

University of *Ljubljana*
Faculty of *Mathematics and Physics*



Fizikalni praktikum 3

Vaja: Tranzmisijksa linja

Poročilo

Avtor: Orlič, Luka

Nosilec: Kladnik, Gregor

Asistent: Breclj, Tilen

Ljubljana, 6. november 2024

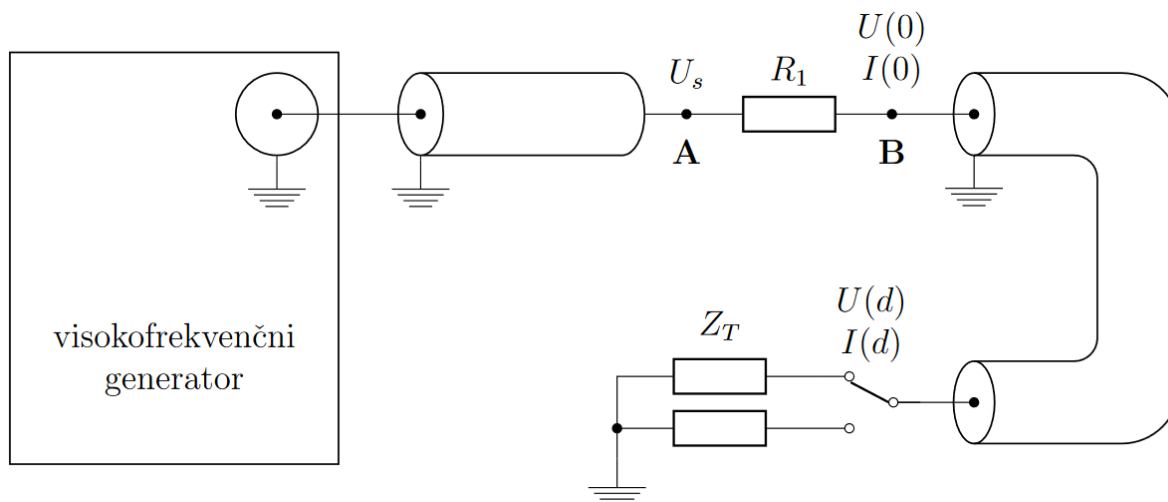
Kazalo

Seznam uporabljenih simbolov in indeksov	2
1 Teoretični uvod	3
1.1 Dodatne formule	5
2 Empirični del	6
2.1 Naloge	6
2.2 Potrebščine	6
2.3 Meritve	6
2.4 Rezultati	6
3 Zaključek	9

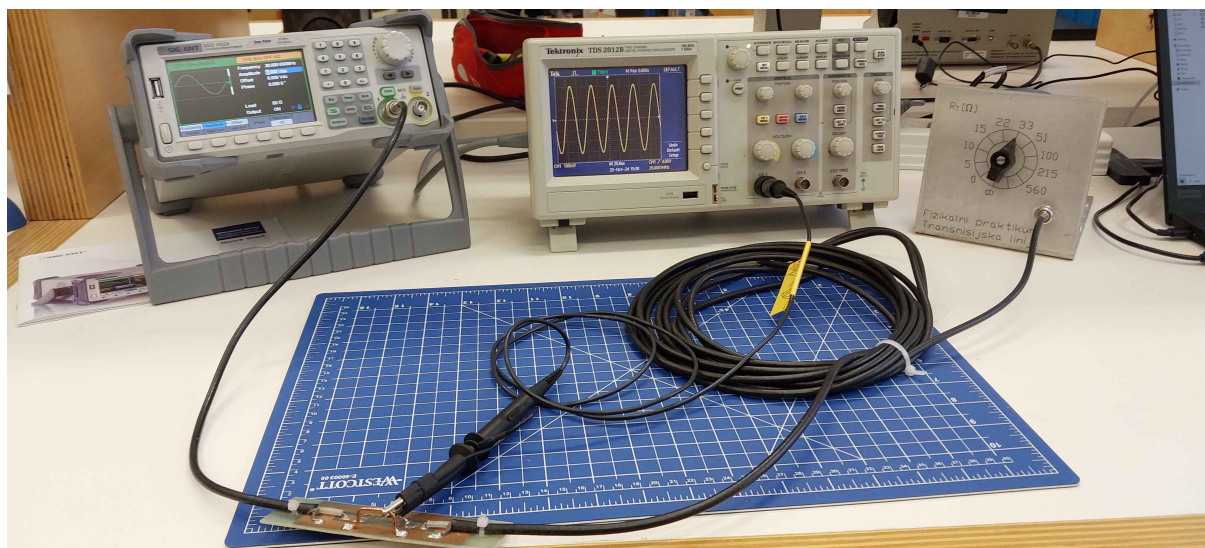
Seznam uporabljenih simbolov in indeksov

Oznaka	Pomen
ε	dielektrična konstanta
$R_z = Z_T$	zaključni upor/impedanca
ν	frekvenca
C	kapacitivnost
L	induktivnost
c	hitrost motnje/EM valovanja
I	tok
A, B, C, D	konstante
ω	$\omega = 2\pi\nu$

Indeks	Pomen
--------	-------



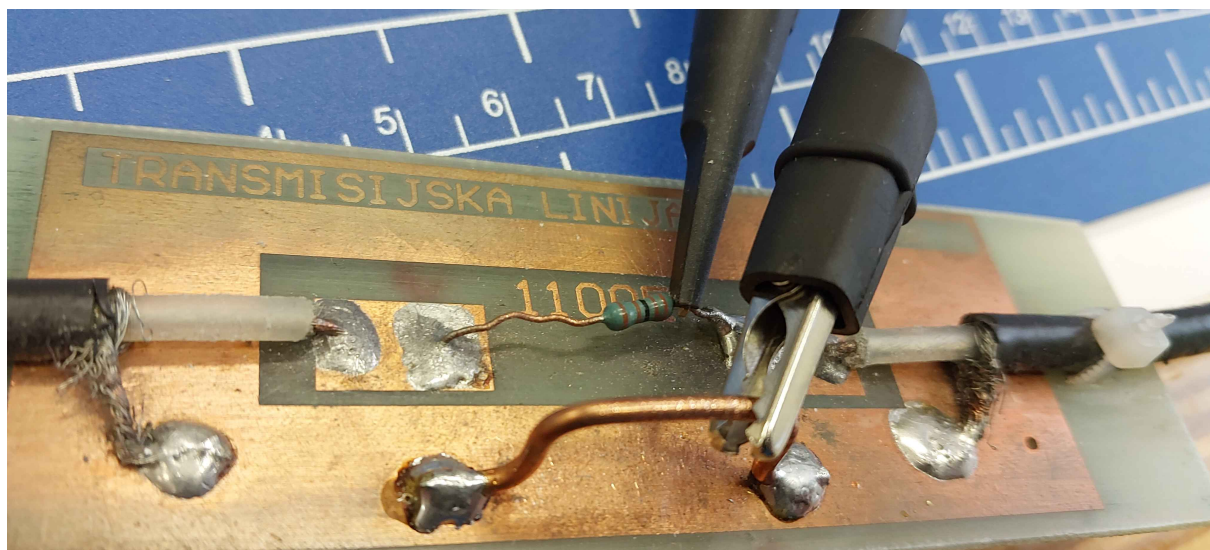
Slika 1: El. diagram eksperimentalne postavitve poskusa.



Slika 2: Slika postavitve eksperimenta.

1 Teoretični uvod

Za prenos signalov pogosto uporabljamo *koaksialne kable*. Njihova sestava je narejena tako, da zmanjša vpliv zunanjih polj in zaščitijo debel signal pred motnjami. Pomembna količina, ki jo pripišemo koaksialnim kablom je karakteristična impedanca. Da bi bili robnim pogojem za valovno enačbo zadoščeno povsod, moramo kabel zaključiti s primernim uporom, ki je enak karakteristični impedanci kabla. Če ne upoštevamo robnih pogojev valovne enačbe povsod, to je nepravilno zaključimo kabel, lahko opazimo pri



Slika 3: Približna slika kjer priključimo osciloskop na točko B.

zaključku nezanemarljiv odboj. Idealizacijo koaksialnega kabla opišeta enačbi:

$$\frac{\partial^2 I}{\partial x^2} = L'C' \frac{\partial^2 I}{\partial t^2}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} = L'C' \frac{\partial^2 U}{\partial t^2}, \quad (2)$$

katerih splošna rešitev je oblike:

$$I(x, t) = (A \exp[i k x] + B \exp[-i k x]) \exp[i \omega t], \quad (3)$$

$$U(x, t) = (C \exp[i k x] + D \exp[-i k x]) \exp[i \omega t], \quad (4)$$

pri čemer, koeficienti A , B , C in D , niso neodvisni temveč je njihova odvisnost podana preko enačbe:

$$\frac{\partial U}{\partial x} = L' \frac{\partial I}{\partial t}, \quad (5)$$

kar nam da enačbo:

$$Z_0 \cdot (A e^{i k x} + B e^{-i k x}) e^{i \omega t} = (C e^{i k x} - D e^{-i k x}) e^{i \omega t}, \quad (6)$$

kjer je $Z_0 = \frac{\omega L'}{k} = \sqrt{\frac{L'}{C'}}$ karakteristična impedanca kabla. V naši eksperimentalni postavitvi kabel napajamo z izmeničnim tokom pri amplitudi I_0 . Na koncu kabla ($x = d$) priključimo znatno Ohmsko upornost R_k , ki nam določi razmerje med tokom in napetostjo na tem mestu. Pri času 0 torej dobimo

robne pogoje za $x = 0 \wedge x = d$. Predstavlja jih sistem enačb:

$$I(0) = I_0 = A + B \quad (7)$$

$$I(d) = \frac{U(d)}{Z_T} = Ae^{ikd} + Be^{-ikd} = \frac{Z_0 Ae^{ikd} - Z_0 Be^{-ikd}}{Z_T}. \quad (8)$$

Če kabel zaključimo zu $Z_T = Z_0$, lahko rešimo sistem in dobimo $B = 0$, kar pomeni, da ni odboja.

1.1 Dodatne formule

$$C' = \frac{2\pi\epsilon\epsilon_0}{\ln\left(\frac{D}{d}\right)} \quad (9)$$

$$L' = \frac{\mu_0}{2\pi} \ln\left(\frac{D}{d}\right) \quad (10)$$

$$\epsilon = \left(\frac{c_0}{c}\right)^2 = \left(\frac{c_0}{4l\nu}\right)^2 \quad (11)$$

2 Empirični del

2.1 Naloge

1. Izmeri hitrost EM valovanja v kablu in določi dielektrično konstanto izolacije ϵ ,
2. Izmeri in nariši diagram, vseh meritev na en graf, amplitude napetosti na začetku kabla $U_0(0)$ kot funkcijo frekvence ω za vse zaključne impedance kabla, ki jih imaš na voljo. Pri frekvencah $kd \approx \pi \wedge kd \approx \frac{3}{2}\pi$, pa določi le ekstreme in si zapiši ustrezne frekvence in amplitude.
3. Določi karakteristični upor kabla Z_0 iz meritve frekvenčne odvisnosti in izračunaj $L' \wedge C'$ iz znanih dimenzij kabla. Primerjaj jih z znanimi podatki za uporabljeni kabel.

2.2 Potrebščine

- visokofrekvenčni signalni generator *Siglent SDG-1032X* do 30 MHz z izhodno napetostjo 5 V,
- koaksialni kabel dolžine (704 ± 1) cm, priključenega na generator preko upora $R_1 = 1100 \Omega$,
- preklopnik z raznimi upori za zaključevanje kabla,
- osciloskop *Tektronix TDS-2012B* z visokofrekvenčno sondo.

2.3 Meritve

Meritve prikazujejo slike (4, 5, 6).

2.4 Rezultati

Vmesni rezultat dobimo z izračunom prikazanim na sliki (7), ki je $\nu_1 \approx (6 \pm 1)$ MHz

Ocenimo lahko, da je $Z_0 = (50 \pm 20) \Omega$, kar je tudi skladno s podatki o kablu. Lahko dobimo, enačbo $c = \lambda\nu = 4l\nu$, kjer so l , ν , znane vrednosti. Tako določimo vrednost:

$$c = (174\,592\,000 \pm 250\,000) \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx (0,58 \pm 0,09) c_0 \quad (12)$$

$$\epsilon = (2,95 \pm 0,95) \quad (13)$$

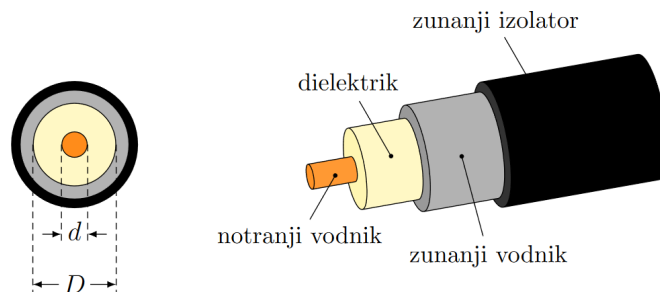
Po enačbah (10, 9) in $Z_0 = \sqrt{\frac{L'}{C'}}$, lahko izračunamo naslednje vrednosti:

$$C' = (0,13 \pm 0,04) \text{ nF/m} \quad (14)$$

$$L' = (0,261 \pm 0.005) \text{ }\mu\text{H/m} \quad (15)$$

$$Z_0 = (46 \pm 7) \Omega \quad (16)$$

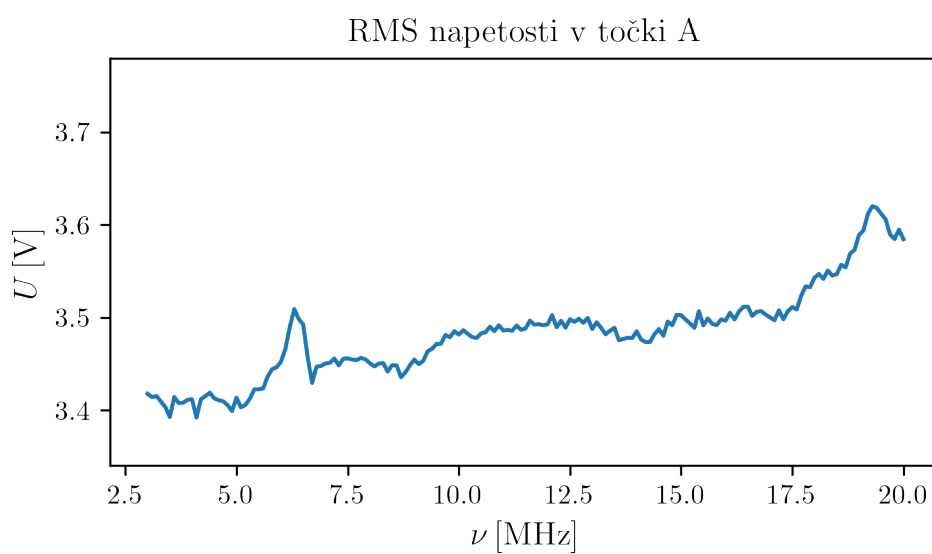
Dodatek: Podatki za kabel RG 58 A/U Amphenol 21-199



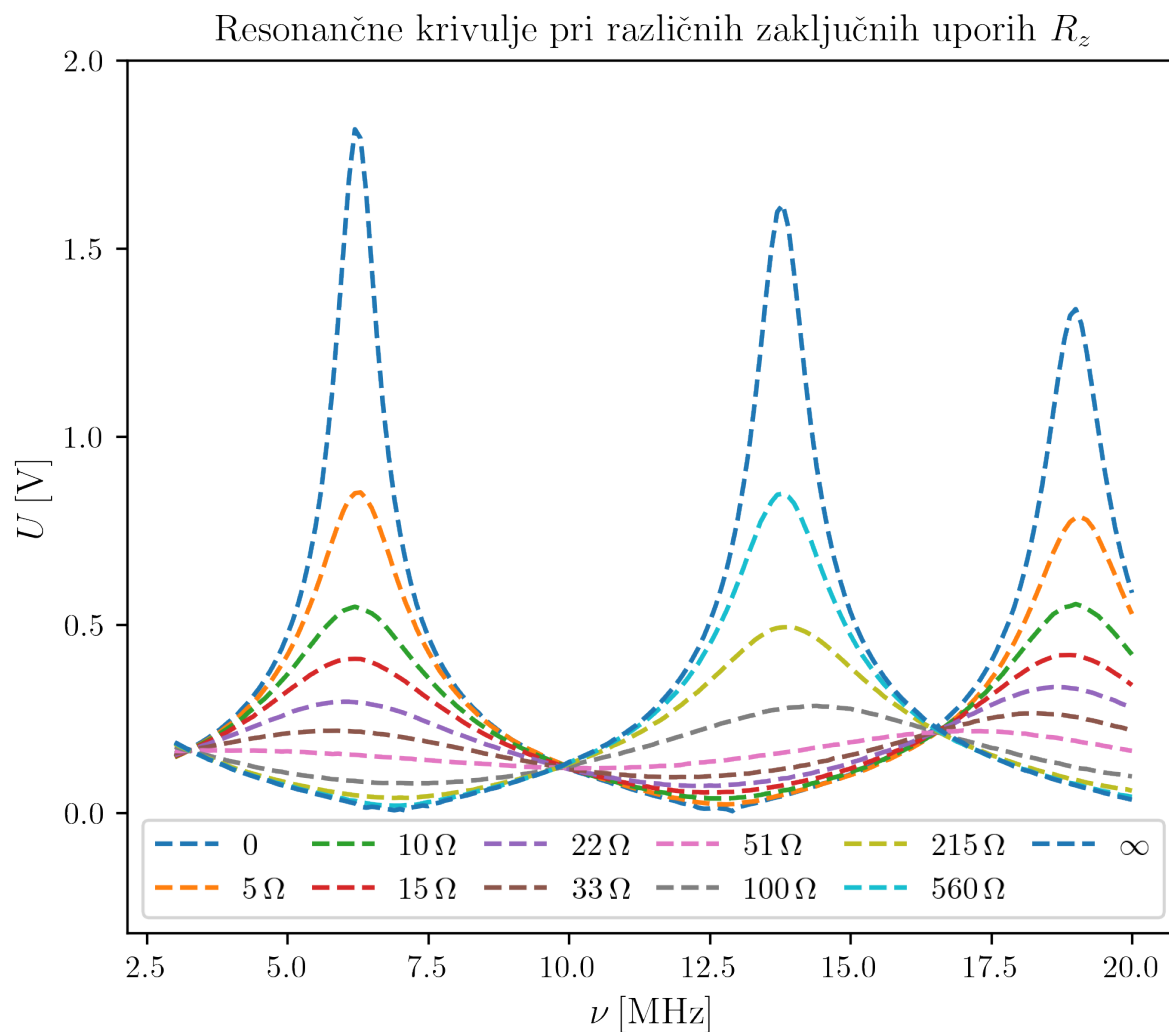
Impedanca	$(50 \pm 2) \Omega$
Kapacitivnost	101 pF m^{-1}
Dušenje	23 dB / 100 m pri 100 MHz

Notranji vodnik	Dielektrik	Zunanji vodnik	Plašč
CuSn	PE (polietilen)	CuSn	PVC (polivinilklorid)
$d = 0.8 \text{ mm}$	$D = 2.95 \text{ mm}$	zun. premer = 3.6 mm	zun. premer = 5 mm

Slika 4: Podatki in skica kabla, ki smo ga uporabili pri poskusu.



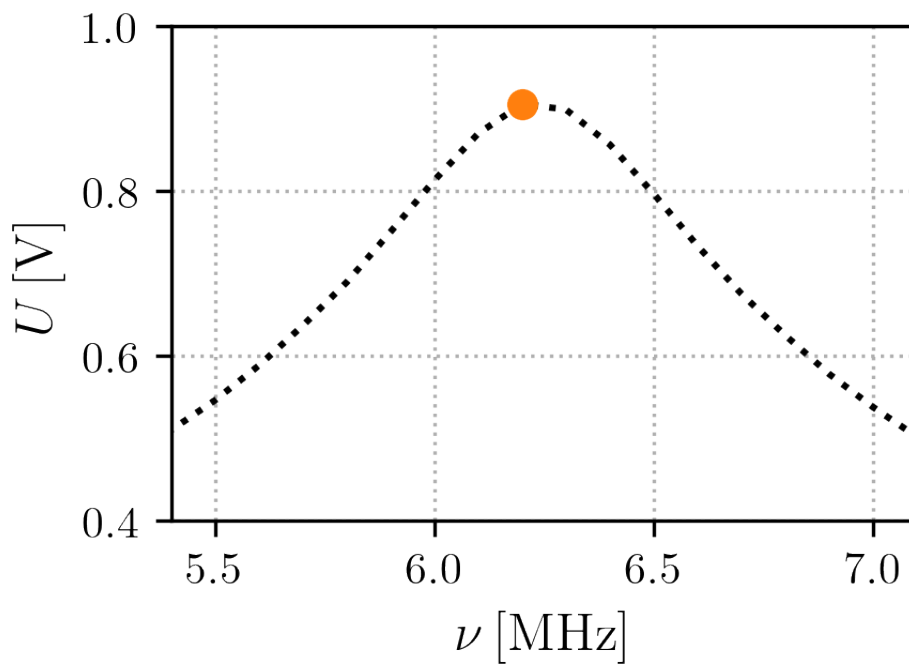
Slika 5: Izmerjen signal v točki A



Slika 6: Resonančne krivulje pri različnih zaključnih impedancah $R_z = Z_T$. Na grafu vidimo RMS napetost med ozemljitvijo in točko B.

R_z [Ω]	σ_U [V]
0	0.42
5	0.25
10	0.17
15	0.12
22	0.09
33	0.05
51	0.03
100	0.07
215	0.14
560	0.22
∞	0.35

Tabela 3: Standardna deviacija resonančne krivulje – napetosti – pri različnih zaključnih uporih.



Slika 7: Maksimum vst rezonančnih krivulj zaključenih uporov pri prvi ojačitvi v vrednosti 0, 5, 10, 15, 22 Ω

3 Zaključek

Vsi rezultati so med seboj znotraj napak, to je kapacitivnost in karakteristična impedanca, posledično lahko iz zveze $Z_0 = \sqrt{\frac{L'}{C'}}$ sklepamo tudi, da je L' znotraj napake.