

## VAJA 3: Frekvenčna odvisnost slabljenja in faznega zasuka kabla

### 1. Slabljenje in fazni zasuk kabla

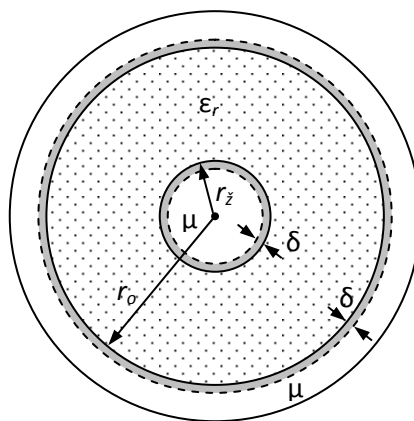
V koaksialnem kablu se srečujemo z dvema vrstama izgub. To so izgube v dielektriku (zaradi nečistoč v dielektričnem materialu) in izgube v vodniku (zaradi končne prevodnosti kovine, npr. bakra). Izgube v dielektriku lahko z ustreznim tehnološkim postopkom izdelave dielektrika znatno zmanjšamo, izgube v vodniku pa ostanejo in so glavni omejevalni faktor pri prenosu signala prek kabla.

Izgube v kovini so predvsem posledica kožnega pojava v kovini, zaradi katerega večina toka teče le po tanki plasti na površini kovine, kot prikazuje Slika 1. Debeleni plasti pri kožnem pojavu pravimo vdorna globina  $\delta$  in je podana kot

$$\delta = \sqrt{\frac{2\rho}{\omega\mu}}.$$

Izgubna upornost kovine je podana kot

$$R = \frac{\rho L}{A} = \frac{\rho L}{o \cdot \delta} = \frac{L}{o} \sqrt{\frac{\omega\mu\rho}{2}} = \alpha \sqrt{f}.$$



Slika 1: Ponazoritev kožnega pojava v koaksialnem kablu

Izgube v kovini torej naraščajo s korenem frekvence, medtem ko izgube v dielektriku naraščajo linearno s frekvenco. Izgube vodnika se še dodatno povečajo, če je ta iz feromagnetnega materiala ( $\mu > \mu_0$ ). Vrednost izgub običajno podajamo v logaritemskih enotah (decibeli). Za enosmerne signale ( $f = 0$ ) so izgube v koaksialnem kablu podane kot

$$\alpha[\text{dB}] = \frac{10}{\ln 10} \frac{\rho L}{Z_k A},$$

za izmenične signale ( $f \neq 0$ ) pa se enačba preoblikuje v

$$\alpha[\text{dB}] = \frac{10}{\ln 10} \frac{\sqrt{\epsilon_r} L}{Z_0} \sqrt{\frac{\omega\rho\mu}{2}} \frac{\frac{1}{r_z} + \frac{1}{r_o}}{\ln \frac{r_o}{r_z}}; \quad \omega = 2\pi f.$$

Iz enačbe je razvidno, da lahko na slabljenje kabla vplivamo z izbiro ustreznih dimenzij žile ( $r_z$ ) in oklopa ( $r_o$ ).

Koaksialni kabel s svojo dolžino povzroči tudi določen fazni zasuk signala. Ta je odvisen od frekvence signala, dolžine kabla in hitrosti potovanja signala po kablu po enačbi

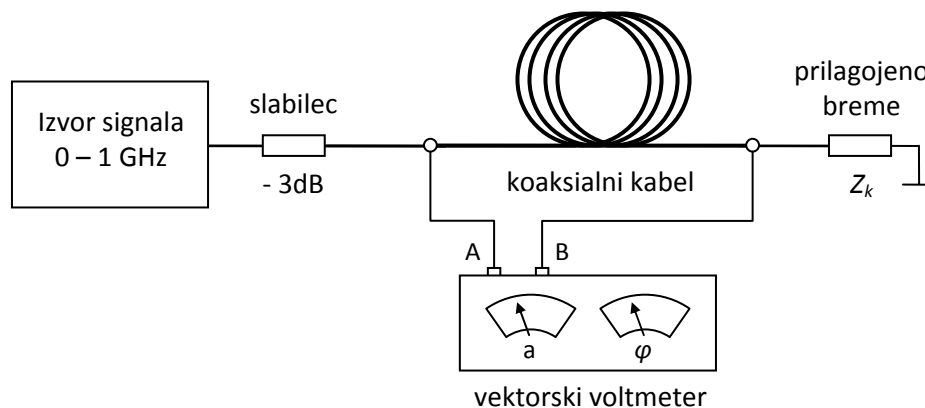
$$\varphi = kL = (\omega/v)L.$$

## 2. Seznam potrebnih pripomočkov

Za izvedbo vaje potrebujemo:

- Izvor izmeničnega signala v frekvenčnem področju 0 do 1 GHz z izhodno močjo do 0 dBm (1 mW) na 50-ohmskem bremenu.
- Vektorski voltmeter za dano frekvenčno področje.
- Koaksialni kabel neznane dolžine nekaj deset metrov.
- Slabilnik 3 dB.
- Zaključno prilagojeno breme.

Razporeditev in vezava merilnih pripomočkov je prikazana na Sliki 2.



Slika 2: Vezava merilnih instrumentov

## 3. Obrazložitev in opis poteka vaje

Slabljenje kabla pri različnih frekvencah lahko merimo kot razmerje med močjo sprejetega in oddanega signala na opazovanem kablu. Pri tem slabljenje običajno podajamo v decibelskih enotah. Relacija za izračun je tako

$$a[\text{dB}] = 10 \log \left( \frac{P_{izh}}{P_{vh}} \right) = P_{izh}[\text{dBm}] - P_{vh}[\text{dBm}].$$

Podobno lahko z meritvijo faze na vходу in izhodu iz kabla izmerimo fazni zasuk kabla pri dani frekvenci. Faza je podana le kot razlika med dejanskim faznim zasukom in celim številom period signala.

Meritve bomo izvajali v frekvenčnem pasu od 0 do 1 GHz, za kar potrebujemo ustrezen generator izmeničnega signala z nastavljivo frekvenco signala. Izhodna moč generatorja naj bo okrog 0 dBm, pri čemer damo na izhod generatorja še slabilec vrednosti 3 dB, da izhod zaščitimo pred morebitnimi odboji. Signal vodimo na koaksialni kabel, ki naj bo na drugem koncu zaključen s prilagojenim bremenom, da na kablu nimamo odbojev.

Meritev lahko enostavno opravimo z uporabo vektorskega voltmetra, ki meri amplitudo in fazo signala na dveh vhodih.

Iz znane točne fazne razlike med dvema signaloma različnih frekvenc ter znane hitrosti potovanja signala po kablu lahko izračunamo dolžino kabla.

## 4. Prikaz značilnih rezultatov

Kot značilne rezultate vaje izmerimo slabljenje in fazni zasuk kabla pri različnih frekvencah v frekvenčnem pasu od 0 do 1GHz ter izmerjene rezultate prikažemo na grafu. Iz fazne razlike med dvema znanima frekvencama signalov izračunamo dolžino uporabljenega kabla.