

VAJA 9: Merjenje odbojnosti antene z mostičnim reflektometrom

1. Merjenje odbojnosti z mostičnim reflektometrom

Z višanjem frekvence v področje radijskih valov postaja meritev impedance vse bolj nerodna, saj je treba upoštevati vsaj parazitne kapacitivnosti in induktivnosti priključkov merilnika. Pri še višjih frekvencah, v mikrovalovnem področju, imamo med merilnikom in merjencem vedno kos visokofrekvenčnega voda, ki predstavlja porazdeljeno induktivnost in kapacitivnost. Ne glede na način delovanja merilnika sledi sami meritvi zamudno preračunavanje izmerjene vrednosti v točno impedanco merjenca. Končno, v milimetrskem mikrovalovnem področju in naprej v optiki uporabljamo kot prenosne vode izključno valovode, na katerih ne moremo meriti tokov in napetosti niti definirati impedance.

V radijskem frekvenčnem področju, v mikrovalovih in v optiki zato uporabljamo drugačne veličine za opisovanje lastnosti bremena. Najbolj uporabna veličina je odbojnost bremena. Odbojnost definiramo glede na uporabljeni prenosni vod – žični dvovod, koaksialni kabel, kovinski valovod ali optično vlakno. Na vseh vrstah vodov, kjer lahko enoveljavno določimo tok in napetost, obstaja tudi obojestranska enoveljavna povezava med odbojnostjo in impedanco bremena. Odbojnost označimo s črko Γ in je z impedanco bremena povezana prek enačbe

$$\Gamma = \frac{Z - Z_k}{Z + Z_k}; \quad 0 < |\Gamma| < 1. \quad (9.1)$$

Pri tem je Z impedanca bremena, Z_k pa referenčna impedanca (običajno 50 Ω). Odbojnost je torej definirana glede na neko referenčno impedanco. Je neimenovano kompleksno število, njena velikost (absolutna vrednost) pa je med 0 in 1. Pri tem pomeni $|\Gamma| = 0$ popolnoma prilagojeno breme, $|\Gamma| = 1$ pa popolnoma neprilagojeno breme (kratek stik ali odprte sponke – impedanca 0 Ω ali ∞).

Odbojnost predstavlja razmerje med amplitudama napredujočega in odbitega vala na visokofrekvenčnem vodu. Od velikosti (absolutne vrednosti) odbojnosti zato zavisi valovitost ali razmerje stojnega vala na vodu (*angl. standing wave ratio – SWR*). Valovitost je neimenovano realno število med 1 in neskončno (∞) ter ga označimo z ρ oziroma kratico *SWR* (včasih *VSWR – Voltage SWR*). Relacija med odbojnostjo in valovitostjo je naslednja:

$$\rho = SWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}; \quad 1 < \rho < \infty \quad (9.2)$$

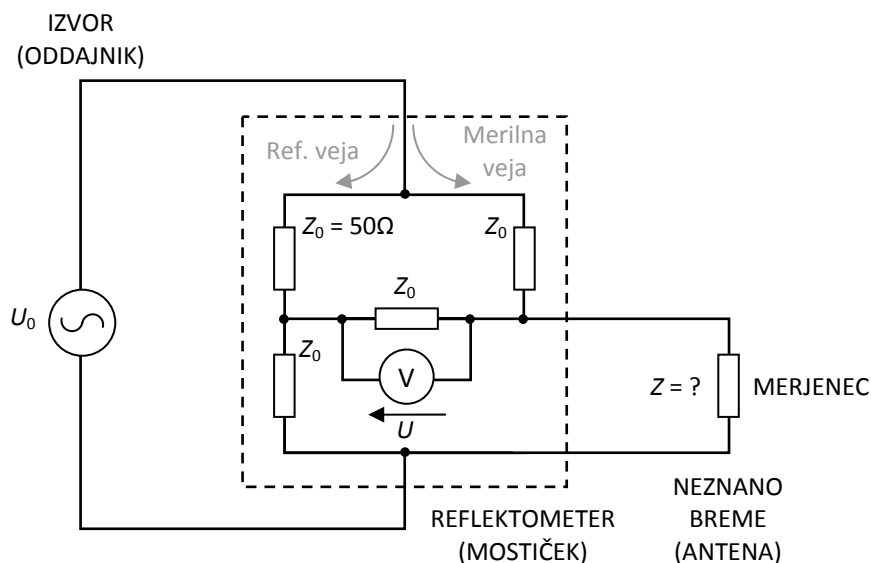
Velikost odbojnosti pogosto podajamo v logaritemskih enotah, decibelih (dB), pri čemer je relacija med linearno in logaritemsko odbojnostjo sledeča:

$$|\Gamma|[\text{dB}] = 20 \log |\Gamma|; \quad |\Gamma|[\text{dB}] \leq 0 \text{ dB} \quad (9.3)$$

Odbojnost lahko merimo na več različnih načinov – z merilnim vodom z utorom in sondo, s smernim sklopnikom ali pa z mostičkom. Če uporabimo mostiček ter na eno vejo priključimo referenčno breme, na drugo pa neznano breme, imamo opravka z mostičnim reflektometrom. Mostični reflektometer temelji na principu Wheatstone-ovega mostiča (*angl. Wheatstone bridge*). Princip delovanja mostičnega reflektometra prikazuje Slika 1. Vhodni signal iz generatorja razdelimo na dve simetrični veji, na eno povežemo znano referenčno breme (50 Ω), na drugo pa neznani merjenec. Zaradi razlike impedanc referenčnega in neznanega bremena se med njima pojavi napetostna razlika, ki je premosorazmerna absolutni vrednosti odbojnosti $|\Gamma|$ neznanega bremena, kot ponazarja

enačba (9.4), ki se nanaša na Sliko 1. Na ta način lahko torej enostavno merimo velikost odbojnosti.

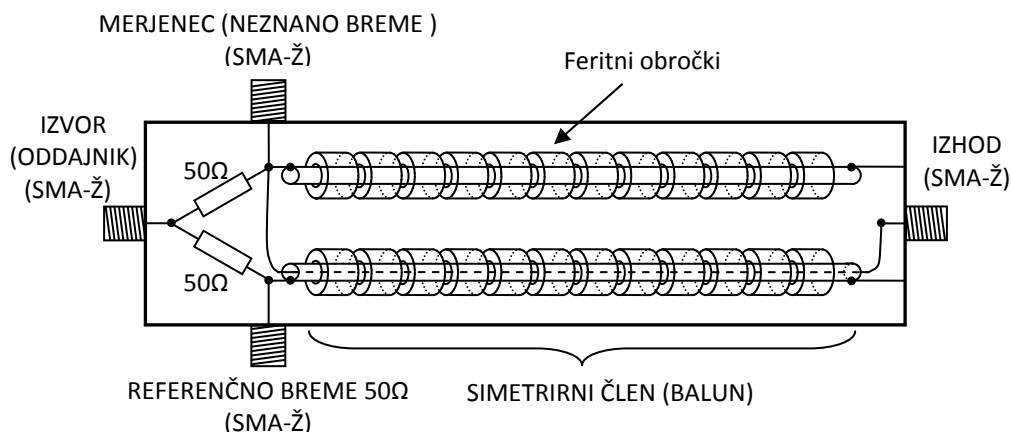
$$U = \frac{U_0}{5} \frac{Z - Z_0}{Z + Z_0} = \frac{U_0}{5} |\Gamma|; \quad Z_0 = 50 \, \Omega \quad (9.4)$$



Slika 1: Princip delovanja mostičnega reflektometra

Sposobnost mostičnega reflektometra, da razlikuje med obema vejama mostička, imenujemo smernost (*angl. directivity*). Smernost je enaka odbojnosti, ki nam jo pokaže mostični reflektometer, ko na obe veji mostička priključimo enaki bremenoma (npr. 50 Ω). Smernost določa točnost meritve z reflektometrom – rezultat meritve velikosti odbojnosti lahko odstopa navzgor ali navzdol natančno za vrednost smernosti.

Pri mostičnem reflektometru je smernost neposredno povezana s simetrijo vezja. Za detekcijo napetostne razlike med priključenima bremenoma lahko uporabimo simetrični člen ali t.i. BALUN (*angl. BALanced-UNbalanced transformer*) ali pa diodni usmernik. Pri izvedbi z diodo potrebujemo za prikaz odbojnosti enosmerni voltmeter, saj dioda usmeri razliko visokofrekvenčnih signalov obeh vej mostička. Izvedba s simetrirnikom pa potrebuje visokofrekvenčni merilnik (ponavadi spektralni analizator ali pa merilnik moči). Načrt mostičnega reflektometra s simetrirnikom prikazuje Slika 2. Simetrični člen poskrbi za preslikavo simetričnega izhoda iz obeh vej mostička na asimetrični izhod vezja (koaksialni konektor) z impedančno preslikavo 1:1.



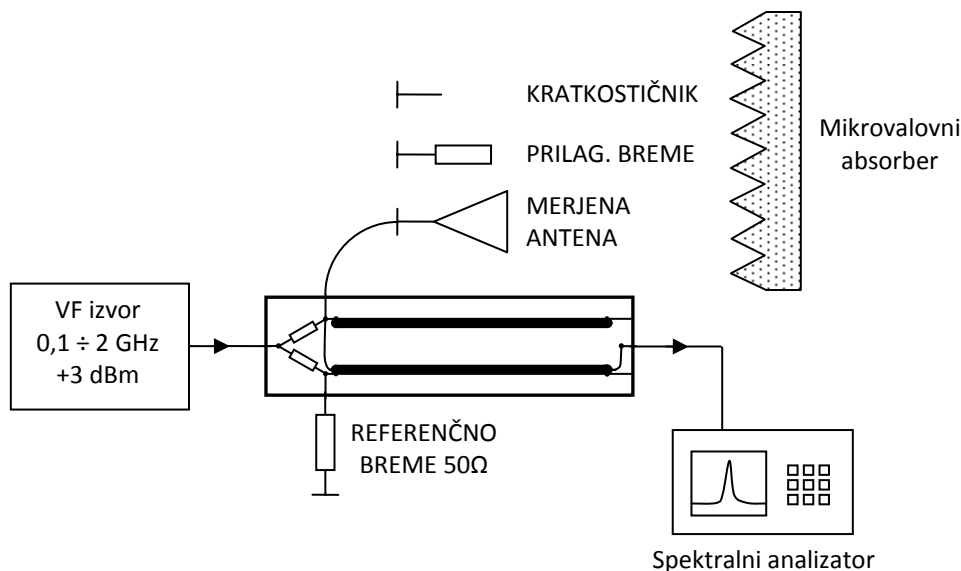
Slika 2: Načrt mostičnega reflektometra

2. Seznam potrebnih pripomočkov

Za izvedbo vaje potrebujemo:

- Izvor v frekvenčnem področju 100 MHz do 2 GHz izhodne moči +3 dBm.
- Mostični reflektometer s simetričnim členom.
- Visokofrekvenčni spektralni analizator.
- Merjenec – TEM lijakasto anteno.
- Prilagojeno koaksialno breme in koaksialni kratek stik.
- Ploščo mikrovalovnega absorberja.
- Priključne kable za vse povezave.

Razporeditev in vezava merilnih pripomočkov je prikazana na Sliki #.



Slika 3: Razporeditev in vezava merilnih pripomočkov

3. Obrazložitev in opis poteka vaje

Pri vaji merimo odbojnost bremena preko meritve izhodne moči signala iz mostička na spektralnem analizatorju ob znani moči vhodnega signala. Kot je razvidno iz enačbe (9.4), je izhodna napetost sorazmerna amplitudi odbojnosti, od nje pa se razlikuje za faktor $U_0/5$. Če merimo moči in ne napetosti ter odbojnost izrazimo v logaritemskih enotah (dB), dobimo za odbojnost naslednjo relacijo:

$$|\Gamma|[\text{dB}] = 10 \log \left[\left(\frac{5 \cdot U}{U_0} \right)^2 \right] = 10 \log \left(25 \cdot \frac{P}{P_0} \right) = P[\text{dBm}] - P_0[\text{dBm}] + 10 \log(25) \quad (9.5)$$

$$|\Gamma|[\text{dB}] \approx P[\text{dBm}] - P_0[\text{dBm}] + 14 \text{ dB}$$

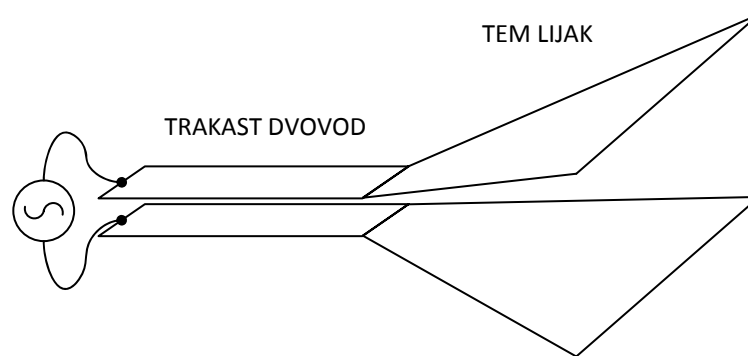
Odbojnost merjenca je tako za okrog 14 dB večja od izmerjene razlike izhodne in vhodne moči signala. Pri tem se je še potrebno zavedati, da preko meritve moči ne moremo izmeriti tudi predznaka odbojnosti, torej ali je impedanca neznanega bremena večja ali manjša od referenčne impedance, ampak le absolutno vrednost.

Meritev najprej izvedemo za kratkostično breme, ki ima po teoriji absolutno vrednost odbojnosti $|\Gamma|$ enako 1 oz. 0 dB. Pri tem preverimo, če je odbojnost konstantna preko

celotnega opazovanega frekvenčnega pasu 100 MHz do 2 GHz in če drži relacija med odbojnostjo in izmerjeno močjo po enačbi (9.5). Na spektralnem analizatorju si po potrebi prilagodimo skalo tako, da bo nivo izhodne moči iz mostičnega reflektometra pri kratkostičnem bremenu predstavljal "ničlo" za meritev odbojnosti $|\Gamma|$.

V drugem delu meritve priključimo na merilni izhod mostička prilagojeno koaksialno breme ($50\ \Omega$), ki nam predstavlja idealno prilagoditev ($|\Gamma| = 0 = -\infty\ \text{dB}$). Izmerjena vrednost odbojnosti nam v tem primeru predstavlja smernost samega mostička, ki nam kot rečeno omejuje merilno točnost.

V zadnjem delu vaje pomerimo še odbojnost neznane antene – TEM lijaka. TEM lijak je preprosta oblika antene, pri kateri visokofrekvenčni signal vodimo po trakastem dvovodu, ki se na koncu razpre v "pahljačo". Skico TEM lijakaste antene prikazuje Slika 4. Ker tako anteno običajno napajamo preko koaksialnega priključka je potreben še prilagoditveni člen (BALUN) iz asimetričnega koaksialnega priključka na simetričen trakasti dvovod.



Slika 4: Načrt TEM lijakaste antene

4. Prikaz značilnih rezultatov

Pri vaji izmerimo odbojnost kratkega stika, prilagojenega bremena in neznane antene v frekvenčnem pasu 100 MHz do 2 GHz. Glede na vrsto uporabljene antene (TEM lijak) bo izmerjena odbojnost zelo visoka na nizkih frekvencah, pod določeno mejno frekvenco. Na gornjem koncu frekvenčnega področja pa bo odbojnost razmeroma nizka, saj je antena izdelana za to frekvenčno področje.

Izmerjene frekvenčne poteke odbojnosti za vse tri merjence tudi narišemo na graf.