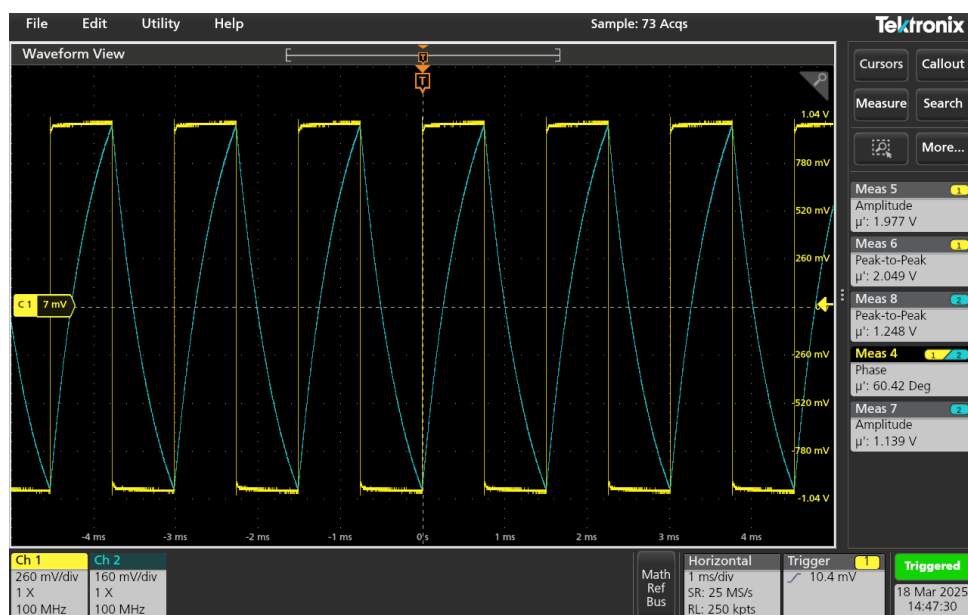
Rysunek 16. Odpowiedź układu całkującego dla fali prostokątnej o okresie $T = 0.25$ ms



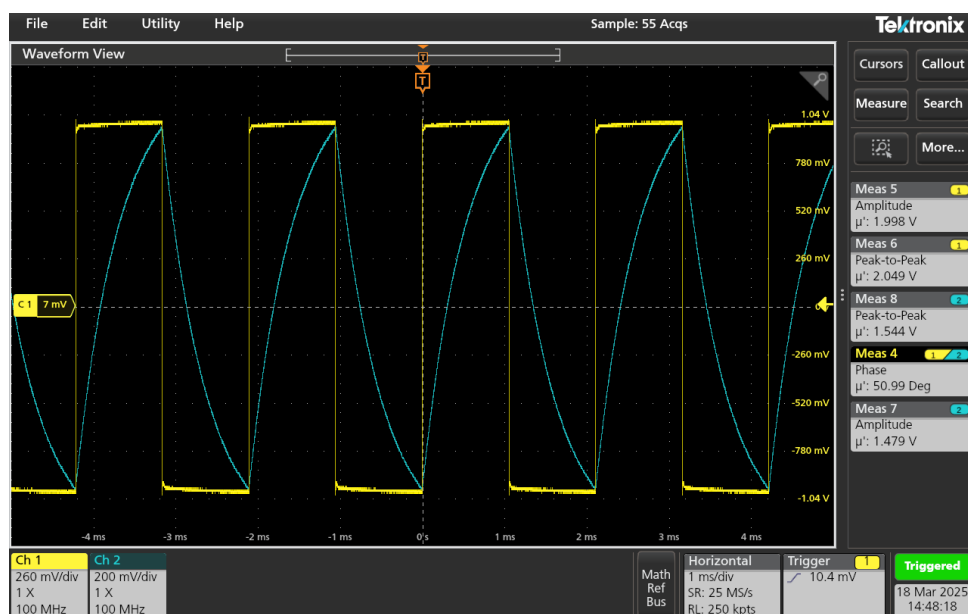
Rysunek 17. Odpowiedź układu całkującego dla fali prostokątnej o okresie $T = 1.5$ ms



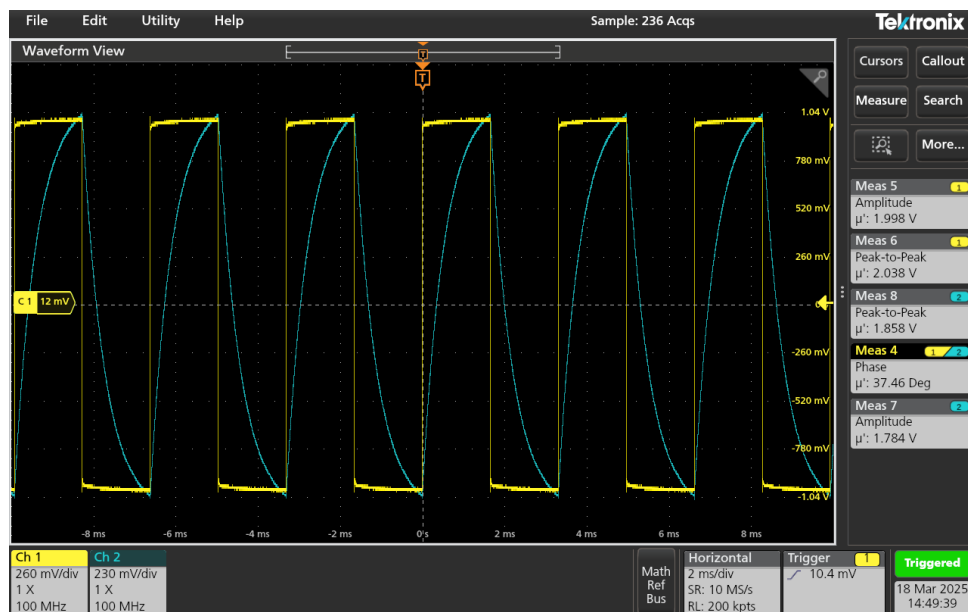
Rysunek 18. Odpowiedź układu całkującego dla fali prostokątnej o okresie $T = 0.9$ ms



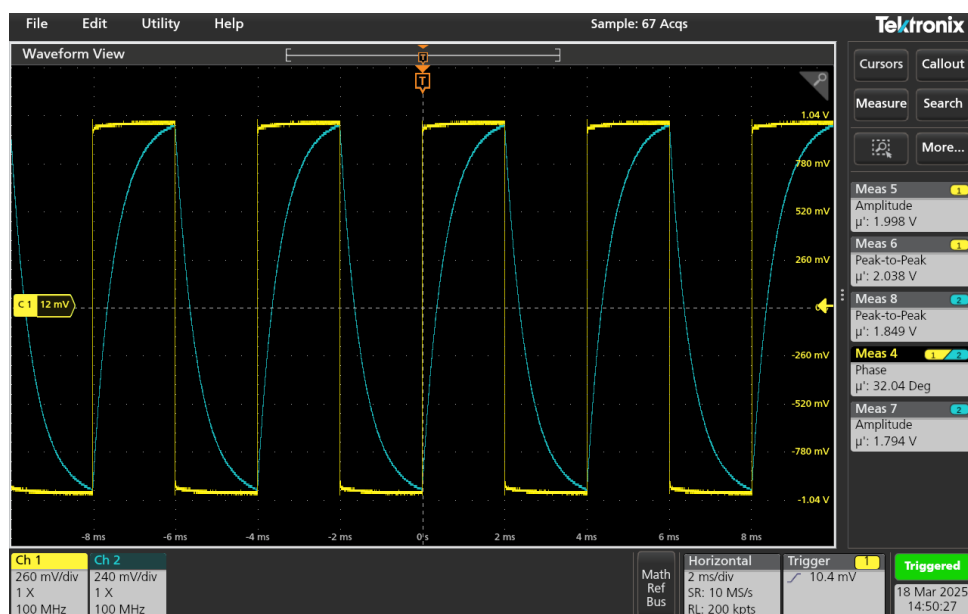
Rysunek 19. Odpowiedź układu całkującego dla fali prostokątnej o okresie $T = 1.5$ ms



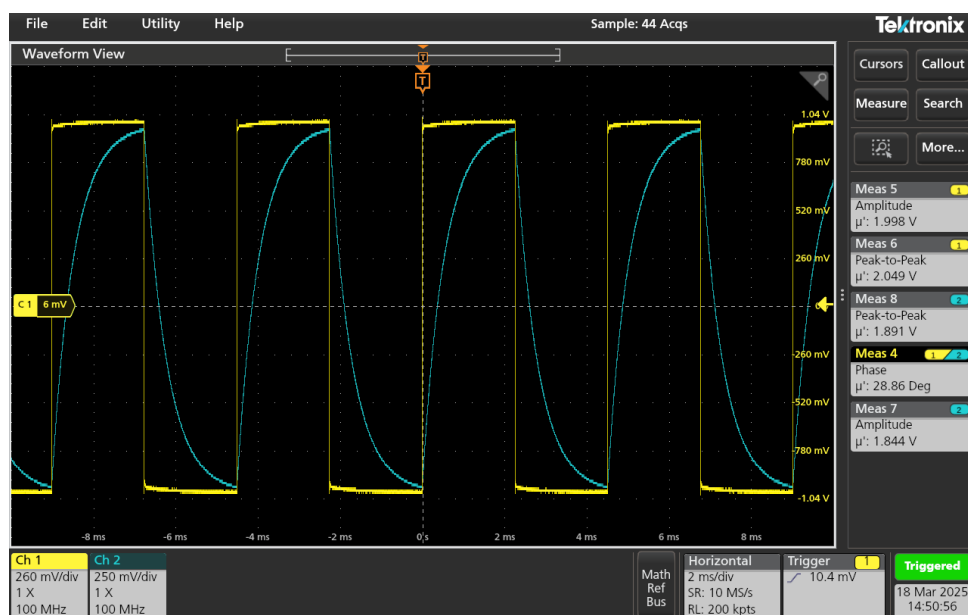
Rysunek 20. Odpowiedź układu całkującego dla fali prostokątnej o okresie $T = 2.1$ ms



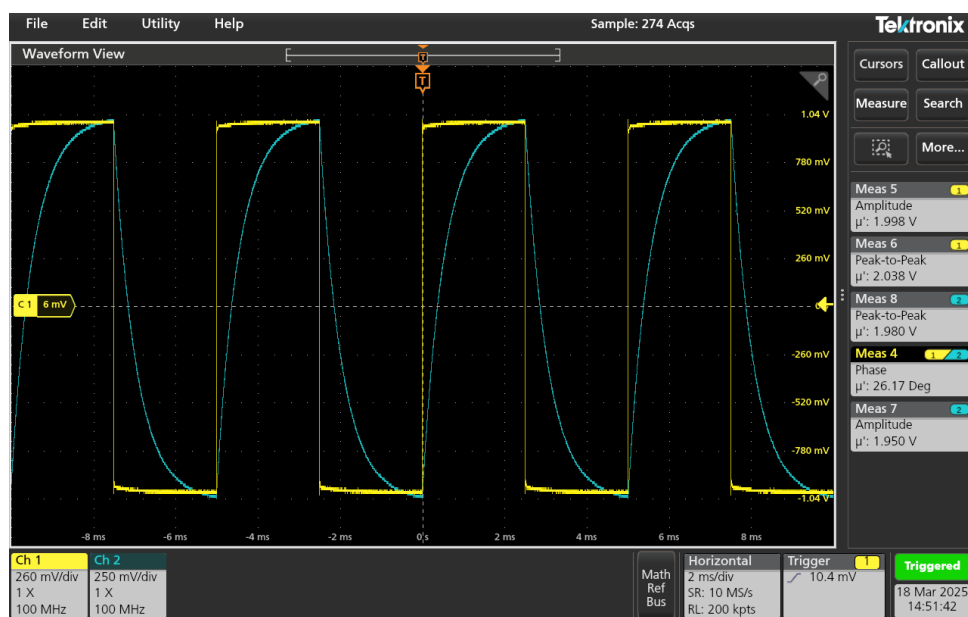
Rysunek 21. Odpowiedź układu całkującego dla fali prostokątnej o okresie $T = 3.3$ ms



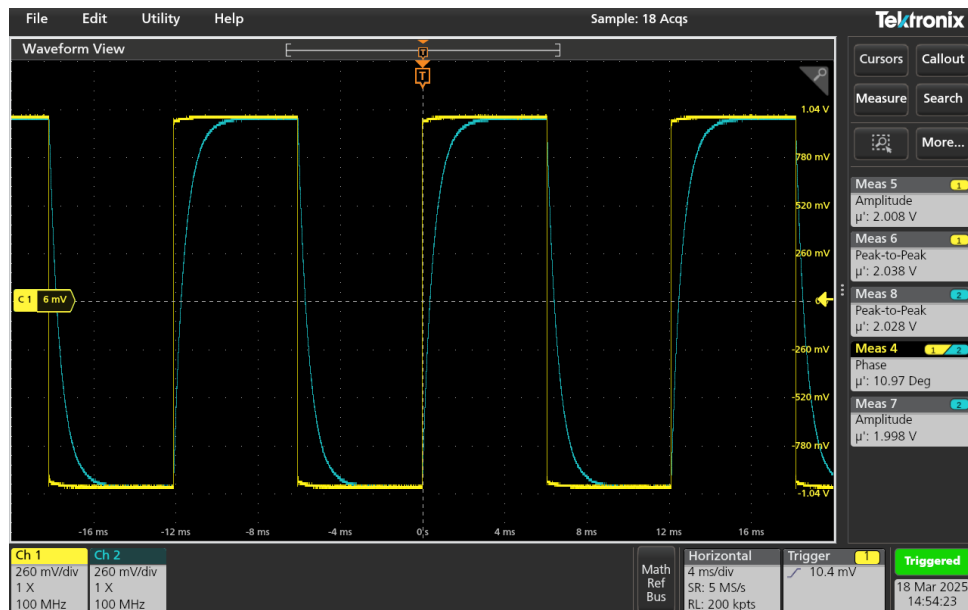
Rysunek 22. Odpowiedź układu całkującego dla fali prostokątnej o okresie $T = 4.008$ ms



Rysunek 23. Odpowiedź układu całkującego dla fali prostokątnej o okresie $T = 4.5 \text{ ms}$



Rysunek 24. Odpowiedź układu całkującego dla fali prostokątnej o okresie $T = 5 \text{ ms}$



Rysunek 25. Odpowiedź układu całkującego dla fali prostokątnej o okresie $T = 12$ ms

4.3 Podsumowanie zadania 3

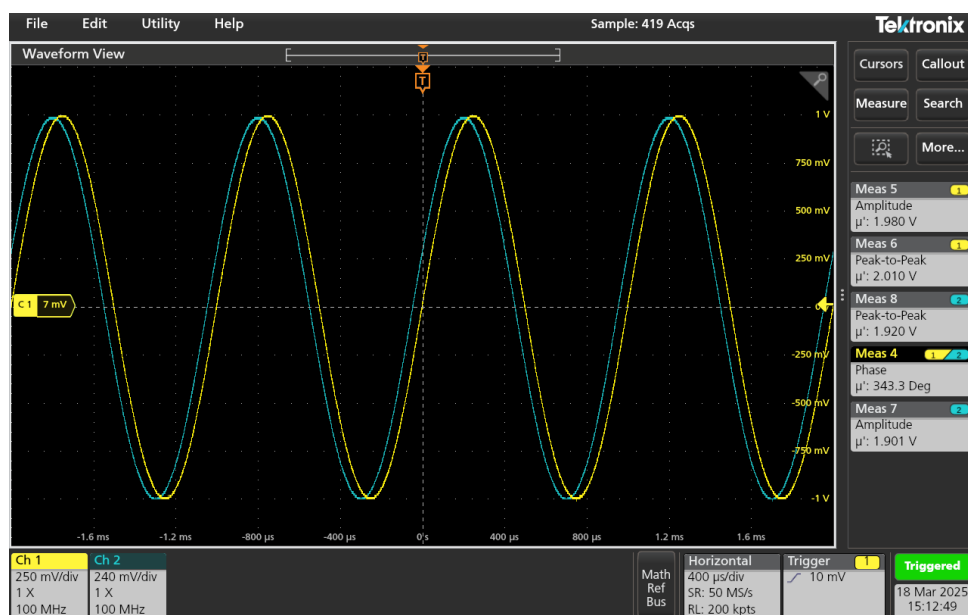
Odpowiedzi układu CR oraz jego charakterystyka amplitudowo częstotliwościowa są zgodne z teoretycznymi założeniami o tym układzie.

5 Ćwiczenie 4. Czwórnik RLC

5.1 Przebieg ćwiczenia

Zbudowano czwórnik RLC korzystając z tych samych oporników i kondensatorów oraz ze zwojnicy o indukcyjności $L = 1.1$ mH. Zmierzono jego charakterystykę amplitudową i fazową dla sygnałów sinusoidalnych.

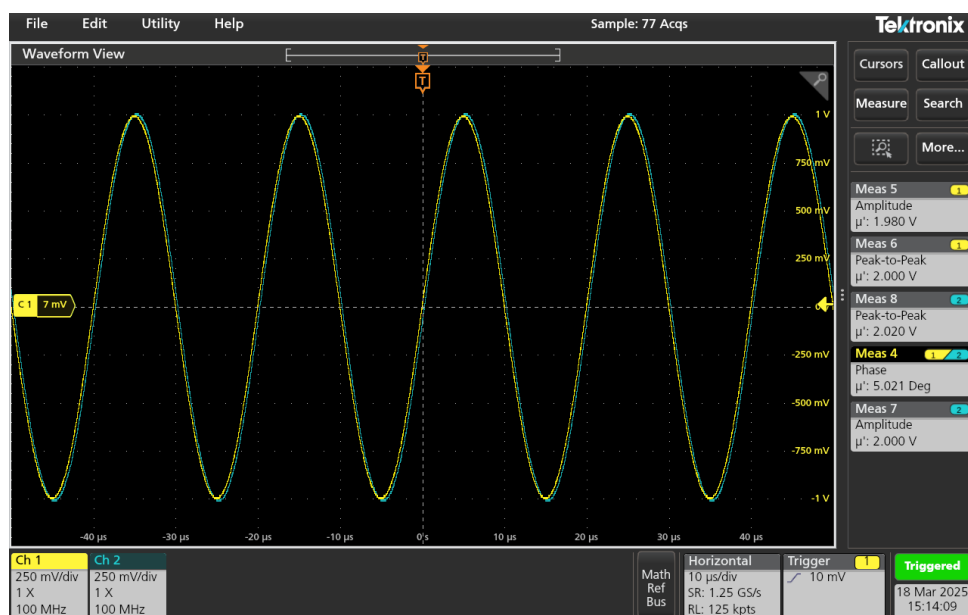




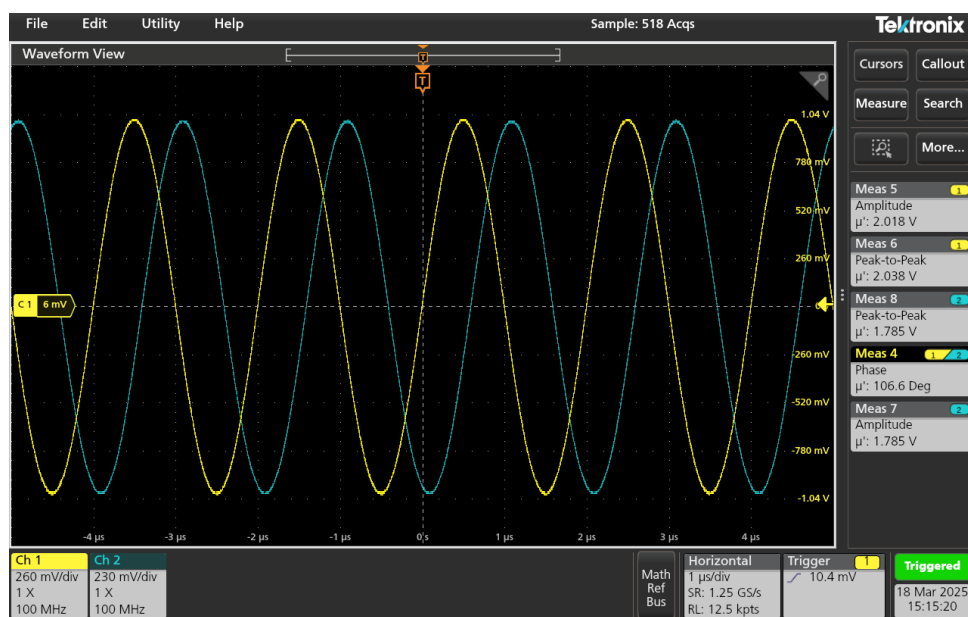
Rysunek 26. Charakterystyka czwórnika RLC dla częstotliwości 1 kHz



Rysunek 27. Charakterystyka czwórnika RLC dla częstotliwości 10 kHz



Rysunek 28. Charakterystyka czwornika RLC dla częstotliwości 50 kHz



Rysunek 29. Charakterystyka czwornika RLC dla częstotliwości 500 kHz



Rysunek 30. Charakterystyka czwórnika RLC dla częstotliwości 1 MHz

Następnie obliczono częstotliwość rezonansowa ze wzoru:

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (5)$$

Dla naszego układu, przy $L = 1.1 \text{ mH}$ i $C = 142.4 \text{ nF}$:

$$f_r = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \approx 12738 \text{ Hz} \quad (6)$$

5.2 Podsumowanie zadania 4

Zbudowany czwórnik RLC zachowuje się zgodnie z założeniami.

6 Wnioski końcowe

Na podstawie przeprowadzonych ćwiczeń laboratoryjnych dotyczących czwórników biernych można sformułować następujące wnioski:

Układ różniczkujący (CR) skutecznie realizuje operacje różniczkowania sygnału wejściowego, co przejawia się w:

Charakterystyce górnoprzepustowej (tłumienie niskich częstotliwości) Generowaniu impulsów na zboczach sygnału prostokątnego Zamianie fali trójkątnej na quasi-prostokątną

Układ całkujący (RC) prawidłowo realizuje operacje całkowania sygnału wejściowego, co obserwuje się poprzez:

Charakterystyce dolnoprzepustowej (tłumienie wysokich częstotliwości) Przekształcanie fali prostokątnej w trójkątną Stała czasowa układu determinująca szybkość narastania i opadania sygnału wyjściowego

Czwórnik RLC wykazuje charakterystykę filtra pasmowego z wyraźnym maksimum przy częstotliwości rezonansowej, co pozwala na selektywne przepuszczanie sygnałów o określonych częstotliwościach. Zależność między stałą czasową układu a okresem sygnału ma kluczowe znaczenie dla odpowiedzi układu - dla efektywnego różniczkowania T powinno być znacznie większe τ od T , a dla efektywnego całkowania T powinno być porównywalne lub mniejsze τ od T . Praktyczne pomiary potwierdziły zgodność teoretycznych obliczeń z rzeczywistymi charakterystykami układów, co świadczy o poprawności stosowanych modeli matematycznych. Przedstawione czwórniki bierne, mimo prostej konstrukcji, umożliwiają realizację podstawowych operacji przetwarzania sygnałów, co znajduje zastosowanie w wielu dziedzinach elektroniki, takich jak filtry, układy formowania impulsów, czy detektory zboczy.

Przeprowadzone badania pozwoliły na praktyczne zweryfikowanie teoretycznych podstaw działania układów CR, RC i RLC oraz zrozumienie ich zastosowań w przetwarzaniu sygnałów elektrycznych.

7 Literatura



1. Strona pracowni elektronicznej UJ
2. Układ różniczkujący - Wikipedia
3. Układ całkujący - Wikipedia