 AGH	Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie Wydział FiIS Fizyka techniczna	Zespół: 1.Kulig Mateusz 2.Ryś Przemysław
Laboratorium elektroniczne WFiIS		
Rok akademicki: 2022/2023	Semestr V	Grupa: 2
Temat ćwiczenia: Linia długa A-1		
Data wykonania ćwiczenia 08.11.2022	Data oddania sprawozdania 22.11.2022	Ocena

1 Cel ćwiczenia

W ćwiczeniu mieliśmy za zadanie zbadanie modelu linii długiej oraz odcinka kabla koncentrycznego w aspekcie przesyłania sygnałów elektrycznych, a także zastosowanie sztucznej linii opóźniającej do formowania impulsów

2 Aparatura

W ćwiczeniu użyliśmy następujących przyrządów:

- Oscyloskop,
- płytka imitująca linię długą,
- generator sygnału,
- rzeczywista linia długa - przewód o długości 35 metrów.

3 Analiza danych

Dla modelu linii długich zbudowanej za pomocą pojemności i indukcyjności czas opóźnienia obliczyć możemy ze wzoru 1.

$$t_0 = n\sqrt{LC} \quad (1)$$

3.1 Badanie transmisji impulsów krótszych niż opóźnienie linii

Ćwiczenie rozpoczęliśmy od zbadania impulsów krótszych niż opóźnienie linii długiej. Jako linię długą użyliśmy modelu złożonego z $n = 50$ ogniw indukcyjno-pojemnościowych ($L = 100\mu[H]$ oraz $C = 100[pF]$). W tej części używamy linii dopasowanej na wejściu, więc na wejściu płytki zwarliśmy odpowiedni opornik ($R = 950[\Omega]$). Następnie dla trzech przypadków obciążenia na wyjściu dokonaliśmy pomiaru, obserwując na oscyloskopie przebieg impulsów w trzech miejscach linii długiej - na początku, środku oraz końcu. Użyty przez nas impuls miał szerokość $3 [\mu s]$ oraz częstotliwość $10 [kHz]$.

3.1.1 $R = R_f$

Dla wartości obciążenia na wyjściu $R = R_f$ otrzymaliśmy na oscyloskopie obraz przedstawiony na rysunku 1. Czas t_0 ustawiliśmy za pomocą pokrętki oscyloskopu w połowie czasu narastania sygnału na początku linii długiej. Wartość czasu opóźnienia t_1 sygnału w połowie linii również odczytaliśmy z oscyloskopu i wynosi on $t_1 = 2,6[\mu s]$. Wartość czasu opóźnienia t_2 sygnału na końcu linii wynosi $t_2 = 5,06[\mu s]$. Wartości czasów opóźnienia wyznaczone teoretycznie ze

wzoru 1 wynoszą odpowiednio, dla czasu w połowie linii $t_{1t} = 2,5[\mu s]$, a dla czasu na końcu linii $t_{2t} = 5[\mu s]$. Wartości są więc jak najbardziej zgodne z przewidywaniami z dokładnością do błędu.

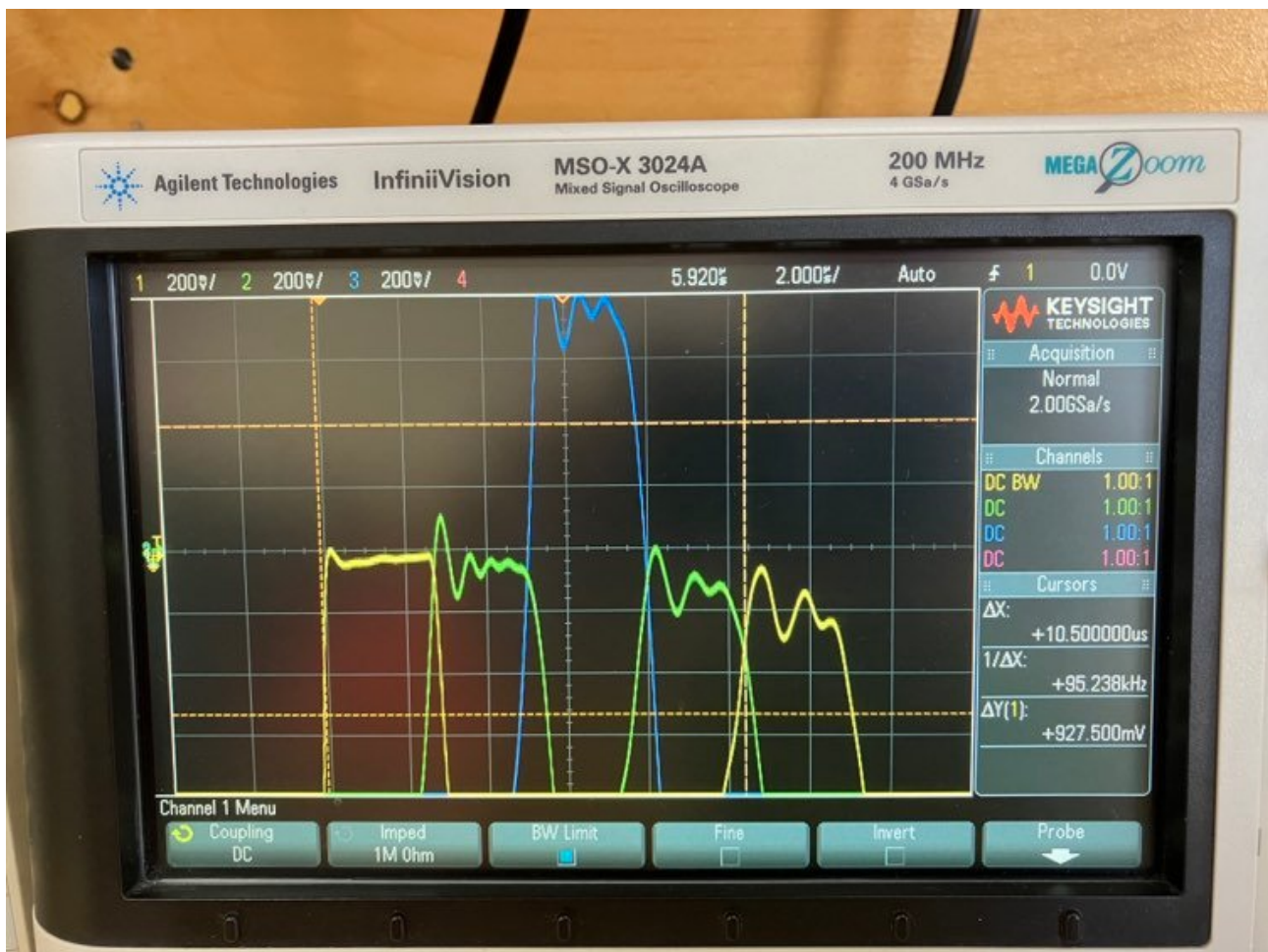


Rys. 1: Zdjęcie ekranu oscyloskopu w przypadku gdy impuls miał szerokość $3\mu s$, częstotliwość 10 kHz , a obciążenie zarówno na wejściu jak i wyjściu wynosiło $R = R_f$. Kolorem żółtym oznaczono obraz impulsu na wejściu, kolorem zielonym na środku, a kolorem niebieskim na końcu linii długiej.

3.1.2 $R \rightarrow \infty$

Dla wartości obciążenia na wyjściu $R \rightarrow \infty$ otrzymaliśmy na oscyloskopie obraz przedstawiony na rysunku 2.

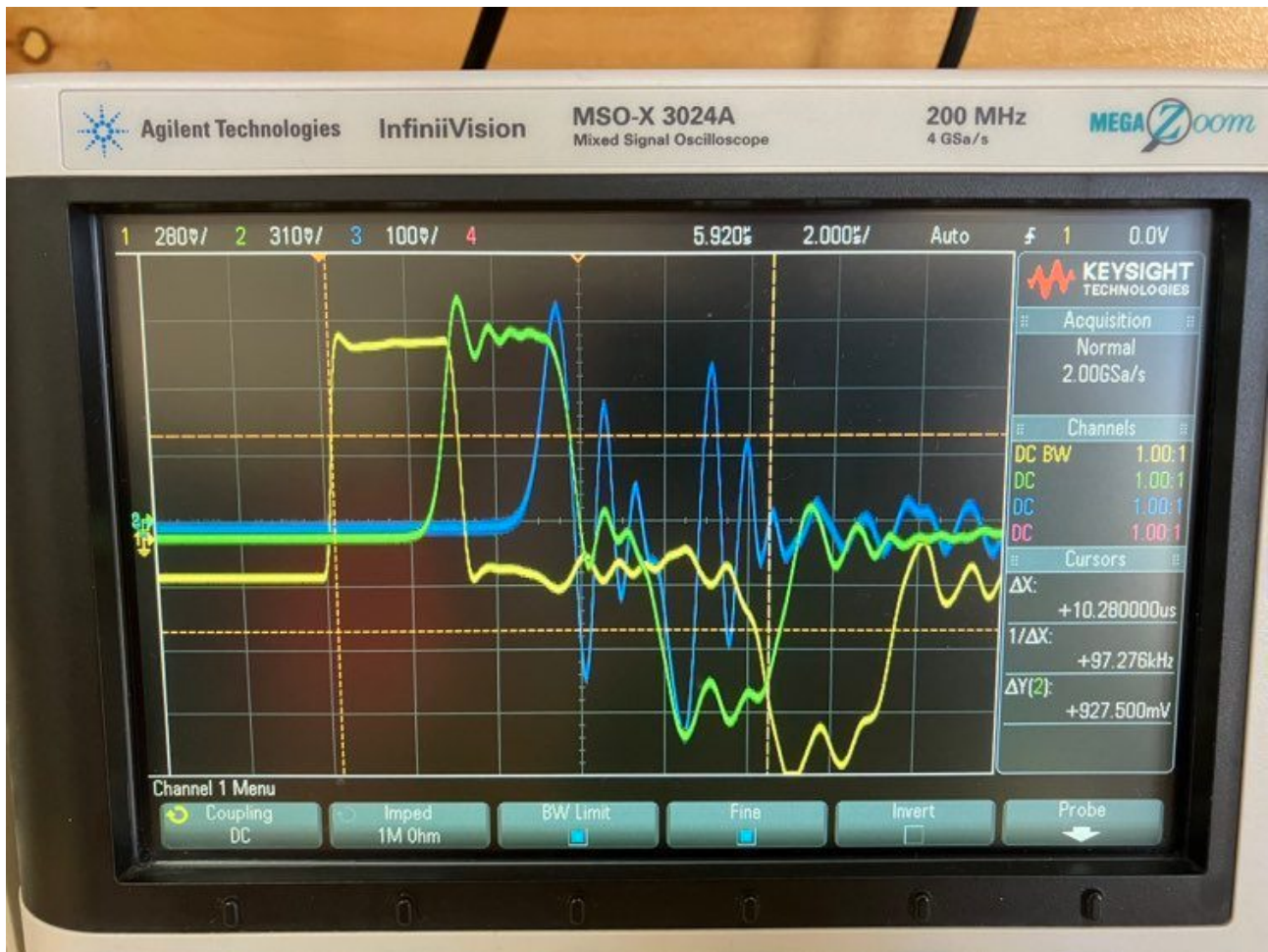
Czas t_0 ustawiliśmy za pomocą pokrętki oscyloskopu w połowie czasu narastania sygnału na początku linii długiej. Wartość czasu opóźnienia t_1 sygnału w połowie linii odczytaliśmy z oscyloskopu i wynosi on $t_1 = 2,64[\mu s]$, a wartość czasu opóźnienia t_2 sygnału na końcu linii wynosi $t_2 = 5,08[\mu s]$. Wartości czasu opóźnienia na w połowie i na końcu linii obliczamy za pomocą wzoru 1 i wynoszą one odpowiednio $t_{1t} = 2,5[\mu s]$ i $t_{2t} = 5[\mu s]$. Skoro $R \rightarrow \infty$ to znaczy, że impuls odbił się na końcu linii długiej co widać na oscyloskopie poprzez podwojoną amplitudę na wyjściu. Wartość czasu opóźnienia t_3 odbitego sygnału w połowie linii odczytaliśmy z oscyloskopu i wynosi on $t_3 = 7,72[\mu s]$. Wartość czasu opóźnienia t_4 sygnału odbitego sygnału na wyjściu linii wynosi $t_4 = 10,28[\mu s]$. Wartości obliczone teoretycznie ze wzoru 1 wynoszą z kolei odpowiednio $t_{3t} = 7,5[\mu s]$ i $t_{4t} = 10[\mu s]$. Jak widać amplituda sygnałów odbitych lekko zmalała.



Rys. 2: Zdjęcie ekranu oscyloskopu w przypadku gdy impuls miał szerokość $3\text{ }\mu\text{s}$, częstotliwość 10 kHz , a obciążenie zarówno na wejściu jak i wyjściu wynosiło $R \rightarrow \infty$. Kolorem żółtym oznaczono obraz impulsu na wejściu, kolorem zielonym na środku, a kolorem niebieskim na końcu linii długiej.

3.1.3 $R = 0$

Dla wartości obciążenia na wyjściu $R = 0$ otrzymaliśmy na oscyloskopie obraz przedstawiony na 3. Czas t_0 ustawiśmy za pomocą pokrętki oscyloskopu w połowie czasu narastania sygnału na początku linii długiej. Wartość czasu opóźnienia t_1 sygnału w połowie linii odczytaliśmy z oscyloskopu i wynosi on $t_1 = 2,56\text{ }\mu\text{s}$. Wartość wyznaczona ze wzoru 1 wynosi z kolei $t_{1t} = 2,5\text{ }\mu\text{s}$. Wartość czasu opóźnienia t_2 sygnału na końcu linii wynosi $t_2 = 4,74\text{ }\mu\text{s}$. Wartość obliczona teoretycznie ze wzoru 1 wynosi z kolei $t_{2t} = 5\text{ }\mu\text{s}$. Skoro $R = 0$ to znaczy, że impuls odbił się na końcu linii długiej z przeciwną fazą, co widać na oscyloskopie poprzez wygaszenie impulsu na wyjściu. Wartość czasu opóźnienia t_3 odbitego sygnału w połowie i na końcu linii odczytaliśmy z oscyloskopu i wynoszą one odpowiednio $t_3 = 7,72\text{ }\mu\text{s}$ oraz $t_4 = 10,28\text{ }\mu\text{s}$. Wartości teoretyczne obliczone ze wzoru 1 wynoszą z kolei odpowiednio dla połowy linii $t_{3t} = 7,5\text{ }\mu\text{s}$ oraz $t_{4t} = 10\text{ }\mu\text{s}$ dla końca linii. Jak widać na oscyloskopie (Rysunek 3) impulsy odbite mają przeciwną fazę.



Rys. 3: Zdjęcie ekranu oscyloskopu w przypadku gdy impuls miał szerokość $3\text{ }\mu\text{s}$, częstotliwość 10 kHz , a obciążenie zarówno na wejściu jak i wyjściu wynosiło $R = 0$. Kolorem żółtym oznaczono obraz impulsu na wejściu, kolorem zielonym na środku, a kolorem niebieskim na końcu linii długiej.

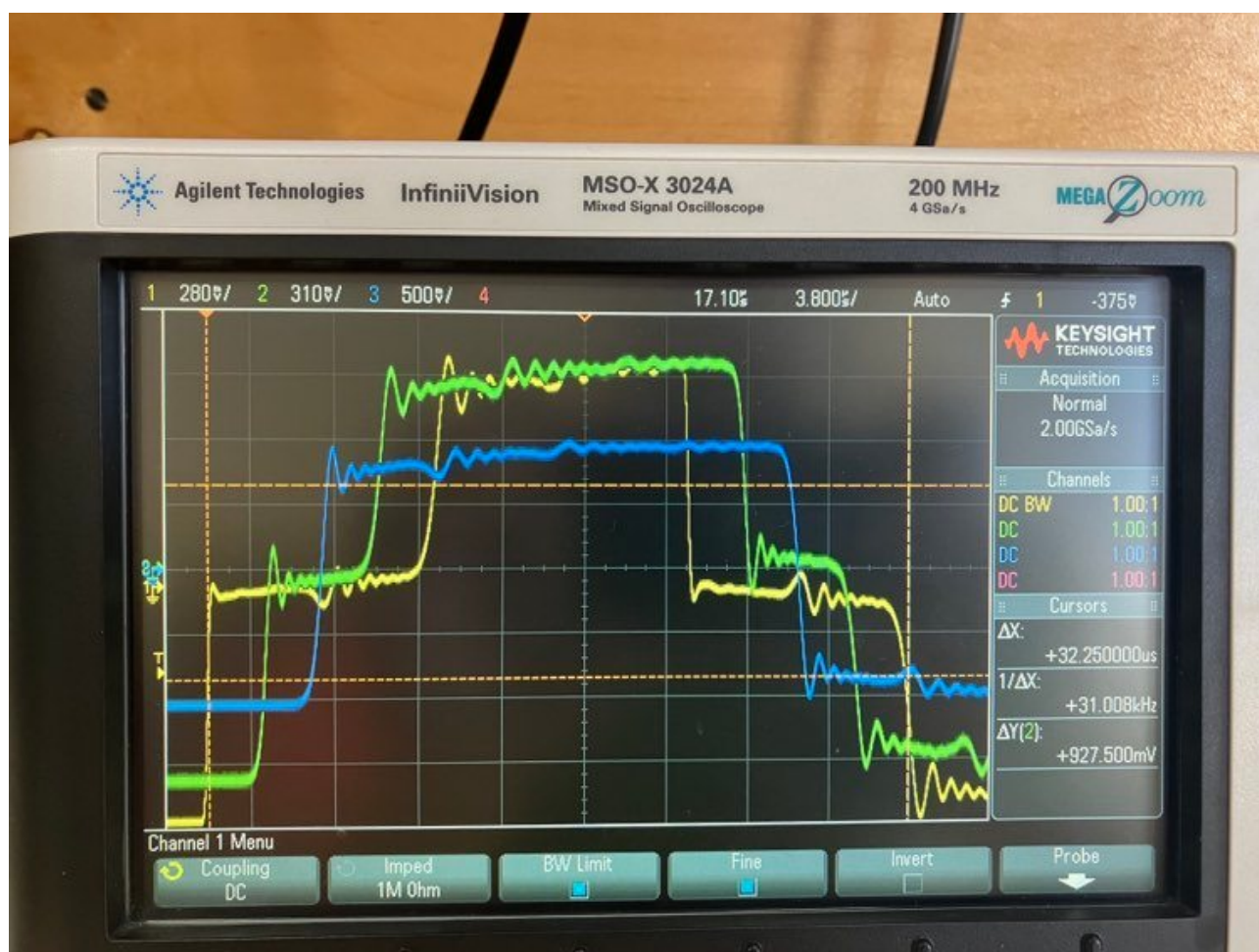
3.2 Badanie transmisji impulsów dłuższych niż opóźnienie linii

W drugiej części ćwiczenia zbadaliśmy impulsy dłuższe niż opóźnienie linii długiej. Tak jak poprzednio użyliśmy modelu złożonego z 50 ogniw indukcyjno-pojemnościowych ($L = 100\text{ }\mu\text{H}$ oraz $C = 100\text{ pF}$). W tej części również używamy linii dopasowanej na wejściu, więc na wejściu płytki zwarliśmy odpowiedni opornik ($R = 950\text{ }\Omega$). Następnie dla dwóch przypadków obciążenia na wyjściu dokonaliśmy pomiaru, obserwując na oscyloskopie przebieg impulsów w trzech miejscach linii długiej - na początku, środku oraz końcu. Użyty przez nas impuls miał szerokość $22\text{ }\mu\text{s}$ oraz częstotliwość 10 kHz .

3.2.1 $R \rightarrow \infty$

Dla wartości obciążenia na wyjściu $R \rightarrow \infty$ otrzymaliśmy na oscyloskopie obraz przedstawiony na rysunku 4. Czas t_0 ustawiliśmy za pomocą pokrętki oscyloskopu w połowie czasu narastania sygnału na początku linii długiej. Wartość czasu opóźnienia t_1 sygnału w połowie linii odczytaliśmy z oscyloskopu i wynosi on $t_1 = 2,6\text{ }\mu\text{s}$. Wartość wyznaczona ze wzoru 1 wynosi z kolei $t_{1t} = 2,5\text{ }\mu\text{s}$. Wartość czasu opóźnienia t_2 sygnału na końcu linii wynosi $t_2 = 5,05\text{ }\mu\text{s}$. Wartość obliczona teoretycznie ze wzoru 1 wynosi z kolei $t_{2t} = 5\text{ }\mu\text{s}$. Skoro $R \rightarrow \infty$ to znaczy, że impuls odbił się na końcu linii długiej co widać na oscyloskopie poprzez zwiększoną amplitudę na wyjściu. Wartość czasu opóźnienia t_3 odbitego sygnału w połowie linii odczytaliśmy z oscyloskopu i wynosi on $t_3 = 7,65\text{ }\mu\text{s}$. Wartość obliczona ze wzoru 1 wynosi z kolei $t_{3t} = 7,5\text{ }\mu\text{s}$. W tym punkcie znów zwiększa się amplituda, ponieważ długość impulsu jest większa niż

czas opóźnienia linii. Wartość czasu opóźnienia t_4 odbitego sygnału na wyjściu linii wynosi $t_4 = 10,25[\mu s]$. Wartość obliczona teoretycznie ze wzoru 1 wynosi $t_{4t} = 10[\mu s]$. Po czasie $t_5 = 21,9[\mu s]$ na wejściu kończy się sygnał pierwotny. Ustawiona na generatorze długość impulsu wynosi $t_{5t} = 22[\mu s]$. Wartość czasu opóźnienia t_6 sygnału w połowie linii odczytaliśmy z oscyloskopu i wynosi on $t_6 = 24,5[\mu s]$. Wartość obliczona ze wzoru 1 wynosi z kolei $t_{6t} = 24,5[\mu s]$. Wartość czasu opóźnienia t_7 sygnału na końcu linii wynosi $t_7 = 27,05[\mu s]$. Wartość obliczona ze wzoru 1 wynosi $t_{7t} = 27[\mu s]$. Wartość czasu opóźnienia t_8 odbitego sygnału w połowie linii wynosi $t_8 = 29,75[\mu s]$. Wartość obliczona ze wzoru 1 wynosi z kolei $t_{8t} = 29,5[\mu s]$. Wartość czasu opóźnienia t_9 sygnału na wejściu linii wynosi $t_9 = 32,25[\mu s]$. Wartość obliczona ze wzoru 1 wynosi z kolei $t_{9t} = 32[\mu s]$. Jak widać amplituda ostatecznie zmalała do zera.

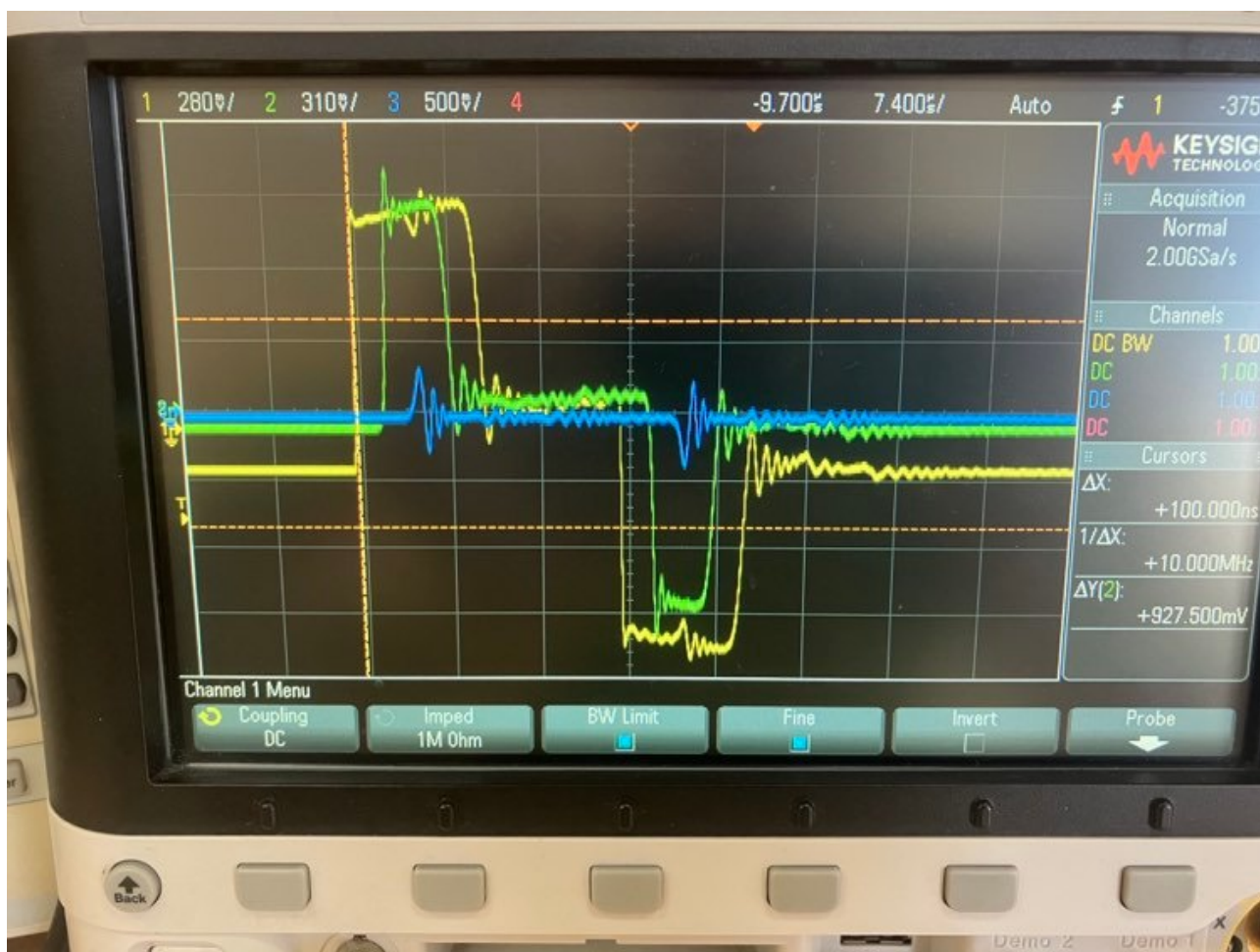


Rys. 4: Zdjęcie ekranu oscyloskopu w przypadku gdy impuls miał szerokość $3[\mu s]$, częstotliwość $10[\text{kHz}]$, a obciążenie zarówno na wejściu jak i wyjściu wynosiło $R = 0$. Kolorem żółtym oznaczono obraz impulsu na wejściu, kolorem zielonym na środku, a kolorem niebieskim na końcu linii długiej.

3.2.2 $R = 0$

Dla wartości obciążenia na wyjściu $R = 0$ otrzymaliśmy na oscyloskopie obraz przedstawiony na rysunku 5. Czas t_0 ustawiliśmy za pomocą pokrętła oscyloskopu w połowie czasu narastania sygnału na początku linii długiej. Wartość czasu opóźnienia t_1 sygnału w połowie linii odczytaliśmy z oscyloskopu i wynosi on $t_1 = 2,7[\mu s]$. Wartość wyznaczona ze wzoru 1 wynosi z kolei $t_{1t} = 2,5[\mu s]$. Wartość czasu opóźnienia t_2 sygnału na końcu linii wynosi $t_2 = 4,8[\mu s]$. Wartość obliczona teoretycznie ze wzoru 1 wynosi z kolei $t_{2t} = 5[\mu s]$. Jak widać na końcu linii nastąpiło wygaszenie sygnału. Wartość czasu opóźnienia t_3 sygnału w połowie linii odczytaliśmy z oscyloskopu i wynosi on $t_3 = 7,5[\mu s]$. Wartość obliczona ze wzoru 1 wynosi z kolei $t_{3t} = 7,5[\mu s]$. W tym punkcie amplituda zmalała do zera ponieważ impuls dotarł z przeciwną fazą. Wartość czasu opóźnienia t_4 odbitego sygnału na wyjściu linii wynosi $t_4 = 10,2[\mu s]$. Wartość

obliczona teoretycznie ze wzoru 1 wynosi $t_{4t} = 10[\mu s]$. Po czasie $t_5 = 22[\mu s]$ na wejściu kończy się sygnał pierwotny i teraz impulsy mają ujemną amplitudę. Ustawiona na generatorze długość impulsu wynosi $t_{5t} = 22[\mu s]$. Wartość czasu opóźnienia t_6 sygnału w połowie linii odczytaliśmy z oscyloskopu i wynosi on $t_6 = 24,7[\mu s]$. Wartość obliczona ze wzoru 1 wynosi z kolei $t_{6t} = 24,5[\mu s]$. Wartość czasu opóźnienia t_7 sygnału na końcu linii wynosi $t_7 = 26,85[\mu s]$. Wartość obliczona ze wzoru 1 wynosi $t_{7t} = 27[\mu s]$. Wartość czasu opóźnienia t_8 odbitego sygnału w połowie linii wynosi $t_8 = 29,7[\mu s]$. Wartość obliczona ze wzoru 1 wynosi z kolei $t_{8t} = 29,5[\mu s]$. Wartość czasu opóźnienia t_9 sygnału na wejściu linii wynosi $t_9 = 32,2[\mu s]$. Wartość obliczona ze wzoru 1 wynosi z kolei $t_{9t} = 32[\mu s]$. Następnie amplituda wróciła do poziomu zerowego.



Rys. 5: Zdjęcie ekranu oscyloskopu w przypadku gdy impuls miał szerokość $22[\mu s]$, częstotliwość $10[\text{kHz}]$, a obciążenie zarówno na wejściu jak i wyjściu wynosiło $R = 0$. Kolorem żółtym oznaczono obraz impulsu na wejściu, kolorem zielonym na środku, a kolorem niebieskim na końcu linii długiej.

3.3 Pomiar tłumienia i ocena parametrów częstotliwościowych linii długiej

Pomiarów dokonujemy dla modelu sztucznej linii długiej w warunkach obustronnego dopasowania linii. Szerokość impulsu wejściowego ustawiamy tak samo jak dla pierwszego podpunktu. Straty linii długiej możemy obliczyć ze wzoru

$$S = \frac{A_{in} - A_{out}}{A_{in}} \cdot 100[\%]$$

Amplituda sygnału wejściowego wynosiła $A_{in} = 0,9975[V]$, z kolei amplituda uzyskana po przejściu przez linię długą to $A_{out} = 0,8925[V]$. Straty jakich doznał sygnał wynosiły zatem:

$$\frac{A_{in} - A_{out}}{A_{in}} \cdot 100[\%] = \frac{0,9975 - 0,8925}{0,9975} \cdot 100[\%] \approx 10,53[\%].$$

Czas narastania sygnału na wejściu wynosił $t_{ri} = 0,25[\mu s]$, na wyjściu natomiast $t_{ro} = 0,54[\mu s]$. Czas narastania odpowiedzi jednostkowej obliczamy ze wzoru:

$$t_r = \sqrt{t_{ro}^2 - t_{ri}^2},$$

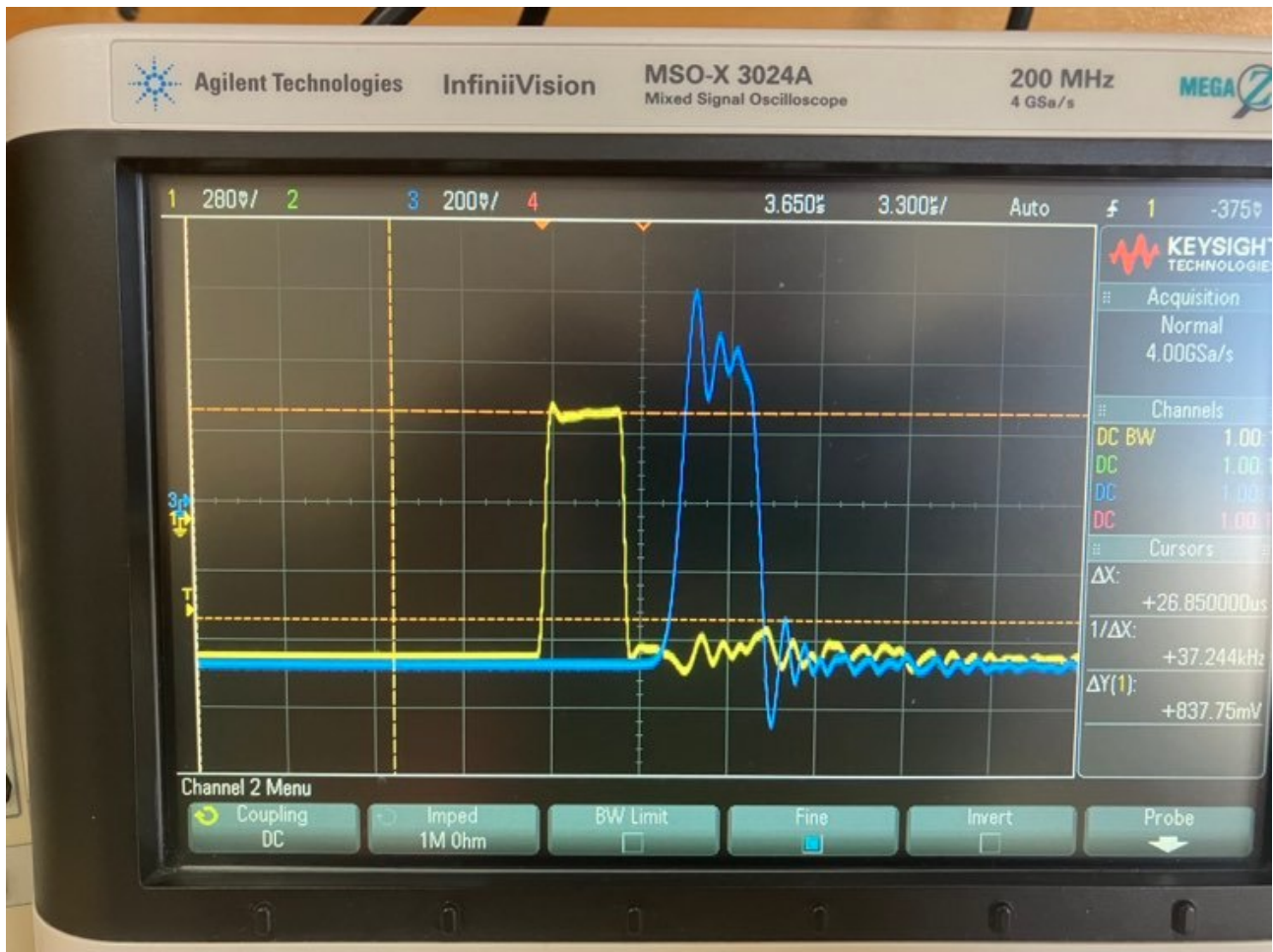
wynosi on zatem $t_r = 0,48[\mu s]$. Następnie korzystając ze wzoru

$$t_r = 1,1n^{\frac{1}{3}}\sqrt{LC}$$

obliczamy teoretyczny czas narastania odpowiedzi jednostkowej. W naszym przypadku wynosi on $t_r = 0,41[\mu s]$. Częstotliwość graniczną obliczamy ze wzoru

$$f_g = \frac{1,1}{\pi \cdot t_r}.$$

Zatem zmierzona wartość częstotliwości granicznej wynosi $f_g = 0,17[\text{MHz}]$, natomiast jej wartość teoretyczna to $f_g = 0,14[\text{MHz}]$. Wartości zmierzonych przez nas parametrów częstotliwościowych są zgodne z wartościami przewidzianymi przez teorię z dokładnością do błędu.



Rys. 6: Zdjęcie ekranu oscyloskopu w przypadku gdy impuls miał szerokość 22ns, częstotliwość 10 [kHz], a obciążenie na wyjściu było ustawione tak by nie było odbicia sygnału. Kolorem żółtym oznaczono obraz impulsu na wejściu, a kolorem niebieskim na końcu linii długiej.

3.4 Efekt pojemnościowy

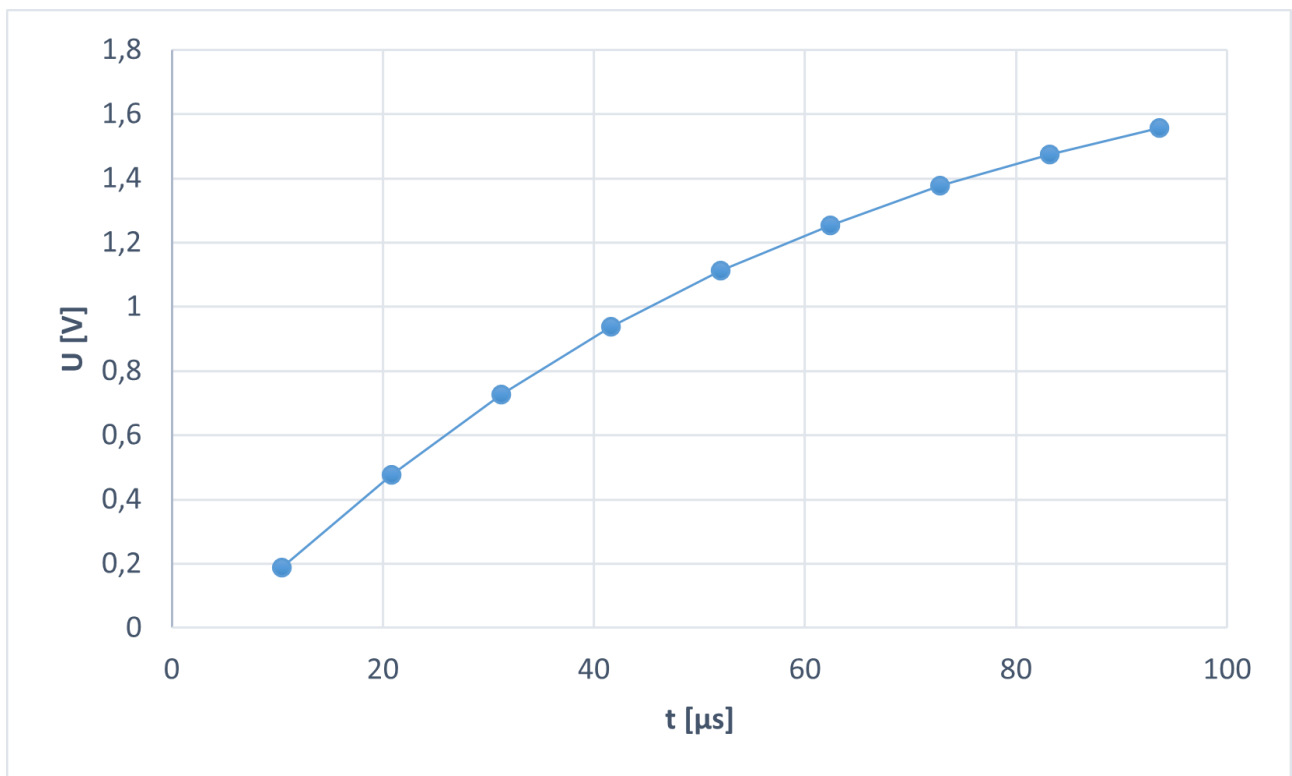


Rys. 7: Krzywa koincydencji opóźnionych.

Pomiarów dokonaliśmy dla modelu sztucznej linii długiej w warunkach obustronnego niedopasowania linii. Na wejściu ustawiamy rezystancję szeregową $R = 10[\text{k}\Omega]$, a na wyjściu wybieramy rozwarcie. Szerokość impulsu wejściowego na generatorze ustawiamy na $500[\mu\text{s}]$, a częstotliwość zmniejszamy do $1[\text{kHz}]$. Korzystając z obrazu z oscyloskopu na rysunku zmierzaliśmy 9 punktów pomiarowych. Wyniki przedstawiliśmy w tabeli 1 oraz na wykresie (rysunek 8). Za pomocą dopasowanej krzywej otrzymaliśmy stałą czasową równą $\tau = 52,91[\mu\text{s}]$.

Tab. 1: Tabela napięć i odpowiadających im czasów

lp.	t [μs]	U [V]
1	0,187	10,4
2	0,47725	20,8
3	0,7275	31,2
4	0,93725	41,6
5	1,11275	52
6	1,2535	62,4
7	1,37725	72,8
8	1,475	83,2
9	1,5555	93,6



Rys. 8: Zebrane punkty pomiarowe napięcia i czasu wraz z dopasowaną do nich krzywą.

Korzystając z wartości obciążenia na wyjściu i wejściu możemy obliczyć współczynniki odbicia równe kolejno $\rho = \frac{9}{11}$ i $\rho' = 1$. Teoretyczny wzór na stałą czasową ma postać

$$\tau = -\frac{2T_0}{\ln(\rho\rho')}$$

zatem w naszym przypadku ma on wartość $\tau = 49,83[\mu s]$. Czyli wyznaczona przez nas wartość jest bliska wartości teoretycznej.

3.5 Dopasowanie rzeczywistej linii długiej

W ostatnim etapie ćwiczenia pracowaliśmy z rzeczywistą linią długą w postaci przewodu o długości 35 metrów. Przewód podpięliśmy zarówno do oscyloskopu, tak by obserwować sygnał na początku i końcu linii długiej, jak i do

płytki dzięki której mogliśmy regulować obciążenie na wyjściu linii za pomocą pokręteła. Obserwując obraz z oscyloskopu (rysunek 9) ustawiliśmy opór tak aby na wyjściu nie występowało odbicie sygnału. Otrzymaliśmy wartość oporu $R = ?$



Rys. 9: Zdjęcie ekranu oscyloskopu w przypadku gdy impuls miał szerokość 150 ns, częstotliwość 200 [kHz], a obciążenie na wyjściu było ustawione tak by nie było odbicia sygnału. Kolorem żółtym oznaczono obraz impulsu na wejściu, a kolorem zielonym na końcu linii długiej.

3.6 Pomiar tłumienia i ocena parametrów częstotliwościowych linii długiej

Pomiarów dokonujemy dla modelu rzeczywistej linii długiej w warunkach obustronnego dopasowania linii. Zmierzone amplitudy impulsów na wejściu i wyjściu linii długiej wynoszą odpowiednio $A_{in} = 1,0465$ [V] oraz $A_{out} = 0,93125$ [V]. Czas propagacji sygnału wynosi z kolei $T_p = 0,172$ [μs]. Straty linii w procentach wynoszą:

$$S' = \frac{A_{in} - A_{out}}{A_{in}} \cdot 100[\%] = \frac{1,0465 - 0,93125}{1,0465} \cdot 100[\%] \approx 11[\%].$$

Zmierzyliśmy czasy narastania, które wynoszą $t_{ro} = 9,8$ [ns] i $t_{ri} = 8$ [ns]. Czas narastania odpowiedzi jednostkowej obliczamy ze wzoru:

$$t_r = \sqrt{t_{ro}^2 - t_{ri}^2},$$

wynosi on zatem $t_r = 13$ [ns].

Częstotliwość graniczną obliczamy ze wzoru

$$f_g = \frac{1,1}{\pi \cdot t_r}.$$

Zmierzona wartość częstotliwości granicznej wynosi $f_g = 4,37[\text{kHz}]$. Na podstawie zmierzonego czasu propagacji wyznaczamy opóźnienie kabla na jednostkę długości, wynosi ona

$$D = \frac{T_p}{L} = \frac{0,172}{35} [\frac{\mu\text{s}}{\text{m}}] = 4,91 [\frac{\text{ns}}{\text{m}}].$$