

Analiza kabla koncentrycznego

Kacper Kłos

W niniejszym raporcie analizujemy zachowanie kabla koncentrycznego przy bardzo szybkich sygnałach. Wysyłaliśmy impulsy o napięciu 5 V, których czoło narastało w czasie odpowiednio 10 ns i trwało 100 ns. Badaliśmy dwa kable o referencyjnej impedancji $75\ \Omega$.

Najpierw, wydłużając kabel, badaliśmy, jak zmienia się czas powrotu sygnału. Otrzymane wyniki pozwoliły wyznaczyć prędkości propagacji: $v_{\text{good}} = (9,892 \pm 0,032) \times 10^7\ \text{m s}^{-1}$ oraz $v_{\text{bad}} = (11,341 \pm 0,080) \times 10^7\ \text{m s}^{-1}$.

Następnie do końca kabla dołączyliśmy rezystor o zmiennej rezystancji i zmierzaliśmy zależność napięcia sygnału odbitego od tej rezystancji. Na tej podstawie wyznaczyliśmy impedancje: $Z_{\text{good}} = (73,9 \pm 1,1)\ \Omega$ oraz $Z_{\text{bad}} = (77,7 \pm 1,3)\ \Omega$.

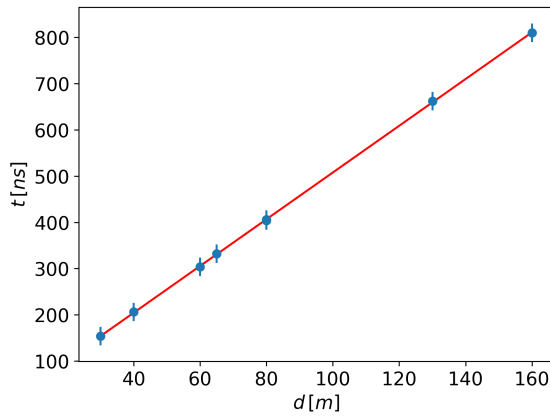
Korzystając z tych wartości, obliczyliśmy pojemność i indukcyjność na jednostkę długości kabla dobrego: $c_{\text{good}} = (1,367 \pm 0,020) \times 10^{-10}\ \text{F m}^{-1}$, $l_{\text{good}} = (7,47 \pm 0,11) \times 10^{-7}\ \text{H m}^{-1}$, oraz złego: $c_{\text{bad}} = (1,135 \pm 0,021) \times 10^{-10}\ \text{F m}^{-1}$, $l_{\text{bad}} = (6,85 \pm 0,12) \times 10^{-7}\ \text{H m}^{-1}$.

1 Wyniki pomiarów

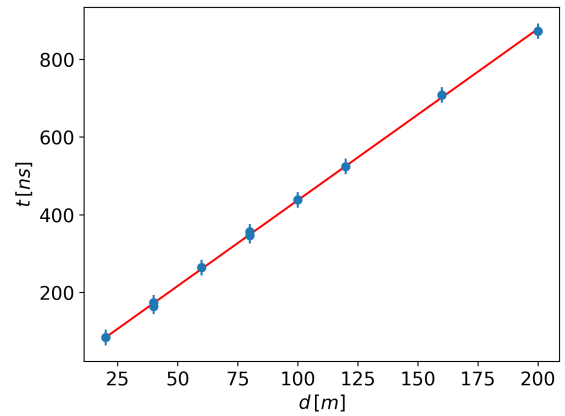
Najpierw zmierzaliśmy czas powrotu sygnału dla dobrego i złego kabla o impedancji 75Ω . Za błąd pomiarowy czasu uznajemy stałą równą jednej podziałce oscyloskopu $\Delta t = 4\text{ ns}$, podczas gdy długość kabla uznajemy za dokładną wielkość i nie rozważamy jej niepewności w dalszej analizie.

Nr	Dobry kabel		Zły kabel	
	d [m]	t [ns]	d [m]	t [ns]
1	30	154	20	84
2	60	304	40	164
3	40	206	40	174
4	80	406	80	346
5	65	332	60	264
6	130	662	120	524
7	80	404	80	356
8	160	810	160	708
9	–	–	100	438
10	–	–	200	872

Tabela 1: Porównanie odległości d i czasu t dla dobrego i złego kabla.



(a) Dobry kabel



(b) Zły kabel

Rysunek 1: Zależność czasu propagacji t od długości kabla d . Przedstawiony błąd został przeskalowany 5x dla lepszej widoczności.

Na podstawie danych z tab. 1 dopasowaliśmy model liniowy, uzyskując współczynniki przybliżające nasze pomiary.

$$t = \frac{d}{v} + b,$$

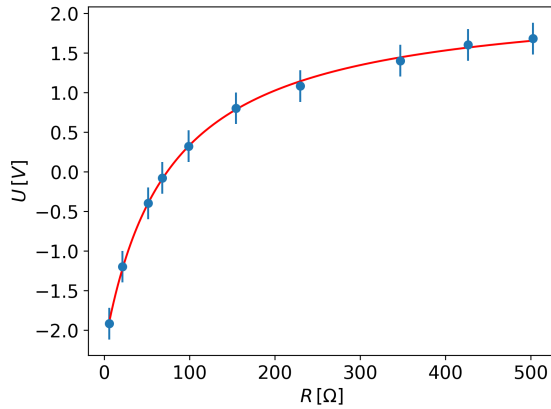
otrzymujemy prędkości propagacji

$$v_{\text{good}} = (9,892 \pm 0,032) \times 10^7 \text{ m s}^{-1}, \quad v_{\text{bad}} = (11,341 \pm 0,080) \times 10^7 \text{ m s}^{-1}.$$

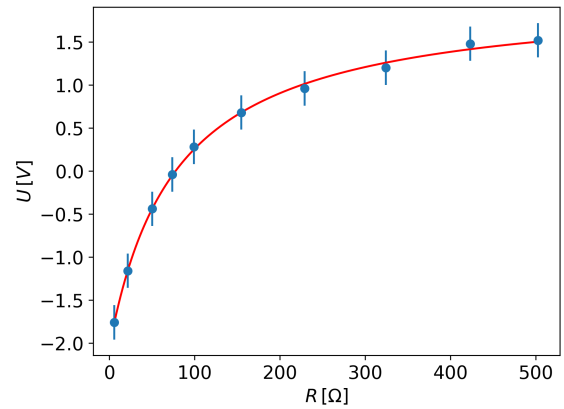
Następnie zmierzaliśmy napięcie odbitego sygnału w funkcji rezystancji podłączonej do końca kabla. Błąd pomiarowy oporu wyznaczamy z instrukcji multimetru[1] i przedstawiamy go w tabeli z wynikami, podczas gdy błąd napięcia uznajemy za jedną podziałkę oscyloskopu $\Delta U = 0,04$.

Nr	Dobry kabel			Zły kabel		
	$R [\Omega]$	$\Delta R [\Omega]$	$U [\text{V}]$	$R [\Omega]$	$\Delta R [\Omega]$	$U [\text{V}]$
1	21,242	0,017	-1,20	5,949	0,012	-1,76
2	67,88	0,03	-0,08	21,741	0,017	-1,16
3	51,489	0,026	-0,40	50,467	0,026	-0,44
4	98,71	0,04	0,32	73,71	0,04	-0,04
5	154,45	0,06	0,80	99,18	0,04	0,28
6	229,72	0,11	1,08	154,91	0,06	0,68
7	346,97	0,13	1,40	228,87	0,11	0,96
8	426,38	0,15	1,60	324,13	0,13	1,20
9	502,59	0,16	1,68	423,34	0,15	1,48
10	5,985	0,012	-1,92	502,51	0,16	1,52

Tabela 2: Rezystancja R i napięcie odbitego sygnału U dla dobrego i złego kabla.



(a) Dobry kabel



(b) Zły kabel

Rysunek 2: Zależność napięcia odbitego U od rezystancji obciążenia R . Przedstawiony błąd został przeskalowany 5x dla lepszej widoczności.

Otrzymane dane opiszemy zależnością [2]

$$U = U_0 \frac{R_L - Z}{R_L + Z},$$

gdzie U – napięcie odbite, U_0 – napięcie generowane, R_L – rezystancja obciążenia, Z – impedancja kabla.

Do powyższego równania dopasowaliśmy krzywą metodą najmniejszych kwadratów, aby model jak najlepiej opisał zmierzone wartości (tab. 2). W rezultacie otrzymaliśmy parametry

$$Z_{\text{good}} = (73,9 \pm 1,1) \Omega, \quad Z_{\text{bad}} = (77,7 \pm 1,3) \Omega.$$

Korzystając z wzorów [2]

$$c = \frac{1}{vZ}, \quad l = \frac{Z}{v},$$

wyznaczamy parametry na jednostkę długości

$$\begin{aligned} c_{\text{good}} &= (1,367 \pm 0,020) \times 10^{-10} \text{ F m}^{-1}, & l_{\text{good}} &= (7,47 \pm 0,11) \times 10^{-7} \text{ H m}^{-1}, \\ c_{\text{bad}} &= (1,135 \pm 0,021) \times 10^{-10} \text{ F m}^{-1}, & l_{\text{bad}} &= (6,85 \pm 0,12) \times 10^{-7} \text{ H m}^{-1}. \end{aligned}$$

2 Analiza wyników

Podczas pomiarów zaobserwowaliśmy, że zły kabel tłumił sygnały silniej niż kabel dobry. Ponadto wyniki dla sprawnego kabla charakteryzowały się mniejszymi niepewnościami, dzięki czemu wyznaczona dla niego impedancja mieści się w wartości referencyjnej 75Ω , podczas gdy dla kabla złego jest ona nieznacznie większa, lecz wciąż mieści się w 3σ .

Głównymi źródłami niepewności były rozdzielczości oscyloskopu i generatora sygnałów. W pomiarach prędkości propagacji prowadzi to do błędu poniżej 1%. W detekcji napięcia niepewność jest większa ze względu na trudność jednoznacznego odczytu wartości szczytowej, która w czasie trwania odbicia nieznacznie maleje. Dodatkowo niewielki błąd pochodzi z rozdzielczości multimetru użytego do pomiaru rezystancji obciążenia. Wpływ dodatkowych połączeń kablowych uznaliśmy za pomijalny.

Literatura

- [1] Instrukcja multimetru RIGOL DM3058E http://pracownie1.fuw.edu.pl/przyrzady/Multimetr_Rigol_DM3058_UserGuide_EN.pdf
- [2] Piotr Fita, *Kabel koncentryczny*, skrypt laboratoryjny, Uniwersytet Warszawski.