

Wydział WFiS	Imię i nazwisko 1. Michał Rogowski 2. Ihnatsi Yermakovich	Rok II	Grupa 10	Zespół 02
PRACOWNIA ELEKTRONICZNA WFiS AGH	Temat Pomiary stałoprądowe			Nr ćwiczenia 02
Data wykonania 24.03.2022	Data oddania 29.03.2022	Zwrot do popr.	Data oddania	Data zaliczenia
				OCENA

Linia dłuża

Ćwiczenie nr 02

Michał Rogowski

Ihnatsi Yermakovich

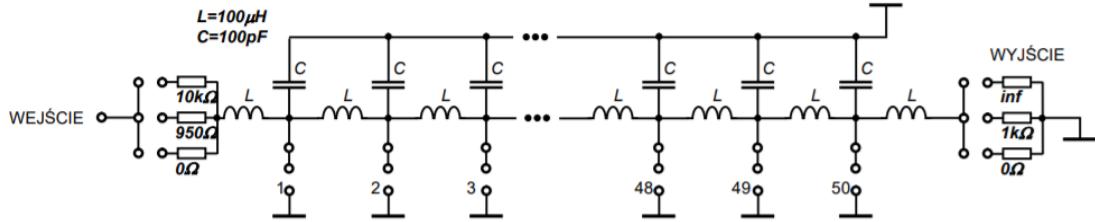
1 Cel ćwiczenia	2
2 Przebieg ćwiczenia	2
2.1 Badanie transmisji impulsów krótszych niż opóźnienie linii	3
2.1.1 $R = R_f$	4
2.1.2 $R \rightarrow \infty$	5
2.1.3 $R = 0$	6
2.2 Badanie transmisji impulsów dłuższych niż opóźnienie linii	7
2.2.1 $R \rightarrow \infty$	7
2.2.2 $R = 0$	9
2.3 Pomiar tłumienia i ocena parametrów częstotliwościowych linii długiej	10
2.4 Efekt pojemnościowy	11
2.5 Dopasowanie rzeczywistej linii długiej	13
2.6 Pomiar tłumienia i ocena parametrów częstotliwościowych linii długiej	13

1 Cel ćwiczenia

Zbadanie przesyłania sygnałów elektrycznych w modelu linii długiej oraz w odcinku kabla koncentrycznego, a także zastosowanie sztucznej linii opóźniającej do formowania impulsów.

2 Przebieg ćwiczenia

Doświadczenie w podpunktach 2.1 - 2.4 zostały wykonane na płytce PCB za pomocą której symulujemy linię długą. Podgladowy schemat płytki jest umieszczony poniżej:



Rysunek 1: Schemat płytki PCB wykorzystywanej w ćwiczeniu

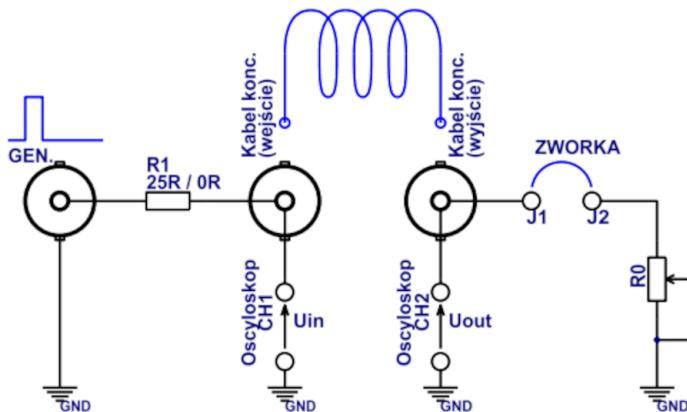
Najpierw policzymy 2 wartości charakteryzujące powyższą linię długą. Są to **czas opóźnienia** t_0 oraz **Rezystancja falowa** R_f :

$$\text{Rezystancja falowa } R_f = \sqrt{L/C} = 1 \text{ (k}\Omega\text{)}$$

Czas opóźnienia:

- Na początku linii: $t_0 = \sqrt{LC} = 0.1 \text{ (\mu s)}$
- Na środku linii: $t_0 = 25\sqrt{LC} = 2.5 \text{ (\mu s)}$
- Na końcu linii: $t_0 = 50\sqrt{LC} = 5 \text{ (\mu s)}$

W drugiej części doświadczenia w podpunktach 2.5 oraz 2.6 zostały wykonane przy użyciu linii długiej w postaci kabla koncentrycznego.



Rysunek 2: Schemat linii długiej w postaci kabla koncentrycznego

2.1 Badanie transmisji impulsów krótszych niż opóźnienie linii

Badanie wykonywaliśmy dla modelu sztucznej linii długiej z dopasowaniem na wejściu. Rezystancja wejściowa była równa 950Ω . Pomiarły wykonywaliśmy dla trzech różnych przypadków obciążenia, a dla każdego z nich wyświetliśmy脉冲 zaobserwowane na wejściu, środku i wyjściu linii długiej. Na wykresach z oscyloskopu z lewej strony jest zmierzona czasowa odległość pomiędzy sygnałem na generatorze a sygnałem pomiędzy punktem linii (na wejściu, środku lub na końcu). Wykres z oscyloskopu z prawej strony pokazuje odległość pomiędzy sygnałem na generatorze a sygnałem odbitym. Żółta krzywa to generator, natomiast zielona krzywa to zmierzona linia długa.

Ustawienia generatora:

- Funkcja: 'Pulse'
- Amplituda: 2 V
- Częstotliwość: 1 kHz
- Szerokość sygnału: 3 μs

2.1.1 $R = R_f$



Rysunek 3: Sygnał na wejściu



Rysunek 4: Sygnał na środku



Rysunek 5: Sygnał na wyjściu

Tabela 1: Czas opóźnienia sygnału dla $R = R_f$

	Czas opóźnienia				
	Teoretyczny [μs]	Zmierzony [μs]	Δ_1 [μs]	Zmierzony dla odbitego [μs]	Δ_2 [μs]
Na wejściu	0,1	0,08	0,02	-	-
Na środku	2,5	2,52	0,02	-	-
Na wyjściu	5,0	4,92	0,08	-	-

Zmierzone wyniki są zgodne z wartościami teoretycznymi, natomiast błędy pomiarowe między innymi wynikają z konieczności ręcznego dopasowania kurSORów. W żadnym z przypadków nie występuje odbicie fali, więc współczynnik odbicia ρ jest równy 0.

2.1.2 $R \rightarrow \infty$



Rysunek 6: Sygnał na wejściu



Rysunek 7: Sygnał na środku



Rysunek 8: Sygnał na wyjściu

Tabela 2: Czas opóźnienia sygnału dla $R \rightarrow \infty$

Czas opóźnienia					
	Teoretyczny [μs]	Zmierzony [μs]	Δ_1 [μs]	Zmierzony dla odbitego [μs]	Δ_2 [μs]
Na wejściu	0,1	0,14	0,04	10,12	10,02
Na środku	2,5	2,38	0,12	7,70	5,20
Na wyjściu	5,0	4,92	0,08	-	-

Widzimy, że linia działa w trybie niedopasowania. Na wyjściu mamy rozwarcie, co powoduje, że teoretyczny współczynnik odbicia jest równy $\rho = 1$. Również wydzielimy, że zmierzone wyniki są zgodne z teoretycznymi. Ciekawym spostrzeżeniem jest to, że jeżeli wartość w kolumnie 'Zmierzony' jest najmniejsza, to wartość w kolumnie 'Zmierzony dla odbitego' jest największa. Związane to jest z tym, że im bliżej początku mierzemy sygnał, tym 'dalej' musi biec sygnał do i po odbiciu. Zauważymy, że wartość w kolumnie Δ_2 jest krotnością wartości w kolumnie 'Teoretyczny' lub 'Zmierzony'. Np. przy mierzeniu na wejściu mamy $\Delta_2 = 10,0, \mu s$, co jest dokładnie równe $5 * 2$ czyli czas, który jest potrzebny sygnałowi, aby 2 razy przejść od początku do końca, czyli 2 razy opóźnienie teoretyczne na wyjściu.

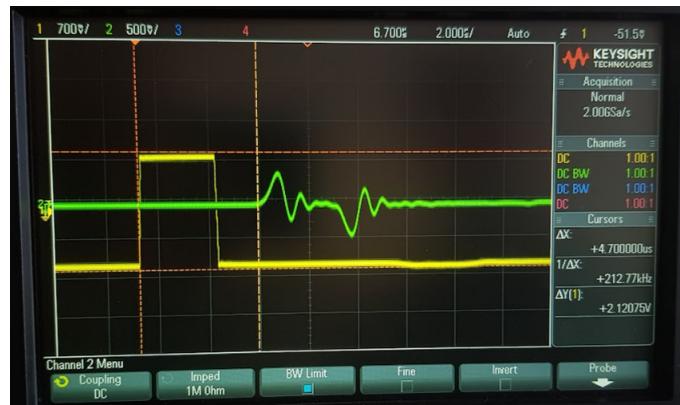
2.1.3 $R = 0$



Rysunek 9: Sygnał na wejściu



Rysunek 10: Sygnał na środku



Rysunek 11: Sygnał na wyjściu

Tabela 3: Czas opóźnienia sygnału dla $R = 0$

Czas opóźnienia					
	Teoretyczny [μs]	Zmierzony [μs]	Δ_1 [μs]	Zmierzony dla odbitego [μs]	Δ_2 [μs]
Na wejściu	0,1	0,10	0,00	10,22	10,12
Na środku	2,5	2,52	0,02	7,80	5,30
Na wyjściu	5,0			Brak sygnału	

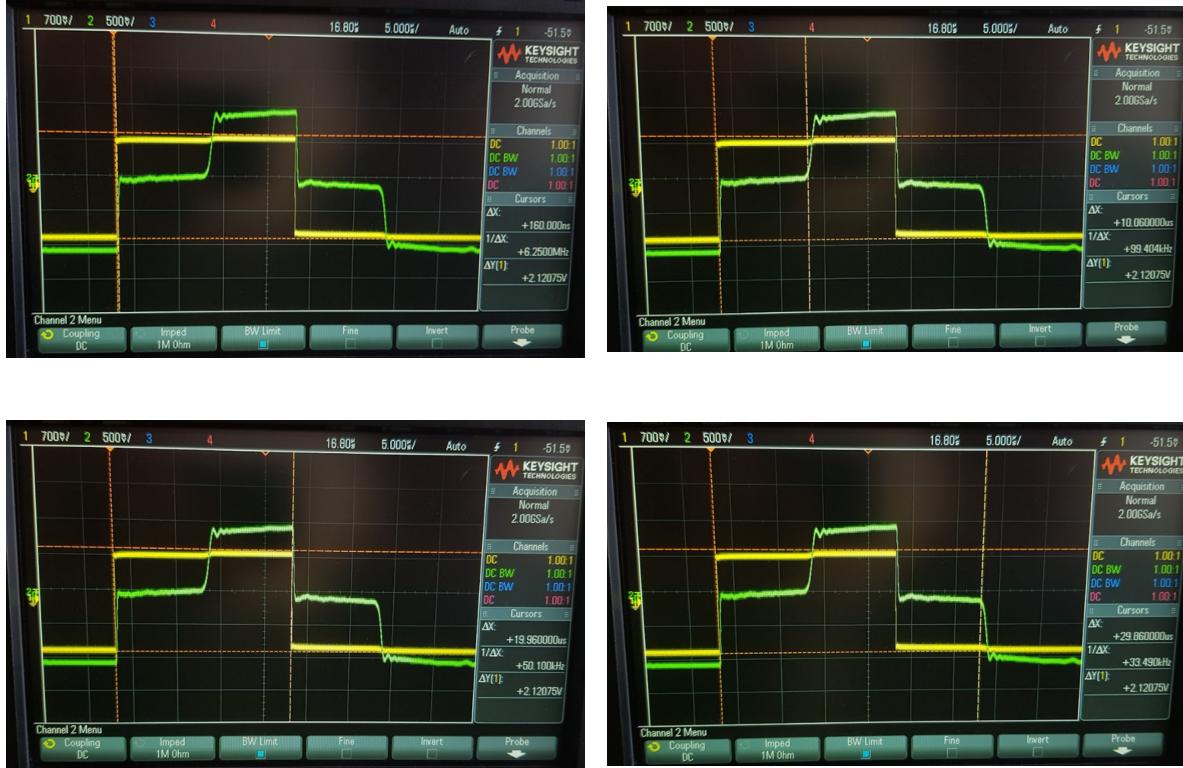
Współczynnik odbicia sygnału na końcu linii ρ jest równy -1, co sugerują wykresy, ponieważ następuje odbicie sygnału z przeciwną fazą. Na wyjściu nie ma sygnału, gdyż fala odbita nakłada się na falę pierwotną. Możemy wnioskować, że otrzymane wyniki są zgodne z wartościami teoretycznymi.

2.2 Badanie transmisji impulsów dłuższych niż opóźnienie linii

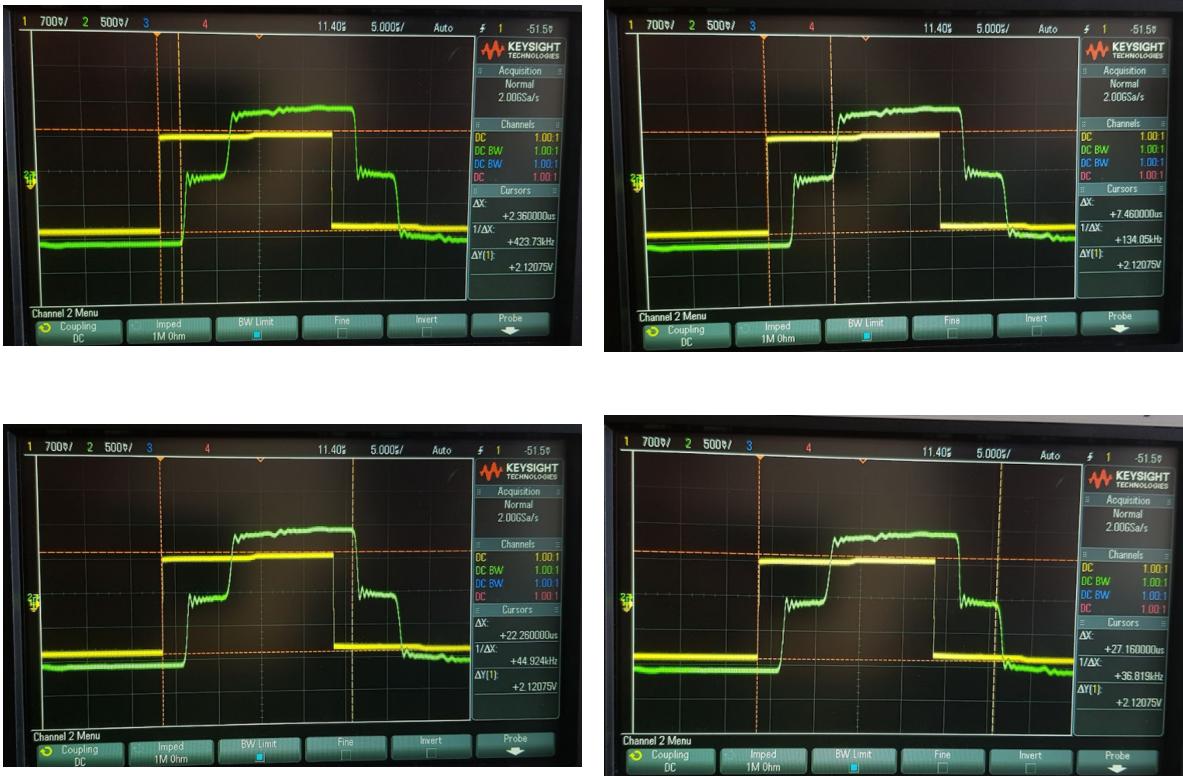
We wszystkich podpunktach pomiary wykonywaliśmy z dopasowaniem na wejściu. Rezystancja wejściowa była równa 950Ω . Pomiary wykonywaliśmy dla dwóch różnych przypadków obciążenia na wyjściu, środku i wyjściu linii długiej.

- Funkcja: 'Pulse'
- Amplituda: 2 V
- Częstotliwość: 1 kHz
- Szerokość sygnału: $20 \mu s$

2.2.1 $R \rightarrow \infty$



Rysunek 12: Sygnał na wejściu



Rysunek 13: Sygnał na środku

Tabela 4: Czas opóźnienia dla sygnału zmierzzonego przy $R \rightarrow \infty$

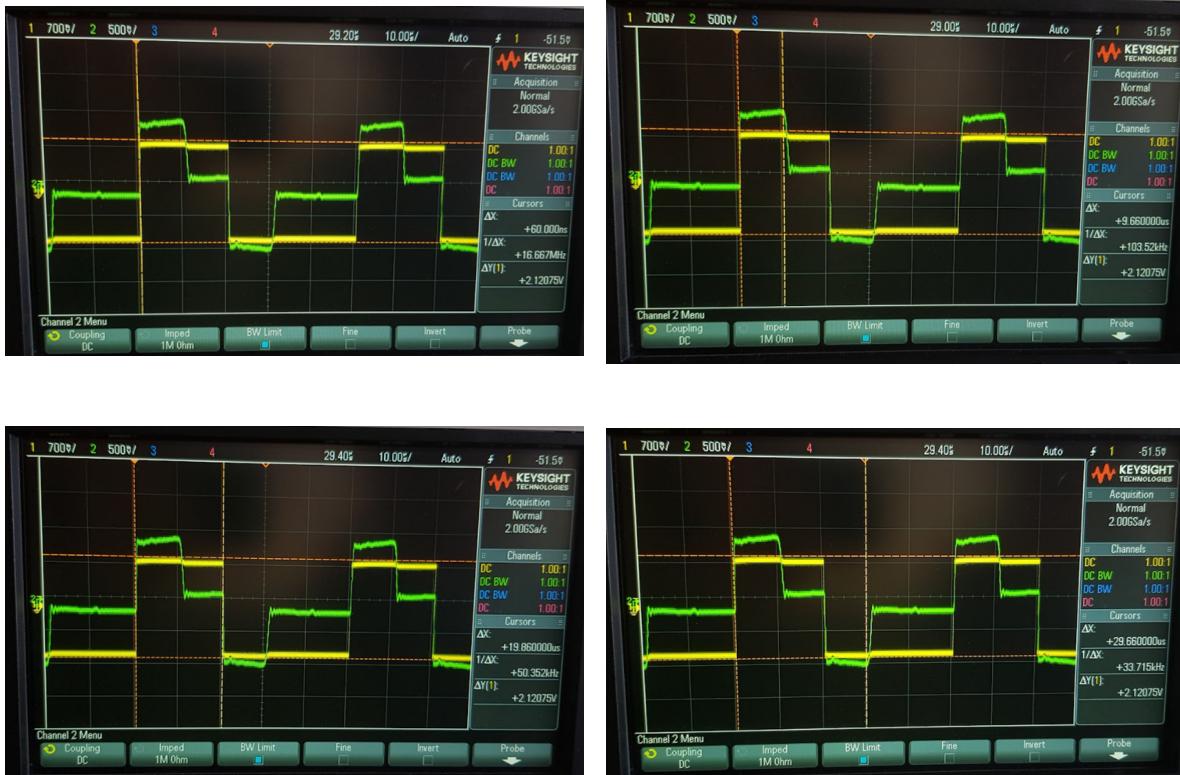
Czas opóźnienia dla sygnału zmierzzonego [μs]						
	Teor. dla pocz.	Zm. dla pocz.	Δ_1	Teor. dla końca	Zm. dla końca	Δ_2
Na wejściu	0,1	0,16	0,06	20,0	19,96	0,04
Na środku	2,5	2,36	0,14	22,5	22,26	0,24

Tabela 5: Czas opóźnienia dla sygnału odbitego przy $R \rightarrow \infty$

Czas opóźnienia dla sygnału odbitego [μs]						
	Teor. dla pocz.	Zm. dla pocz.	Δ_1	Teor. dla końca	Zm. dla końca	Δ_2
Na wejściu	10,0	10,06	0,06	30,0	29,86	0,14
Na środku	7,5	7,46	0,04	27,5	27,16	0,34

Widzimy, że odbity sygnał się nakłada w momencie, kiedy na wykresie 'zielony' sygnał się podwaja. Co ciekawe, sygnał nakłada się w przybliżeniu w połowie swojej szerokości. Ponadto z tabeli możemy wywnioskować, że wartości zebrane podczas doświadczenia są zgodne z wartościami teoretycznymi. Ponadto wszystkie wnioski z podpunktu 2.1 są prawdziwe i w tym doświadczeniu.

2.2.2 $R = 0$



Rysunek 14: Sygnał na wejściu



Rysunek 15: Sygnał na środku

Tabela 6: Czas opóźnienia dla sygnału zmierzzonego przy $R = 0$

Czas opóźnienia dla sygnału zmierzzonego [μs]						
	Teor. dla pocz.	Zm. dla pocz.	Δ_1	Teor. dla końca	Zm. dla końca	Δ_2
Na wejściu	0,1	0,06	0,04	20,0	19,86	0,14
Na środku	2,5	2,36	0,14	22,5	22,36	0,14

Tabela 7: Czas opóźnienia dla sygnału odbitego przy $R = 0$

Czas opóźnienia dla sygnału odbitego [μs]						
	Teor. dla pocz.	Zm. dla pocz.	Δ_1	Teor. dla końca	Zm. dla końca	Δ_2
Na wejściu	10.0	9,66	0,34	30,0	29,66	0,34
Na środku	7.5	7,46	0,04	27,5	27,56	0,06

Widzimy, że odbity sygnał się nakłada w momencie, kiedy na wykresie 'zielony' sygnał się wypłaszcza pomiędzy dwoma maksymami. Ponadto z tabeli możemy wywnioskować, że wartości zebrane podczas doświadczenia są zgodne z wartościami teoretycznymi. Również wszystkie wnioski z podpunktu 2.1 są prawdziwe i w tym doświadczeniu.

2.3 Pomiar tłumienia i ocena parametrów częstotliwościowych linii długiej

Pomiarów tłumienia dokonaliśmy w warunkach obustronnego dopasowania linii. Dane dla generatora ustawiliśmy na takie same jak w podpunkcie 2.1, a następnie zmierzyliśmy czas narastania i amplitudę impulsów na wejściu i wyjściu.



Rysunek 16: Sygnał na wejściu



Rysunek 17: Sygnał na wyjściu

Tabela 8: Czas narastania i amplitudy sygnału na wejściu i wyjściu

	Czas narastania[ns]	Amplituda impulsu [mV]
Na wejściu	228	800
Na wyjściu	560	730

Straty na linii obliczyliśmy ze wzoru:

$$\frac{U_{we} - U_{wy}}{U_{we}} \cdot 100\% = 8,75\% \quad (1)$$

Czasy narastania obliczyliśmy ze wzoru:

$$t_r = 1,1 \cdot n^{\frac{1}{3}} \sqrt{LC} \quad (2)$$

- Czas narastania dla wejścia linii $t_r = 1,1 \cdot 1^{\frac{1}{3}} \cdot \sqrt{100 \times 10^{-6} * 100 \times 10^{-12}} = 110 \text{ (ns)}$

- Czas narastania dla wyjścia linii $t_r = 1,1 \cdot 50^{\frac{1}{3}} \cdot \sqrt{100 \times 10^{-6} * 100 \times 10^{-12}} = 405 \text{ (ns)}$

Na podstawie otrzymanych wyników sporządzimy tabelę:

Dla wygody wprowadzimy następujące oznaczenia:

- T - czas narastania sygnału zmierzony
- t - czas narastania sygnału teoretyczny
- Δ_1 - różnica pomiędzy T a t
- δ_1 - różnica procentowa pomiędzy T a t

Tabela 9: Czas narastania (zmierzony vs teoretyczny) sygnału na wejściu i wyjściu

	T [ns]	t [ns]	Δ_1 [ns]	δ_1 %
Na wejściu	228	110	118	107
Na wyjściu	560	405	155	37

Istnieje duża różnica pomiędzy wynikami zmierzonymi, a wynikami teoretycznymi. Wynika to m.i. z częściowo błędnych ustawień generatora, co widać na wykresach. Najmniejszy możliwy do ustalenia czas narastania, to 5 ns. Z wykresu widać, że ten czas jest ustawiony na wartość kilkudziesiąt razy większą, co dodatkowo 'wypłaszcza' sygnał, który jest rejestrowany i powoduje duży błąd pomiaru.

Obliczymy czas narastania z otrzymanych wyników:

$$t_r = \sqrt{(560 \times 10^{-9})^2 - (228 \times 10^{-9})^2} = 511 \times 10^{-7} \text{ (ns)} \quad (3)$$

Częstotliwość graniczną obliczono ze wzoru:

$$f_g = \frac{1,1}{\pi t_r} = \frac{1,1}{\pi \sqrt{(560 \times 10^{-9})^2 - (228 \times 10^{-9})^2}} = 684,59 \text{ (kHz)} \quad (4)$$

Częstotliwość sygnału (1 kHz) nie przekracza częstotliwości granicznej. Ale ze względu na powyżej opisany błąd pomiaru wynik ten można wątpliwie uznać za reprezentatywny.

2.4 Efekt pojemościowy

W tym podpunkcie dokonaliśmy 10 pomiarów punktów, które pozwalają na odwzorowanie przebiegu na wejściu linii.

- Funkcja: 'Square'
- Amplituda: 2 V
- Częstotliwość: 1 kHz
- Szerokość sygnału: 500 μ s

Na wejściu ustawiliśmy rezystancję szeregową $10k\Omega$, a na wyjściu wybraliśmy obciążenie $R \rightarrow \infty$.



Rysunek 18: Sygnał schodkowy zarejestrowany na oscylatorze

Zmierzone amplituda i czas dla 10 kolejnych schodków wyglądają następująco:

Tabela 10: Amplituda i czas kolejnych schodków

Lp	Amplituda [V]	Czas [μs]
1	0,34375	10,15
2	0,63750	20,65
3	0,88125	31,15
4	1,08100	41,65
5	1,25000	52,15
6	1,38750	62,65
7	1,50000	73,15
8	1,58750	83,65
9	1,65625	94,15
10	1,71875	104,65

Na podstawie powyższych danych sporządziliśmy wykres i dopasowaliśmy krzywą o równaniu $A \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$ w celu wyznaczenia stałej czasowej τ :

Z wykresu wyciągniemy informacje, że stała czasowa jest równa $52.5 \mu s$.

A teraz wyznaczmy stałą czasową teoretycznie ze wzoru:

$$\tau = \frac{-2t_0}{\ln(\rho\rho')} \quad (5)$$

gdzie:

$\rho = 1$ ze względu na rozwarcie na wyjściu

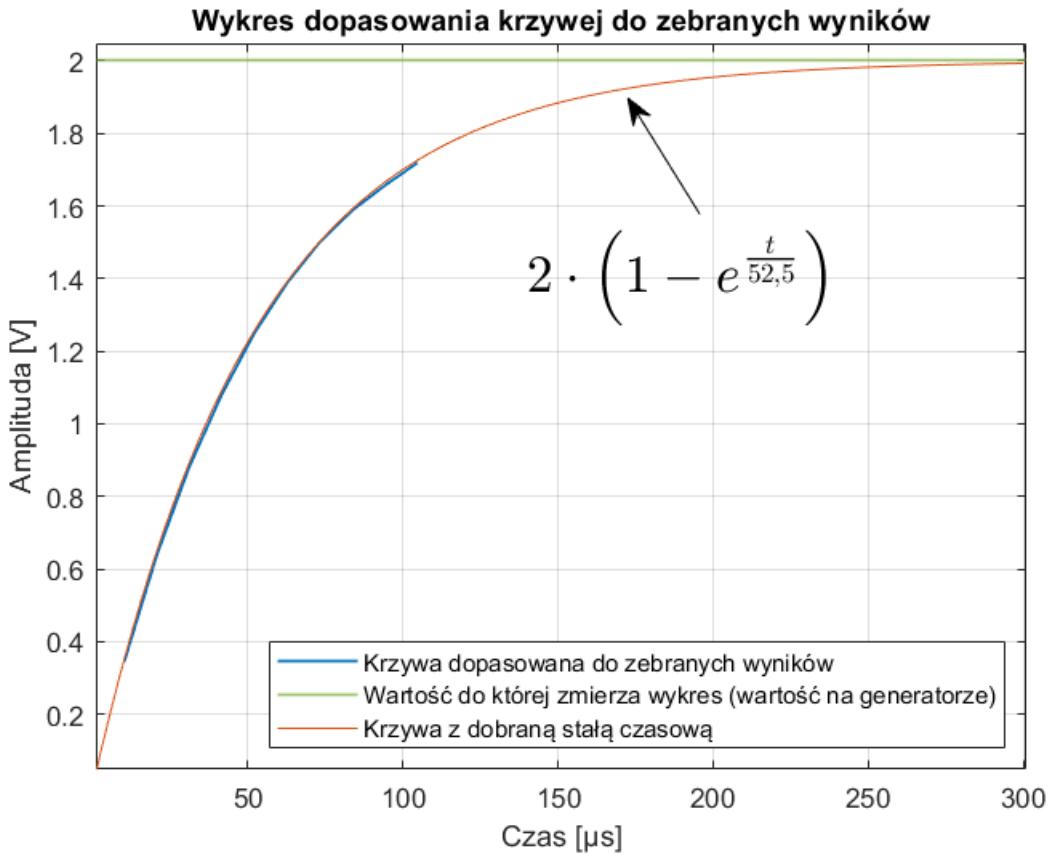
ρ' :

$$\rho' = \frac{R - R_f}{R + R_f} = \frac{10 - 1}{10 + 1} = 0,82 \quad (6)$$

Więc stała czasowa teoretyczna wynosi:

$$\tau = \frac{-2 \cdot 5}{\ln(0,82)} = 50,39 (\mu s) \quad (7)$$

Zauważymy, że wartość otrzymana podczas eksperymentu jest zbliżona do wartości teoretycznej, wówczas: $\Delta\tau = 2,11 (\mu s)$ co stanowi różnicę rzędu 4,2 %.



Rysunek 19: Wyznacznie stałej czasowej dopasowując krzywą $A \left(1 - e^{\frac{t}{\tau}}\right)$

2.5 Dopasowanie rzeczywistej linii długiej

Dokonaliśmy pomiarów dla rzeczywistej linii długiej. Obserwując sygnał napięciowy na wejściu kabla koncentrycznego dobraliśmy wartość rezystancji potencjometru obciążenia przy której nie występuje odbicie sygnału od końca linii. Odłączliśmy potencjometr od kabla koncentrycznego i zmierzyliśmy jego wartość rezystancji.

- Funkcja: 'Pulse'
- Trail: 5 ns
- Okres: 2 μs
- Szerokość sygnału: 200 ns

Zmierzona wartość rezystancji potencjometru wyniosła 43,82 Ω .

2.6 Pomiar tłumienia i ocena parametrów częstotliwościowych linii długiej

Dla rzeczywistej linii długiej dokonaliśmy pomiaru w warunkach obustronnego dopasowania linii. Dane dla generatora ustawiliśmy na takie same jak w podpunkcie 2.5, a następnie zmierzyliśmy czas narastania i amplitudę impulsów na wejściu i wyjściu oraz czas propagacji sygnału.



Rysunek 20: Sygnał na wyjściu



Rysunek 21: Czas propagacji sygnału

Tabela 11: Czas narastania i amplituda sygnału na wejściu i wyjściu

	Czas narastania [ns]	Amplituda impulsu [mV]
Na wejściu	12	752
Na wyjściu	24	725

Straty na linii obliczyliśmy ze wzoru:

$$\frac{U_{we} - U_{wy}}{U_{we}} \cdot 100\% = 3,59\% \quad (8)$$

Straty są mniejsze, niż przy stosowaniu sztucznej linii długiej.

Obliczymy czas narastania z otrzymanych wyników:

$$t_r = \sqrt{(24 \times 10^{-9})^2 - (12 \times 10^{-9})^2} = 20,8 \text{ (ns)} \quad (9)$$

Częstotliwość graniczną obliczono ze wzoru:

$$f_g = \frac{1,1}{\pi t_r} = \frac{1,1}{\pi \sqrt{(24 \times 10^{-9})^2 - (12 \times 10^{-9})^2}} = 1,68 \text{ (MHz)} \quad (10)$$

Częstotliwość sygnału (500 kHz) nie przekracza częstotliwości granicznej.

Czas propagacji, który zmierzyliśmy wyniósł 406 ns. Opóźnienie kabla na metr to 5 ns, więc jego długość to 40,6 m, co jest zgodne z oczekiwaniami.