

## Lastnosti transmisivnih linija

Za prenos visokofrekvenčnih signalov in energije običajno uporabljajo kvalitativne lastnosti. To so predvsem zice obdanci z izolatorjem in cilindričnim prevodnim ščitom. Ti se uporabljajo predvsem za prenos sibnih signalov (ter mihora sešteva zmanjšuje motnje signalov (od 50Hz mokri transformatorji do radijskih in komunikacijskih signalov).

Naspomenljiva lastnost kablov je karakteristika imпедanca. Robni pogoji Maxwellove enačbe morajo biti zadovoljeni na vseh mreži med različnimi kablji in prihlopih. Torej jih moramo pravilno zahititi, da se izognemo odboru in interferenci. Zahitničenje pomembno izenačuje impedanco vseh členov v verigi izvora, prenosa in detekcije signala. Vrednosti dolžine v kablih so primerjive z dolžino kablov. Zato moramo upoštevati poselne lastnosti linije pri prenosu energije, ki se tičejo fizičnih zahodnikov valovanj. Krajšimo in časovno odvisnost kolikor doljmo z resitijo vrednosti enačbe. Kabel smakamo kot vezje, kjer sta kapacitivnost in induktivnost enakomerno porazdeljena po dolžini (zato fu lahko podlagamo na enoto dolžine  $L'$  in  $c'$ ). Tako imamo:

$$\frac{\partial^2 I}{\partial x^2} = L' c' \frac{\partial^2 I}{\partial t^2}$$

$$\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} = L' c' \frac{\partial^2 U}{\partial t^2}$$

Za val s frekvenco  $\omega$  zapisemo:

$$I(x,t) = (A e^{i\omega x} + B e^{-i\omega x}) e^{i\omega t}$$

$$U(x,t) = (C e^{i\omega x} + D e^{-i\omega x}) e^{i\omega t}$$

Napetost v sklopnem luču je enaka inducirani napetosti v luču:

$$\frac{\partial U}{\partial x} = -L' \frac{\partial I}{\partial t}$$

$I_2$  tega dobimo zvezdo:

$$ch(CC^{i\omega t} - De^{-i\omega t}) e^{-i\omega t} = i\omega L' (Ae^{i\omega t} + Be^{-i\omega t}) e^{-i\omega t}$$

Razmerje med napetostjo in tokom imenujemo karakteristična impedanca.

$$Z_0 = \frac{C}{A} = \frac{\omega L'}{h} = \sqrt{\frac{L'}{C}}$$

Nef. C in D pa se izrazita kot  $C = A Z_0$  in  $D = -B Z_0$   
 $(Z_0 \approx 50 - 500 \Omega)$

Pri vazi napijiamo kabel s konstantno amplitudo toka  $I_0$ , ki ga tudi poznamo na začetku ( $x=0$ ). Na koncu kabla ( $x=d$ ) pa bomo prisluški znanu upornost, ki po Ohmuvem zakonu določi razmerje med tokom in napetostjo. Izpustimo časovno odvisnost in izrazimo amplitudi nasprotnih valor, to je konstanti A in B, z narednimi ročnimi pogoji kot:

$$I(0) = A + B = I_0$$
$$I(d) = A e^{i\omega d} + B e^{i\omega d} = \frac{U(d)}{Z_T} = \frac{A Z_0 e^{i\omega d} - B Z_0 e^{-i\omega d}}{Z_T}$$

Tu sistem v splošnem nima enostavnih rešitev. Nekolik enostavnim dobimo ce  $Z_T = Z_0$ . Tahrat  $B = 0$ , kar pomoci da nimam valovanje, ki bi se simo nazaj (torej ni odboj) in kabel se obnasci kot neskončno dolg.

Ce kabel ni zalipljen s kablom. Upornostjo so lastnosti odrivne od dolzine. Napetost je močna funkcija faze ob neprimernih zalipljivih kabla. Za opazovanje teh pojavov je nekolik primernih dolzin kabla  $1/4 \lambda$  (Torej fazna zahodniter  $\pi/2$ ). Kabel te dolzine "transformira" napetost. Kratko sklenjen kabel ( $Z_T = 0$ ) predstavlja zelo veliko upornost na drugi strani; nasprotno pa odprt predstavlja na drugi koncu zelo majhno upornost.

Napetost na zacetku kabla je tako podana kot

$$U_0 = \frac{I_0 Z_0}{Z_T}$$

Za kabel dolg  $\lambda/2$  je navidezna impedanca enaka na zacetku in koncu kabla.

Odbito valoranje se da izraziti z refleksivnim koef. R. Ko je

$$Z_I = Z_T \text{ in ni odbaja je } R = 0 \text{ sicer pa } R \neq 0, R = 1 \text{ ce}$$

$$Z_I = \infty \text{ in } R = 1 \text{ ce } Z_I = 0. \text{ Pri prenosu pride tudi do izgub}$$

(do 1 MHz oglarnem posledica ohmshih izgub torz frekvenca nenehne (kasneje pa pride do slub. effecta ker so izgube zaradi prizganja v. tampon. delu vodnika vezje).

### Potrebno

- Visokofrekvenčni signalni generator Sig knt SDG-1032X do 30 MHz z izhodno napetostjo 5V, kabel 70cm, priključen na generator pride rezistor upora  $R_I$
- Prikljupnik z raznimi upori za zahojevanje kabla
- Osciloskop Tektronix TDS-2072B z visokofrekvenčno sondijo

### Naloga

- Izmeriti hitrost svetlobe v kablu in določiti dielektriko konstanto izolacije E.
- Izmeri in narisaj diagram amplitudne napetosti na zacetku kabla  $U_0(\omega)$  kot funkcijo frekvenca  $\omega$  za vse zahojene impedance kabla.
  - Dopolj karakteristični upor kabla  $Z_0$  iz meritev frekvenčne odprtosti in izračunaj  $L'$  in  $C'$  iz znanih dimenzij kabla.

## Navodila:

Koaksialni kabel preko  $R_1 = 100 \Omega$  povezujemo na visokofrekvenčni generator. Na drugem koncu ga povezujemo na preklopnič (lifier). Lahko postopoma spremenjamo upornost zaličjučka. Zaličjučki je ohmski, torej  $Z_T = R_f = 0,5, 10, 15, 22, 33, 51, 100, 215, 560, \infty \Omega$ .

Z osciloskopom opazujemo napetost v različnih dolih vezj. (vendar osciloskop ima visoko impedanco in magnificno kapacitativnost da merjenega vezja ne izmoti).

Ačka USB kabla povezemo osciloskop in frekvenčni generator na računalnik, ki ima Nameščen program za Go razvoj. Program izmeri frekvenco na generatorju; izmerijo frekvenco in RMS signala. S pomočjo programa izredimo vse potrebne mere.

## Merite:

Merite sem zaradi epidemije prejel hot.exe datoteko.

Iz 2. grafu preberem, da imamo maksimum  $U_{RMS}$  pri:

$$\gamma_{max} = (6.2 \pm 0.1) \cdot 10^6 \text{ Hz}$$

V maksimumu velja  $\frac{1}{f} = l$ :

$$l = 4\ell \quad \ell = 28.16 \text{ m}$$

Hitrost pa sledi iz  $C = 1/P_{max}$

$$C = 0.58 \pm 0.01 \text{ } C_0$$

In  $E$  dobimo iz  $E = \left(\frac{C}{C_0}\right)^2$

$$E = 2.95 \pm 0.05$$

$$d = 0.8 \text{ mm}$$

$$D = 2.95 \text{ mm}$$

$$C' = C'l$$

$$L' = \frac{\mu_0}{2\pi} \ln \frac{D}{d}$$

$$L_0 = L'l$$

$$C' = 126 \pm 2 \text{ pF/m}$$

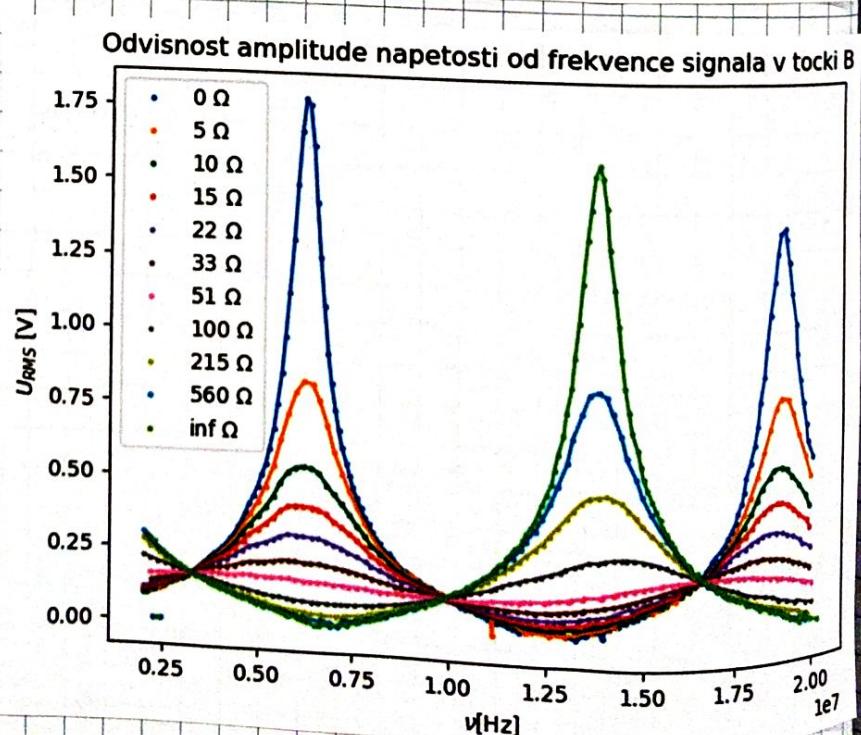
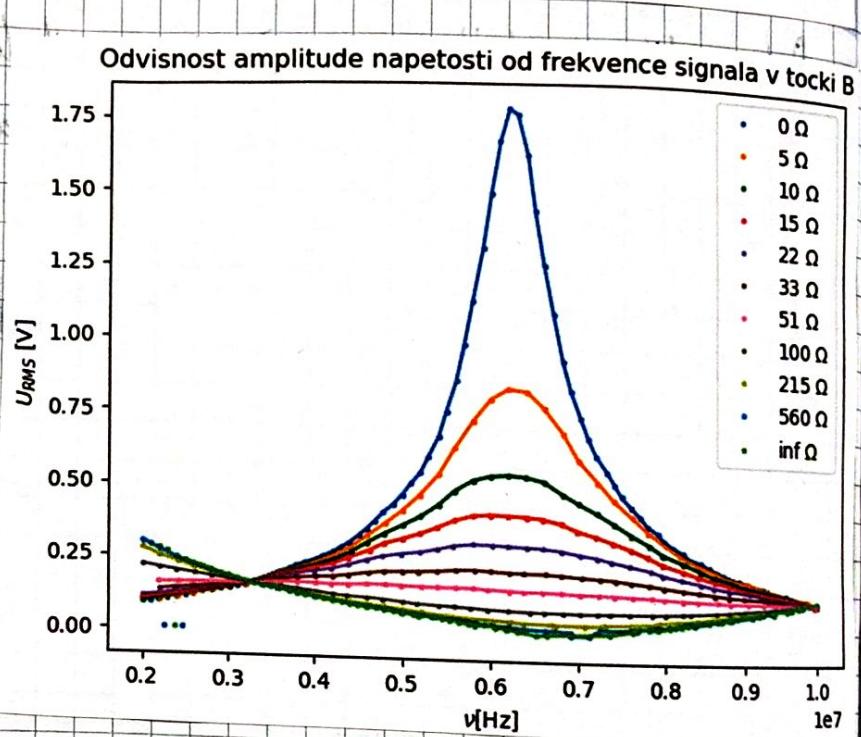
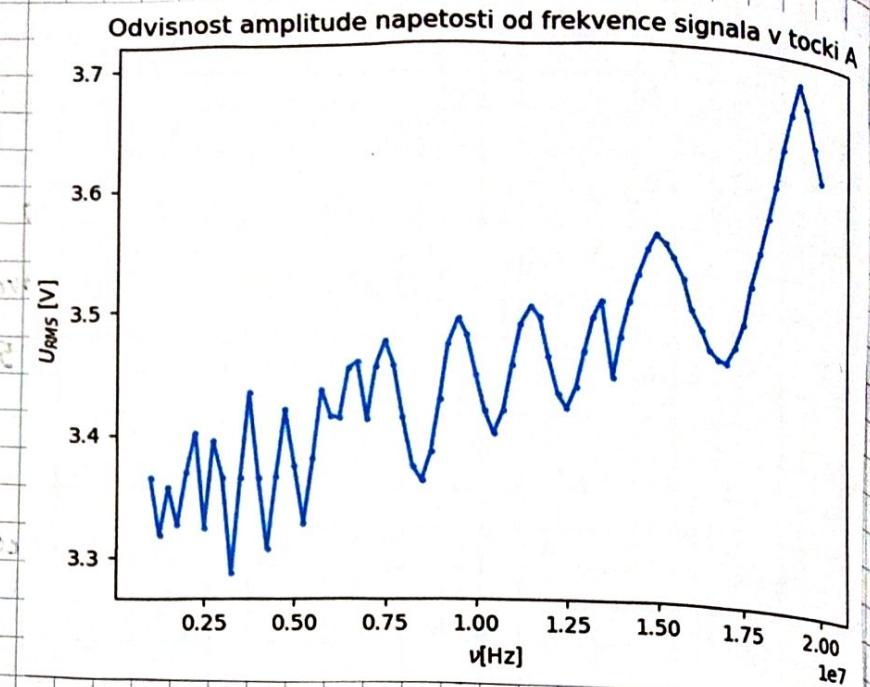
$$C = 890 \pm 10 \text{ pF}$$

$$L' = 0.26 \text{ } \mu\text{H/m}$$

$$L = 1.83 \text{ } \mu\text{H/m}$$

Dolžina je  $Z_0$ .  $Z_0 = \sqrt{\frac{L'}{C'}}$

$$Z_0 = 45.4 \pm 0.4 \Omega *$$



Izračunana karakteristična upornost in kapacitativnost se dobro ujemata s podatki v specifikacijah uvažljivega habla. Za induktivnost pa nisam iskangu, ne prepoznam oz. ne razumem enot.

Podane vrednosti iz specifikacij:  $Z_0 = 50 \pm 2 \Omega$ ,  $C' = 10 \frac{pF}{m}$ ,  $L' = \frac{23dB}{100m}$  pri  $100kHz$

\* Po prešnji sem za poiskus izračunal to napako po formuli

$$\Delta q = \sqrt{\left(\frac{\partial q}{\partial x} \Delta x\right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial q}{\partial z} \Delta z\right)^2}$$

$$Z_0 = Z_0(L', C')$$

$\Delta L' = 0 \rightarrow$  (za nici niso bile podane ali izračunate napake)

$$\Delta C' = 2 \cdot 10^{-12}$$

$$\frac{\partial Z_0}{\partial L'} = \frac{1}{2\sqrt{L'C'}}$$

$$\frac{\partial Z_0}{\partial C'} = \frac{\sqrt{L'}}{2\sqrt{C'^3}}$$

$$\Delta Z_0 = \sqrt{\left(\frac{1}{2\sqrt{L'C'}} \cdot \Delta L'\right)^2 + \left(\frac{\sqrt{L'}}{2\sqrt{C'^3}} \cdot \Delta C'\right)^2} =$$

$$= \sqrt{\left(\frac{\sqrt{L'}}{2\sqrt{C'^3}} \cdot \Delta C'\right)^2} = \frac{\sqrt{L'}}{2\sqrt{C'^3}} \cdot \Delta C' = \underline{\underline{0.36}}$$

$$\approx \underline{\underline{0.4}}$$