

Frekvenčne lastnosti koaksialnega kabla

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, na izgube v vodniku pa lahko nekoliko vplivamo le z izbiro bolj prevodnih materialov, pri čemer pa smo omejeni s samimi naravnimi lastnostmi. Zato izgube v vodniku predstavljajo glavni omejevalni faktor pri prenosu signala preko kabla.

Izgubna upornost kovine za enosmerne signale je podana kot

$$R = \frac{\rho L}{A} \quad (1.1)$$

pri čemer je ρ *specifična upornost kovine*, L *dolžina vodnika* in A *preseka vodnika* (žile oz. oklopa). Iz izgubne upornosti izhaja relacija za vrednost izgub, ki so običajno podane v logaritemskih enotah (*decibeli* – dB). Za enosmerne signale ($f = 0$ Hz) so tako izgube v vodniku podane kot

$$\alpha[\text{dB}] = \frac{10}{\ln 10} \frac{\rho L}{Z_k A} \quad (1.2)$$

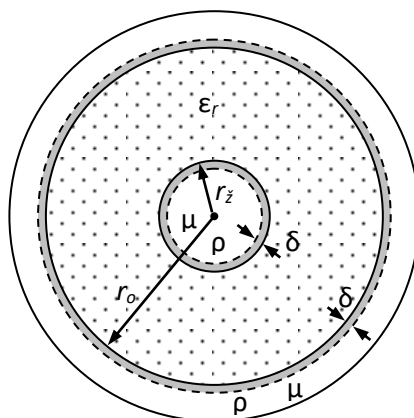
Pri višjih frekvencah izgube v vodniku naraščajo kot posledica kožnega pojava (*ang. skin effect*) v kovini, zaradi katerega večina toka teče le po tanki plasti na površini kovine, kot prikazuje Slika 1. Na ta način se namreč upornost kovine poveča. Debelini plasti pri kožnem pojavu pravimo vdorna globina δ in je podana kot

$$\delta = \sqrt{\frac{2\rho}{\omega\mu}}; \quad \omega = 2\pi f. \quad (1.3)$$

Izgubna upornost kovine je tedaj podana kot

$$R = \frac{\rho L}{A} = \frac{\rho L}{o \cdot \delta} = \frac{L}{o} \sqrt{\frac{\omega\mu\rho}{2}} = w \sqrt{f}. \quad (1.4)$$

Pri tem je o *obseg vodnika* (žile oz. oklopa), μ *permeabilnost kovine*, f *frekvenca signala*, ω *krožna frekvenca*, w pa *sorazmernostna konstanta*.



Slika 1: Ponazoritev kožnega pojava v koaksialnem kablu.

Pri visokih frekvencah ($f \neq 0$) tako za vrednost izgub dobimo naslednjo relacijo:

$$\alpha[\text{dB}] = \frac{10}{\ln 10} \frac{\sqrt{\epsilon_r} L}{Z_0} \sqrt{\frac{\omega \rho \mu}{2}} \frac{\frac{1}{r_z} + \frac{1}{r_o}}{\ln \frac{r_o}{r_z}}. \quad (1.5)$$

Izgube v kovini torej naraščajo s korenom frekvence, medtem ko izgube v dielektriku naraščajo linearno s frekvenco. Izgube vodnika se še dodatno povečajo, če je ta iz feromagnetnega materiala ($\mu > \mu_0$). Iz zadnje 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

$$\varphi = kL = (\omega / v)L; \quad \omega = 2\pi f. \quad (1.6)$$

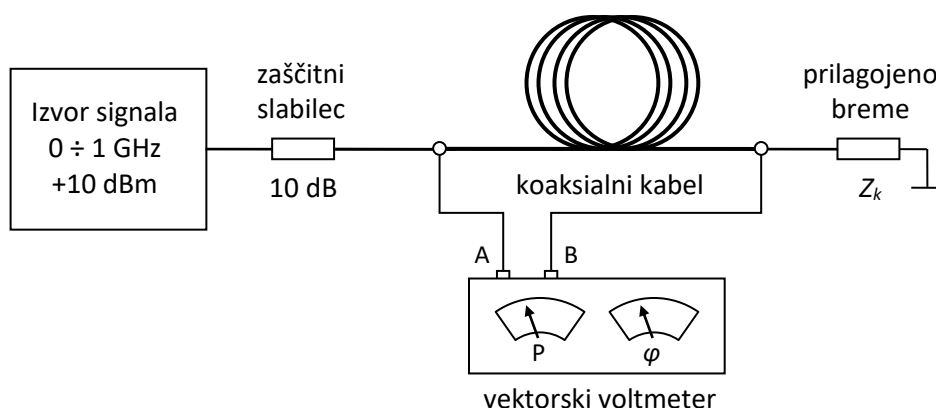
Tako dobljen fazni zasuk je podan v radianih (rad).

Seznam potrebnih pripomočkov

Za izvedbo vaje potrebujemo:

- Izvor izmeničnega signala v frekvenčnem področju 0 do 1 GHz z izhodno močjo do 10 dBm (10 mW) na 50-ohmskem bremenu
- Vektorski voltmeter za dano frekvenčno področje
- Koaksialni kabel neznane dolžine nekaj deset metrov
- Zaščitni 10 dB slabilec
- Zaključitveno (prilagojeno) breme

Postavitev merilnih pripomočkov prikazuje Slika 2, razporeditev pa Slika 3.



Slika 2: Skica vezave merilnih pripomočkov



Slika 3: Slika vezave merilnih pripomočkov

Opis poteka vaje

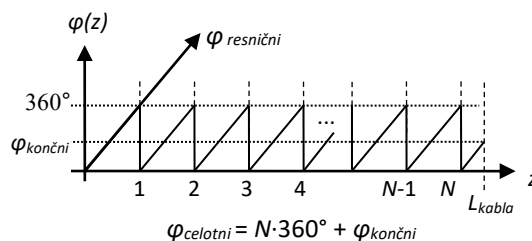
Meritve izvedemo v frekvenčnem pasu od 0 do 1 GHz, za kar potrebujemo ustrezen vir izmeničnega signala z nastavljivo frekvenco signala. Vhodna moč v kabel naj bo 0 dBm. Pri tem med vir in kabel vstavimo še ustrezen zaščitni slabilec signala, da ob morebitni maksimalni izhodni moči vira ne moremo prekrmiti vektorskega voltmetra. Nastavljena izhodna moč vira naj bo tako za uporabljen slabilec večja od 0 dBm. Signal vodimo na koaksialni kabel, ki naj bo na drugem koncu zaključen s prilagojenim bremenom, da na kablu nimamo odbojev.

Za meritve slabljenja kabla in fazne zakasnitve bomo uporabili vektorski voltmeter. S slednjim izmerimo moč signala na vhodu in na izhodu iz kabla, razmerje obeh vrednosti pa predstavlja slabljenje kabla. Pri tem se moč običajno podaja in meri v logaritemskih enotah (dBm), slabljenje pa posledično podajamo v decibelih in je kar razlika moči v dBm. Relacije so sledeče:

$$\text{Moč: } P[\text{dBm}] = 10 \log \frac{P}{1\text{mW}}, \quad (3.1)$$

$$\text{Slabljenje: } a = \frac{P_{izh}}{P_{vh}} \rightarrow a[\text{dB}] = 10 \log(a) = 10 \log \left(\frac{P_{izh}}{P_{vh}} \right) = P_{izh}[\text{dBm}] - P_{vh}[\text{dBm}]. \quad (3.2)$$

Vektorski voltmeter poleg moči signalov meri tudi fazno razliko med obema signaloma, torej fazni zasuk kabla, pri čemer prikaže fazo le od 0° do 360° (oziroma od -180° do $+180^\circ$). Pri tem predstavlja izmerjena faza le fazni preostanek, ki pri dani frekvenci prekorači celo število period signala, saj je dejanski fazni zasuk v merjencu lahko večji od 360° . Fazni zasuk dobimo tako, da frekvenco signala postopoma povečujemo od najnižje navzgor ter pri tem štejemo celo število period, kjer prikazana faza na vektorskem voltmetru preskoči za eno periodo. Pri meritvi lahko celo število period preštejemo le za določeno frekvenčno razliko oz. korak Δf , od tu naprej pa nadaljujemo z višanjem frekvence z enakim korakom, pri čemer se število celih period linearno prišteva in lahko merimo le še preostanek faze. Tako znaša celotni fazni zasuk kabla $N \cdot 360^\circ + \varphi_{končni}$. Zgled preskokov faze na vektorskem voltmetru prikazuje Slika 4.



Slika 4: Prikaz preskokov faze na vektorskem voltmetru

**FE**UNIVERZA V LJUBLJANI
Fakulteta za elektrotehniko**ISO**Laboratorij za
sevanje in optiko

Pri meritvah faze moramo tako biti previdni na preskoke merilnika faze, saj je območje omejeno na 360° . Zato začnemo meriti fazo pri najnižji frekvenci in opazujemo spremembe faze z majhnimi spremembami frekvence vira. Ko ugotovimo spremembe faze na določen frekvenčni korak, lahko začnemo meriti fazo z večjim frekvenčnim korakom in upoštevamo preskoke faze na merilniku.

Iz znane dejanske fazne razlike med dvema signaloma različnih frekvenc ter znane hitrosti potovanja signala po kablu lahko izračunamo dolžino kabla. Pri tem moramo izmerjeno fazo v stopinjah najprej pretvoriti v radiane.

Naloga

1. Izmerite slabljenje in celotni fazni zasuk kabla v območju od 0 do 1 GHz
2. Oba poteka izrišite na graf.
3. Iz fazne razlike med dvema znanima frekvencama signalov in hitrosti potovanja signala po kablu izračunajte dolžino uporabljenega kabla.