

Układy Elektroniczne - Linia Długa

Grzegorz Litarowicz

Piotr Moszkowicz

27 kwietnia 2019

Spis treści

1 Cel i zakres ćwiczenia	1
2 Opis sposobu wykonania ćwiczenia	1
3 Schemat układu pomiarowego	1
4 Pomiary i wyniki	1
4.1 Badanie przesyłu impulsów prostokątnych przez linię długą	1
4.1.1 $R = R_f, \rho = 0$ - linia dopasowana na wejściu i wyjściu	1
4.1.2 $R = 0, \rho = -1$ - linia dopasowana na wejściu i zwarta na końcu	3
4.1.3 $R = \infty, \rho = 1$ - linia dopasowana na wejściu i rozwarta na końcu	5
4.2 Badanie przesyłu impulsów prostokątnych o czasie trwania dłuższym niż czas opóźnienia przez linię długą	7
4.2.1 $R = 0, \rho = -1$ - linia dopasowana na wejściu i zwarta na końcu	7
4.2.2 $R = \infty, \rho = 1$ - linia dopasowana na wejściu i rozwarta na końcu	9
4.3 Obserwacja efektu pojemnościowego linii	11
4.4 Obserwacja efektów spowodowanych nieidealnymi własnościami rzeczywistego modelu	13
4.5 Badanie transmisji krótkiego impulsu prostokątnego przez kabel koncentryczny .	14

1 Cel i zakres ćwiczenia

Celem ćwiczenia było zapoznanie się z linią długą, zbadanie modelu linii długiej oraz kabla koncentrycznego w kontekście przesyłania sygnałów elektrycznych.

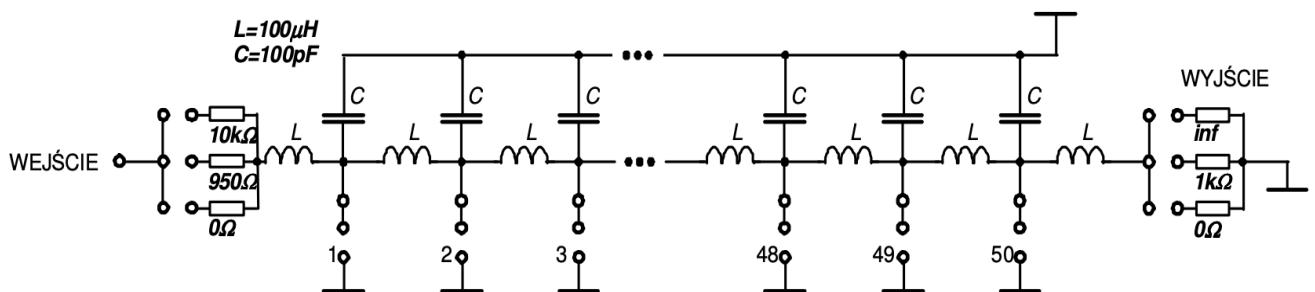
2 Opis sposobu wykonania ćwiczenia

W czasie ćwiczeń wykorzystywaliśmy:

- Generator funkcyjny
- Oscyloskop
- Modelu linii długiej o parametrach:
 - Indukcyjność $L = 100 \mu\text{H}$
 - Pojemność $C = 100 \text{ pF}$
 - Rezystancja charakterystyczna $R_f = 1 \text{ k}\Omega$
 - Ilość ogniw - 50
- Kabel koncentryczny o znanych parametrach

Z pomocą pierwszych dwóch przyrządów badaliśmy wysyłane sygnały (generowane za pomocą generatora funkcyjnego) przez linię długą, a następnie kabel koncentryczny. Podpinając wyjście linii / kabel koncentryczny do oscyloskopu wizualizowaliśmy sygnał. Dzięki temu byliśmy w stanie obserwować efekty wynikające z nieidealnych własności naszego modelu linii długiej.

3 Schemat układu pomiarowego



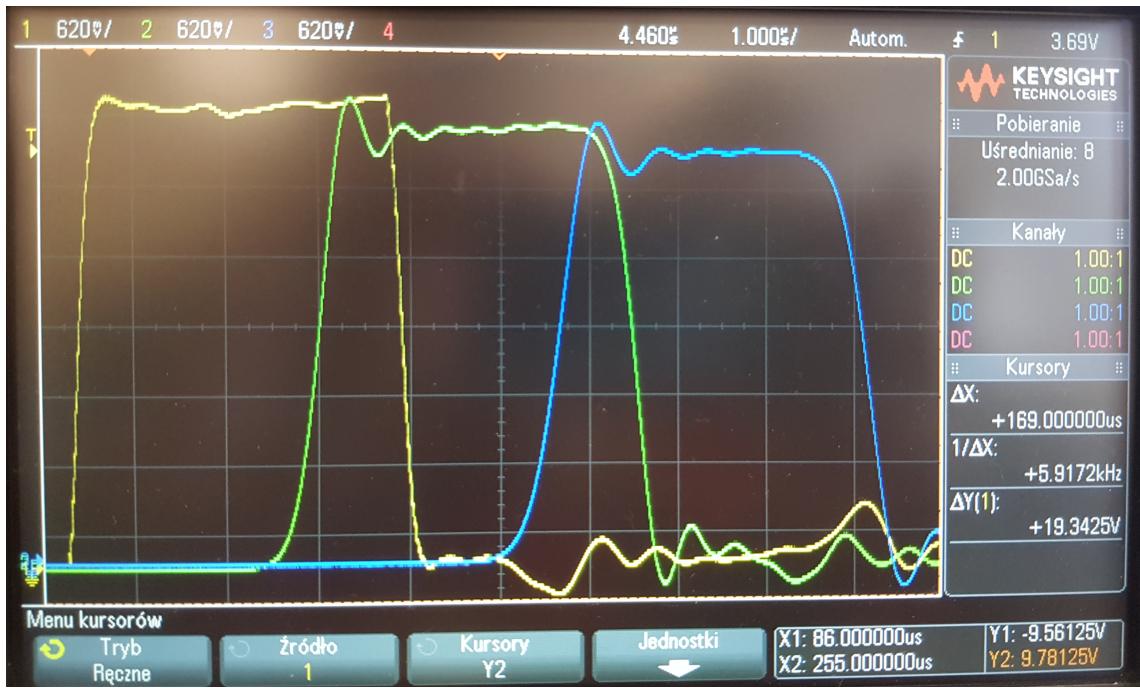
Rysunek 1: Schemat modelu linii długiej

4 Pomiary i wyniki

4.1 Badanie przesyłu impulsów prostokątnych przez linię długą

4.1.1 $R = R_f, \rho = 0$ - linia dopasowana na wejściu i wyjściu

Czas opóźnienia linii:



Rysunek 2: Przebieg napięcia w poszczególnych punktach linii długiej

- █ Wejście
- █ $\frac{L}{2}$
- █ Wyjście

- W punkcie $\frac{L}{2}$: $t_0 = 2.6\mu s$
- Na wyjściu: $t_0 = 5.12\mu s$

Czas opóźnienia linii na wyjściu możemy wyznaczyć w następujący sposób:

$$t_0 = n * \sqrt{L * C} = 50 * \sqrt{100\mu H * 100 \text{ pF}} = 5 \mu s \quad (1)$$

Natomiast czas opóźnienia linii w punkcie $\frac{L}{2}$ możemy wyliczyć ze wzoru:

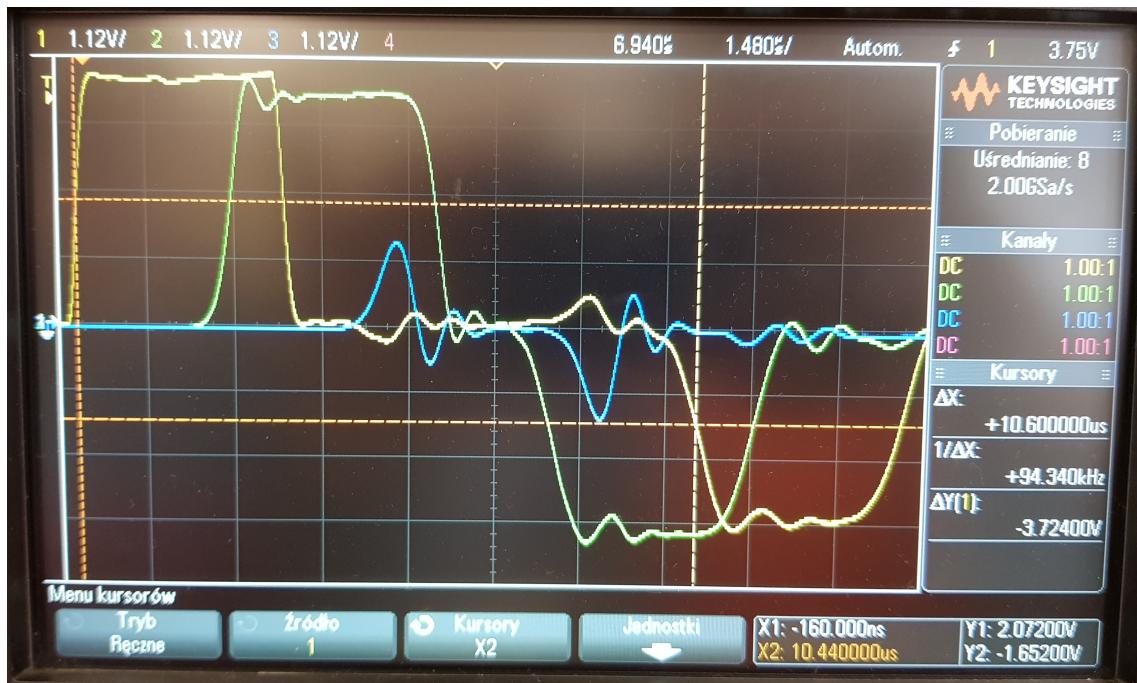
$$t_0(\frac{L}{2}) = \frac{n}{2} * \sqrt{L * C} = 25 * \sqrt{100\mu H * 100 \text{ pF}} = 2.5 \mu s \quad (2)$$

Punkt linii	Wartość teoretyczna [μs]	Wartość zmierzona [μs]
$\frac{L}{2}$	2.5	2.6
L	5	5.12

Na podstawie danych zawartych w tabeli możemy powiedzieć, iż wartość teoretyczna jest zbliżona do wartości zmierzonej przy wzięciu pod uwagę niepewności pomiarowej.

Jednocześnie jesteśmy w stanie zaobserwować spadki amplitud w kolejnych pomiarach, co spowodowane jest występowaniem oporu w linii, który zaniedbujemy w obliczeniach.

4.1.2 $R = 0$, $\rho = -1$ - linia dopasowana na wejściu i zwarta na końcu



Rysunek 3: Przebieg napięcia w poszczególnych punktach linii długiej

	Wejście
	$\frac{L}{2}$
	Wyjście

Czas opóźnienia linii:

- Na wejściu: $t_0 = 0 \mu\text{s}$, sygnał odbity pojawia się w chwili: $t = 10.44 \mu\text{s}$
- W punkcie $\frac{L}{2}$: $t_0 = 2.42 \mu\text{s}$, sygnał odbity pojawia się w chwili: $t = 7.9 \mu\text{s}$
- Na wyjściu: $t_0 = 5.16 \mu\text{s}$

Czas opóźnienia linii teoretyczny:

- Na wejściu: $t_0 = 0 \mu\text{s}$, sygnał odbity pojawia się w chwili: $t = 10 \mu\text{s}$
- W punkcie $\frac{L}{2}$: $t_0 = 2.5 \mu\text{s}$, sygnał odbity pojawia się w chwili: $t = 7.5 \mu\text{s}$
- Na wyjściu: $t_0 = 5 \mu\text{s}$

Amplitudy linii:

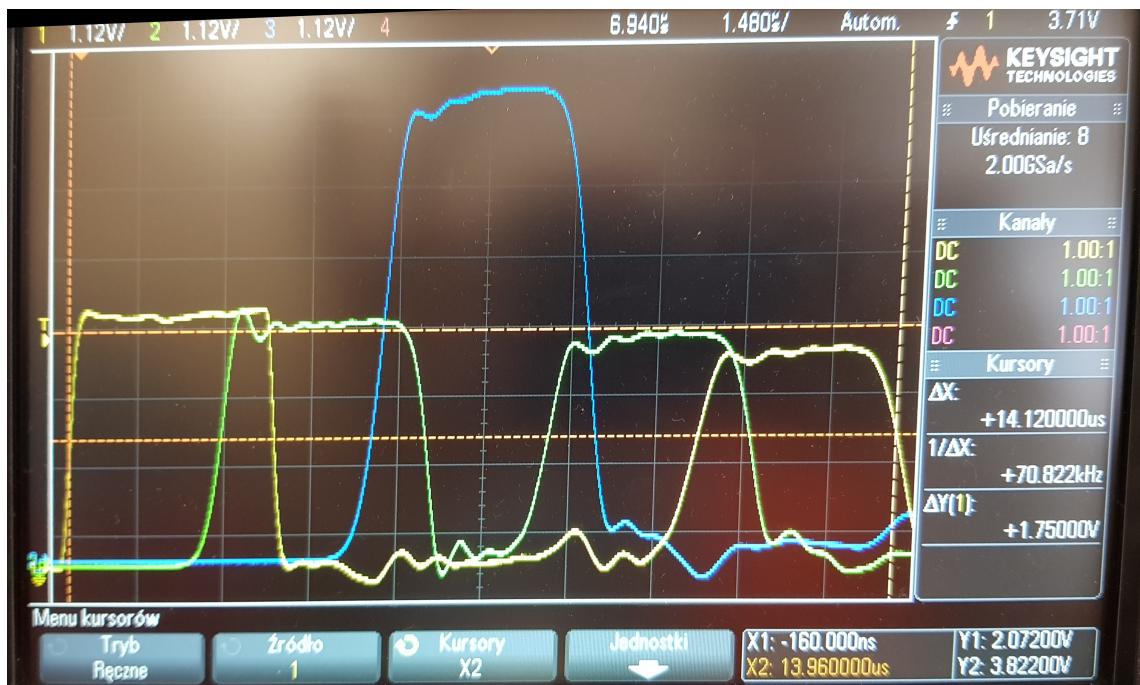
- Na wejściu: $U = 4.14 \text{ V}$, sygnał odbity: $U = -3.62 \text{ V}$
- W punkcie $\frac{L}{2}$: $U = 4.08 \text{ V}$, sygnał odbity $U = -3.72 \text{ V}$
- Na wyjściu: $U = 1.4 \text{ V}$

Sygnał na wyjściu powinien być równy 0V, aczkolwiek na naszym zdjęciu taki nie jest. Wynika to z faktu, iż dokonywaliśmy pomiaru nie na faktycznym końcu linii długiej, więc obserwujemy moment wygaszania sygnału w tym segmencie.

Z pomiaru amplitud wynika, iż faktycznie amplituda sygnału odbitego jest przeciwna do sygnału wejściowego, ale lekko tłumiona z powodu nieidelanych własności linii, co potwierdza wartość współczynnika odbicia.

Z powodu tłumienia obserwujemy coraz mniejsze amplitudy wraz z przemieszczaniem się wzdłuż linii.

4.1.3 $R = \infty$, $\rho = 1$ - linia dopasowana na wejściu i rozwarta na końcu



Rysunek 4: Przebieg napięcia w poszczególnych punktach linii długiej

	Wejście
	$\frac{L}{2}$
	Wyjście

Czas opóźnienia linii zmierzony:

- Na wejściu: $t_0 = 0 \mu\text{s}$, sygnał odbity pojawia się w chwili: $t = 10.64 \mu\text{s}$
- W punkcie $\frac{L}{2}$: $t_0 = 2.44 \mu\text{s}$, sygnał odbity pojawia się w chwili: $t = 8.02 \mu\text{s}$
- Na wyjściu: $t_0 = 5.16 \mu\text{s}$

Czas opóźnienia linii teoretyczny:

- Na wejściu: $t_0 = 0 \mu\text{s}$, sygnał odbity pojawia się w chwili: $t = 10 \mu\text{s}$
- W punkcie $\frac{L}{2}$: $t_0 = 2.5 \mu\text{s}$, sygnał odbity pojawia się w chwili: $t = 7.5 \mu\text{s}$
- Na wyjściu: $t_0 = 5 \mu\text{s}$

Amplitudy linii:

- Na wejściu: $U = 4.15 \text{ V}$, sygnału odbitego: $U = 3.48 \text{ V}$
- W punkcie $\frac{L}{2}$: $U = 4.04 \text{ V}$, sygnału odbitego $U = 3.72 \text{ V}$
- Na wyjściu: $U = 7.65 \text{ V}$

Jak widać na powyższym rysunku sygnał na wyjściu jest superpozycją fali wejściowej i odbitej o równych amplitudach i tej samej fazie.

Zgodnie z zamieszczonym wykresem, możemy zaobserwować tłumiące właściwości linii - sygnał w punkcie $\frac{L}{2}$ ma amplitudę mniejszą niż sygnał na wejściu.

4.2 Badanie przesyłu impulsów prostokątnych o czasie trwania dłuższym niż czas opóźnienia przez linię długą

Czas trwania impulsu dla naszej grupy został wyznaczony przez prowadzącego wynosi: 22 μ s.

4.2.1 $R = 0, \rho = -1$ - linia dopasowana na wejściu i zwarta na końcu



Rysunek 5: Przebieg napięcia w poszczególnych punktach linii długiej

- █ Wejście
- █ $\frac{L}{2}$
- █ Wyjście

Czas przebiegu sygnału:

- Na wejściu: $t_0 = 0 \mu\text{s}$, sygnał odbity pojawia się w chwili: $t = 10.7 \mu\text{s}$
- W punkcie $\frac{L}{2}$: $t_0 = 2.45 \mu\text{s}$, sygnał odbity pojawia się w chwili: $t = 24.35 \mu\text{s}$

Czas przebiegu sygnału teoretyczny:

- Na wejściu: $t_0 = 0 \mu\text{s}$, sygnał odbity pojawia się w chwili: $t = 10 \mu\text{s}$
- W punkcie $\frac{L}{2}$: $t_0 = 2.5 \mu\text{s}$, sygnał odbity pojawia się w chwili: $t = 25 \mu\text{s}$

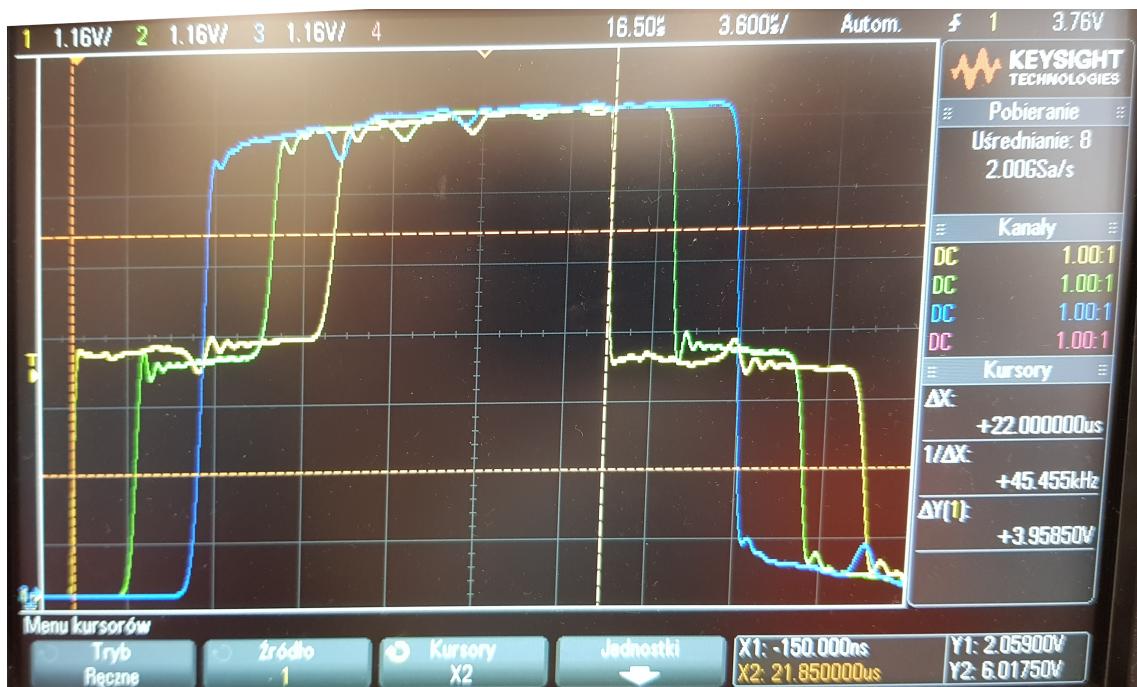
Amplitudy linii:

- Na wejściu: $U = 4.15 \text{ V}$, sygnału odbitego: $U = -3.14 \text{ V}$
- W punkcie $\frac{L}{2}$: $U = 3.95 \text{ V}$, sygnału odbitego $U = -3.35 \text{ V}$

W tym przypadku również obserwujemy wygaszanie fali na wyjściu linii długiej, jednak nie jest ono całkowite z powodu niedokładności modelu linii długiej oraz z powodu punktu pomiarowego, który nie znajdował się dokładnie w końcu linii.

Natomiast różne poziomy zer wynikają z tego, iż sygnał nadawany nakłada się z sygnałem odbitym, a nie są sobie równe z powodu efektu tłumienia.

4.2.2 $R = \infty$, $\rho = 1$ - linia dopasowana na wejściu i rozwarta na końcu



Rysunek 6: Przebieg napięcia w poszczególnych punktach linii długiej

- █ Wejście
- █ $\frac{L}{2}$
- █ Wyjście

Czas przebiegu sygnału:

- Na wejściu: $t_0 = 0 \mu\text{s}$, sygnał odbity pojawia się w chwili: $t = 10.65 \mu\text{s}$
- W punkcie $\frac{L}{2}$: $t_0 = 2.4 \mu\text{s}$, sygnał odbity pojawia się w chwili: $t = 8.15 \mu\text{s}$
- Na wyjściu: $t_0 = 4.95 \mu\text{s}$

Czas przebiegu sygnału teoretyczny:

- Na wejściu: $t_0 = 0 \mu\text{s}$, sygnał odbity pojawia się w chwili: $t = 10 \mu\text{s}$
- W punkcie $\frac{L}{2}$: $t_0 = 2.5 \mu\text{s}$, sygnał odbity pojawia się w chwili: $t = 7.5 \mu\text{s}$

Amplitudy linii:

- Na wejściu: $U = 4.11 \text{ V}$, sygnału odbitego: $U = 7.91 \text{ V}$
- W punkcie $\frac{L}{2}$: $U = 3.97 \text{ V}$, sygnału odbitego $U = 8.04 \text{ V}$
- Na wyjściu: $U = 7.93 \text{ V}$

Jak widać po powyższych danych amplituda jest superpozycją amplitudy wejściowej oraz odbitej na wyjściu, co jest zgodne z współczynnikiem odbicia, powodując jej zwiększenie o 2 razy.

Amplitudy w kolejnych punktach pomiarowych są coraz niższe, co jest spowodowane niedokładnością modelu linii, którym dysponowaliśmy.

4.3 Obserwacja efektu pojemnościowego linii



Rysunek 7: Efekt pojemnościowy obserwowany za pomocą przebiegu napięcia

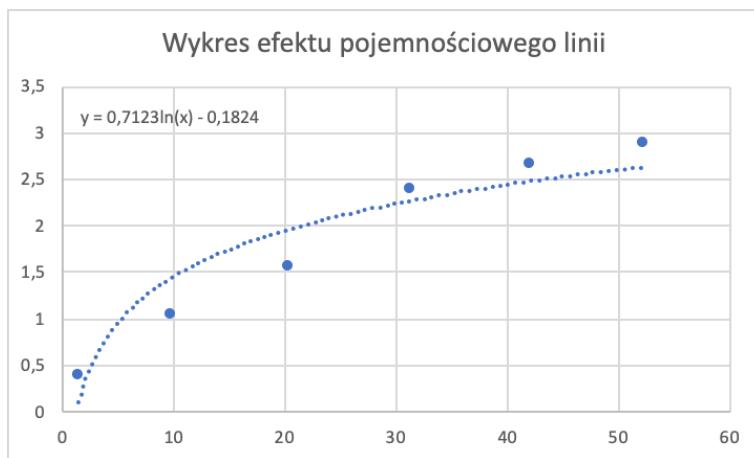
Wymuszenie wejściowe $U_{in} = 3V$

$$\text{Współczynnik odbicia: } \rho = \frac{\frac{R}{R_f} - 1}{\frac{R}{R_f} + 1} = \frac{9}{11}$$

Teoretyczna długość każdego schodka wynosi $t = 2*t_0$, co wynika z przejścia sygnału od końca linii i jego powrót.

Nr. schodka	Amplituda U [mV]	Czas rozpoczęcia t [μs]
1	382	0
2	1030	9.8
3	1560	20.4
4	2380	31.4
5	2660	42
6	2890	52.2

Tabela 1: Tabela zawierająca informację o kolejnych ”schodkach” spowodowanych efektem pojemnościowym



Rysunek 8: Wykres pomiarów efektu pojemnościowego oraz jego interpolacja logarytmiczna

4.4 Obserwacja efektów spowodowanych nieidealnymi właściwościami rzeczywistego modelu



Rysunek 9: Przebieg napięcia w poszczególnych punktach linii długiej

- █ - Wejście
- █ - Wyjście

Z powodu realnego niezerowego oporu możemy zaobserwować efekt tłumienia. Poniżej wypisane są istotne wartości dla tego zjawiska:

$$\begin{aligned}
 A_{in} &= 4.09V \\
 A_{out} &= 3.7V \\
 tr_{in} &= 217\text{ns} \\
 tr_{out} &= 586\text{ns} \\
 tr_w &= \sqrt{tr_{out}^2 - tr_{in}^2} = 585.97\text{ns} \\
 F_g &= 0.12\text{Hz} \\
 t_0 &= 5.26\text{ }\mu\text{s} \\
 k &= 0.904 \\
 k &= -0.870\text{ dB}
 \end{aligned}$$

4.5 Badanie transmisji krótkiego impulsu prostokątnego przez kabel koncentryczny



Rysunek 10: Przebieg napięcia

- █ - Wejście
- █ - Wyjście

W naszym przypadku zamiast znanej długości kabla, znaleźliśmy czas opóźnienia na jednostkę długości kabla koncentrycznego $t_l = 5 \frac{ns}{m}$. Wyznaczyliśmy poniższe wartości:

- Rezystancja charakterystyczna: $r_f = 41.52 \Omega$
- Współczynnik tłumienia: $k = 0.885$
- Współczynnik tłumienia [dB]: $k = -1.051 \text{ dB}$
- Czas opóźnienia: $t_0 = 408 \text{ ns}$
- Czas narastania V_{IN} : $tr_{IN} = 6.42 \text{ ns}$
- Czas narastania V_{OUT} : $tr_{OUT} = 12 \text{ ns}$

Przy takich odczytach jesteśmy w stanie wyznaczyć doświadczalnie długość kabla koncentrycznego ze wzoru:

$$l = \frac{t_0}{t_l} = 81.6m \quad (3)$$