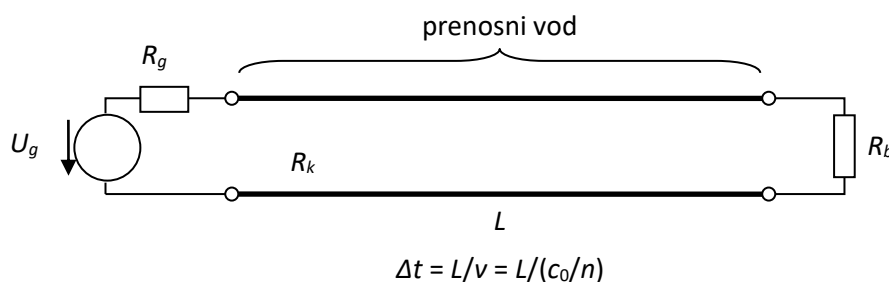


## Zvonjenje signala na prenosnem vodju

### Odboji in zvonjenje signala na prenosnem vodju

Pri velikih dolžinah vodnikov, ko električno vezje ni več zanemarljivo majhno, pojavi v vezju niso trenutni, ampak potrebujejo določen čas. Najenostavnejši primer je vir napetosti, povezan s poljubnim bremenom preko prenosnega voda določene (nezanemarljive) dolžine (slika 1). V tem primeru vir ne ve, kakšno breme je na koncu prenosnega voda in koliko je vod dolg, dokler signal ne prepotuje do konca voda in nazaj (v času  $2\Delta t$ ).

V času  $t < 2\Delta t$  vir čuti, kot svoje breme, le vod oz. njegovo karakteristično upornost  $R_k$ . Šele po preteku časa  $2\Delta t$  vir na svojem izhodu čuti vpliv upornosti dejanskega bremena  $R_b$ .



Slika 1: Primer dolgega prenosnega voda

Če je upornost bremena enaka karakteristični upornosti voda  $R_k$ , se ves signal porabi na bremenu, nič signala se ne vrne nazaj do vira in slednji ne bo nikoli izvedel, kaj in na kakšni razdalji je dejansko priključeno – vir ne bo ločil med bremenom z upornostjo  $R_k$  na razdalji 5 m ali med neskončno dolgim nezaključenim vodom.

Če upornost bremena ni enaka karakteristični upornosti voda  $R_k$ , se del signala od bremena odbije nazaj na vod in potuje v nasprotni smeri, od bremena proti viru. Odbojnost bremena z upornostjo  $R = R_b$ , priključenega na vod s karakteristično upornostjo  $R_k$ , je enaka

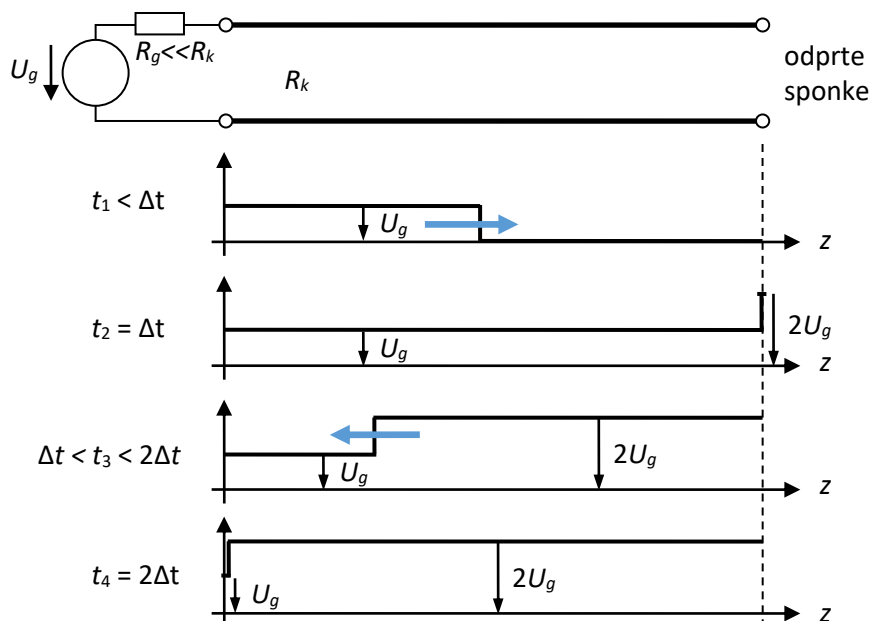
$$\Gamma = \frac{R - R_k}{R + R_k}. \quad (1)$$

Absolutna vrednost odbojnosti pasivnega bremena je vedno manjša ali enaka 1 ( $|\Gamma| \leq 1$ ), saj se moč na bremenu kvečjemu porabi. Odbojnost je neke vrste merilo za upornost, s tem, da gre za bistveno širši pojem. Odbojnost lahko namreč definiramo ne le pri električnem vezju, temveč tudi pri kateremkoli drugem fizikalnem pojavu, kot so elektromagnetno valovanje v praznem prostoru (vključno s svetlobnim valovanjem), zvočno valovanje.

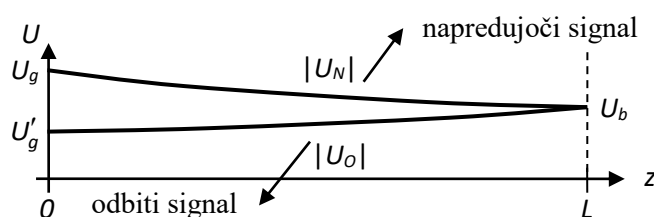
Podobne razmere, kot na bremenu, veljajo tudi na strani vira, ko ga povratni signal doseže. Če notranja upornost vira ni enaka karakteristični upornosti voda, se povratni signal zopet odbije proti bremenu. Odbojnost lahko zopet izračunamo po enačbi 1, pri čemer je  $R = R_g$ . Signal lahko tako potuje od enega konca voda do drugega in se pri tem večkrat odbija od obeh koncev. To se odraža v nihanju napetosti signala na obeh koncih voda, čemur pravimo zvonjenje signala.

Primer poteka napetosti signala na prenosnem vodju zaradi odbojev ob različnih časovnih trenutkih prikazuje slika 2. Slika prikazuje razmere ob idealnih pogojih, ko prenosni vod nima izgub. Pri praktičnih prenosnih vodih imamo opravka tudi z izgubami (npr. izgube v dielektriku koaksialnega kabla, končna prevodnost žile in oklopa, itd.), zaradi katerih

napetost ob prehodu iz enega konca voda do drugega nekoliko upade. Vpliv izgub in njihovo relacijo prikazuje slika 3.



Slika 2: Potek napetosti signala vzdolž prenosnega voda v različnih zaporednih trenutkih pri napetostnem viru z nizko upornostjo in odprtih sponkah na strani bremena



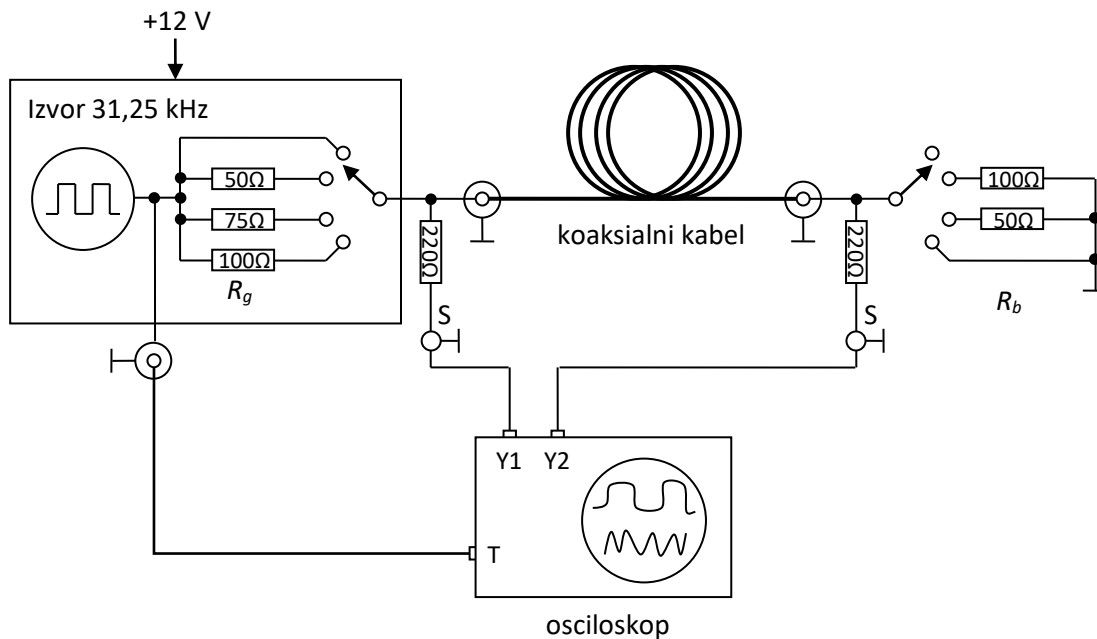
$$\alpha [\text{dB}] = 10 \log \frac{P_b}{P_g} = 10 \log \frac{U_b^2}{U_g^2} = 10 \log \frac{|U_N(L)|^2}{|U_N(0)|^2}$$

Slika 3: Vpliv izgub pri potovanju signala vzdolž prenosnega voda

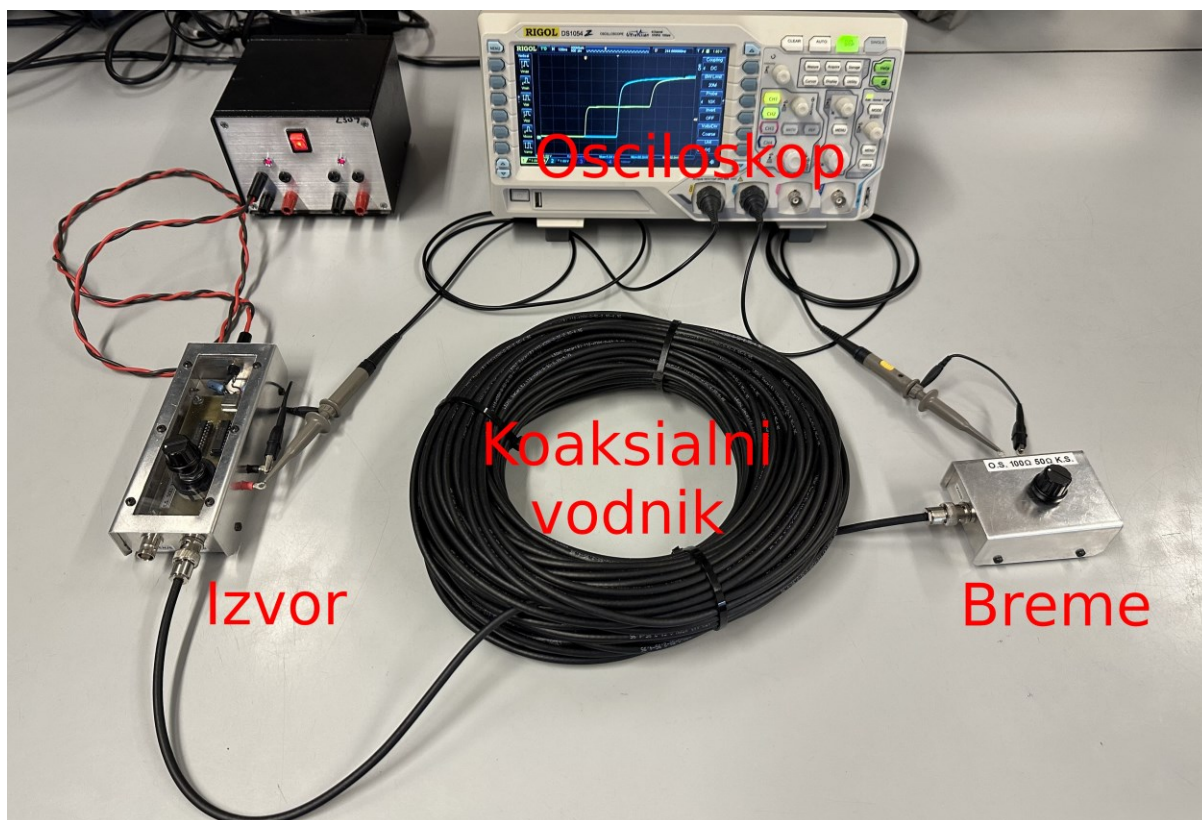
### Seznam potrebnih pripomočkov

Za izvedbo vaje potrebujemo:

- Izvor pravokotnega signala s frekvenco okrog 30 kHz in nizko izhodno upornostjo ter dodatnimi preklopnimi upori.
- Napajalnik za izvor pravokotnega signala.
- Koaksialni kabel neznane dolžine nekaj deset metrov.
- Zaključno breme s preklopnimi upori različnih upornosti.
- Osciloskop.
- Priključne kable za vse povezave.



Slika 4: Razporeditev in vezava merilnih pripomočkov



Slika 5: Slika in vezava merilnih pripomočkov

### Opis poteka vaje

Za opazovanje pojava zvonjenja signala moramo uporabiti kabel zadostne dolžine, da je čas prehoda od enega konca do drugega zlahka merljiv z dostopnimi instrumenti in so učinki zvonjenja dobro vidni. Pri vaji uporabimo koaksialni kabel dolžine nekaj deset metrov. Pojav najlažje opazujemo na zaporedju impulzov zadostnega trajanja, da pojav zvonjenja v času enega impulza že izzveni. Pri izbrani dolžini kabla je smiselna frekvenca ponavljanja impulzov

okrog 30 kHz. Kot izvor impulzov uporabimo vir s frekvenco 31,25 kHz in nizko izhodno upornostjo, ki približno ustreza kratkemu stiku vira. Zaporedno z virom lahko vključimo različne upore z upornostjo  $R = R_g$ , ki dajejo v kombinaciji s kablom karakteristične upornosti  $R_k = 50 \Omega$  različne odbojnosti vira po enačbi 1. Na izhod vira je priključen koaksialni kabel, ki je na koncu zaključen z različnimi bremenskimi upori. Med več uporabnimi vrednosti izbiramo s preklopnikom.

Del signala na začetku in koncu kabla vodimo na osciloskop preko visokoohmskih sond, ki neznatno vplivajo na delovanje poskusa, vplivajo pa lahko na prikazano sliko na zaslonu osciloskopa. Tudi na povezovalnih kablkih sond osciloskopa namreč prihaja do odbojev signala, kar se na končni sliki na zaslonu osciloskopa opazi kot kratko zvonjenje ob prehodnih pojavih impulzov (na začetku in koncu impulzov). Z namenom zadušitve zvonjenja signala na sondah so le-te priključene na opazovane točke zveze preko zaporednih 220-ohmskih uporov, kot je prikazano na sliki 4.

Z vklapljanjem različnih upornosti na strani vira in bremena vzpostavimo različne odbojnosti na posameznih koncih kabla in s tem različen rezultat zvonjenja signala. Iz časovnih potekov lahko razberemo različne značilne podatke naše zveze preko kabla. Iz zakasnitev odbojev lahko razberemo točno dolžino uporabljenega koaksialnega kabla.

### Naloga

1. Poiščite podatkovni list uporabljenega koaksialnega kabla, izpišite karakteristično upornost  $R_k$ , ter faktor hitrosti valovanja v kablju  $v/c_0$ .
2. Na osciloskopu si oglejte in skicirajte ter ustrezno označite časovne poteke signala na začetku in koncu koaksialnega kabla štirih (4) izbranih kombinacij zaporedne upornosti vira (kratek stik – K.S., 50  $\Omega$ , 75  $\Omega$ , 100  $\Omega$ ) in upornosti bremena (kratek stik – K.S., 50  $\Omega$ , 100  $\Omega$ , odprte sponke – O.S.). Za vse skicirane upornosti vira in bremena tudi izračunajte pripadajoče vrednosti odbojnosti, ter na skici označite izmerjene napetosti signala.
3. Izberite si še dve (2) različni kombinaciji zaporedne upornosti vira in upornosti bremena in ju skicirajte na graf. Izračunajte tudi pripadajoče vrednosti odbojnosti, ter na skici označite izmerjene napetosti signala.
4. Z meritvijo zakasnitve izračunajte dolžino uporabljenega kabla.