

Merjenje odbojnosti z mostičnim reflektometrom

Merjenje odbojnosti z mostičnim reflektometrom

Z višanjem frekvence v področje radijskih valov postaja meritev impedance vse bolj nerodna, saj je potrebno upoštevati, med drugim, tudi 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

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

Pri tem je Z impedanca bremena, Z_k pa referenčna impedanca (običajno 50Ω). 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 0Ω 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 (*ang. standing wave ratio – SWR*). Valovitost je neimenovano realno število med 1 in neskončno (∞) ter ga označimo z ρ oziroma s kratico *SWR* (včasih *VSWR – Voltage SWR*). Relacija med odbojnostjo in valovitostjo je naslednja:

$$\rho = SWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}; \quad 1 < \rho < \infty \quad (2)$$

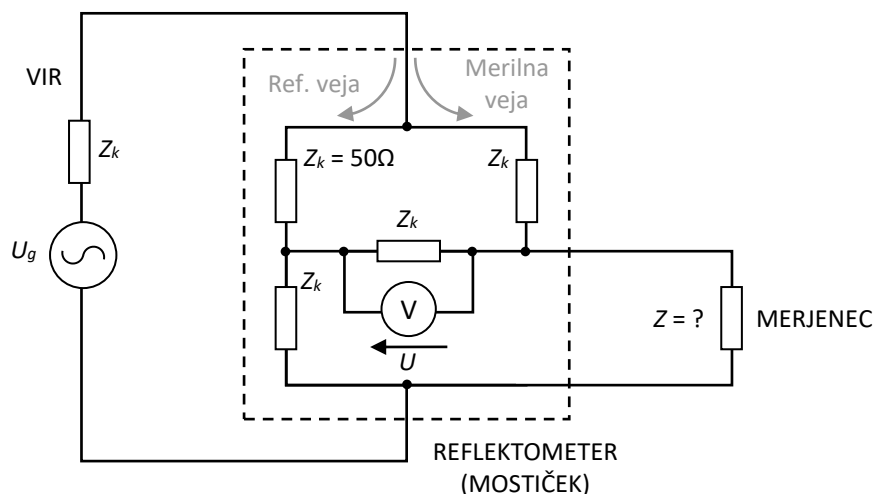
Velikost odbojnosti pogosto podajamo v logaritemskih enotah (decibelih), pri čemer je relacija med linearno in logaritemsko odbojnostjo sledeča:

$$\Gamma_{dB} = 20 \log |\Gamma|; \quad \Gamma_{dB} \leq 0 \text{ dB} \quad (3)$$

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 (*ang. Wheatstone bridge*). Princip delovanja mostičnega reflektometra prikazuje Slika 1. Vhodni signal iz vira razdelimo na dve simetrični veji, na eno povežemo znano referenčno breme (50Ω), na drugo pa neznani merjenec. Zaradi razlike impedanc (odbojnosti) referenčnega in neznane

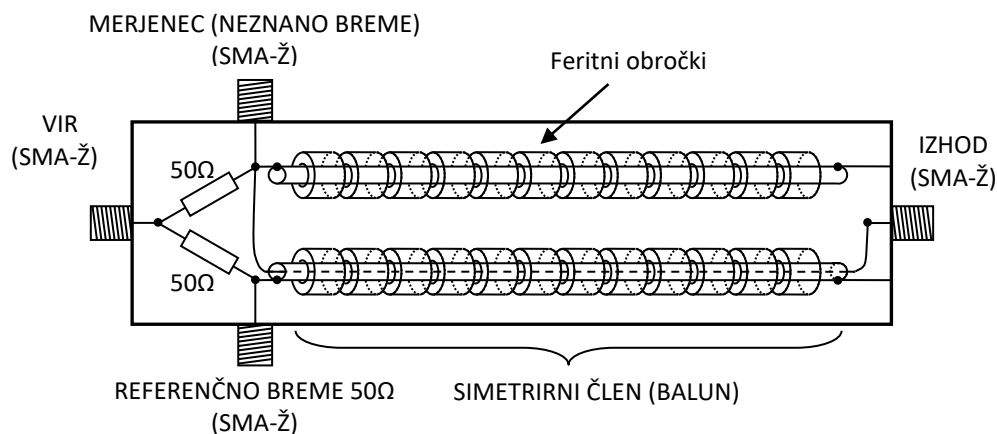
bremena se med njima pojavi napetostna razlika, ki je premo sorazmerna odbojnosti Γ neznanega bremena, kot ponazarja enačba 4.

$$U = \frac{U_g}{8} * \frac{Z - Z_k}{Z + Z_k} = \frac{U_g}{8} * \Gamma; \quad Z_k = 50 \Omega \quad (4)$$



Slika 1: Princip uporabe mostička.

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



Slika 2: Načrt mostičnega reflektometra.

Pri mostičnem reflektometru je smernost neposredno povezana s simetrijo vezja. Za detekcijo napetostne razlike med priključenima bremenoma lahko uporabimo simetrirni člen ali t.i. BALUN (*ang. BALAnced to UNbalanced*) ali pa diodni usmernik s pripadajočima prikazovalnikoma. 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 (po navadi spektralni analizator ali pa merilnik moči). Spektralni analizator oziroma merilnik moči ne merita faze signala, zato ne moremo vedeti

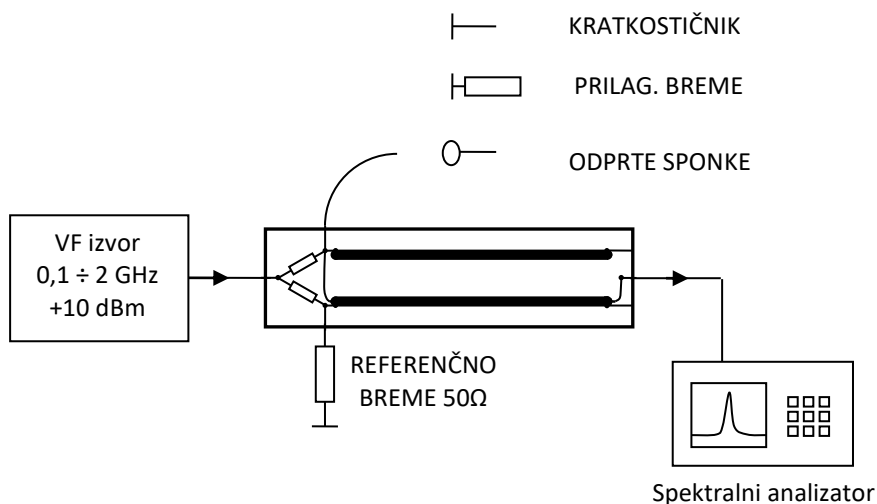
faze izmerjene odbojnosti. Načrt mostičnega reflektometra s simetriznikom prikazuje Slika 2. Simetrizni člen poskrbi za preslikavo simetričnega izhoda iz obeh vej mostička na asimetrični izhod vezja (koaksialni konektor) z impedančno preslikavo 1:1.

Seznam potrebnih pripomočkov

Za izvedbo vaje potrebujemo:

- izvor v frekvenčnem področju od 100 MHz do 2 GHz izhodne moči +10 dBm
- mostični reflektometer s simetriznim členom
- visokofrekvenčni spektralni analizator
- merjence: prilagojeno breme, kratek stik, odprte sponke, stabilniki različnih vrednosti
- priključne kable za vse povezave

Postavitev merilnih pripomočkov prikazuje Slika 3, razporeditev pa Slika 4.



Slika 3: Skica vezave merilnih pripomočkov



Slika 4: Slika vezave merilnih pripomočkov

Opis poteka vaje

Pri vaji merimo odbojnost bremena preko meritve izhodne moči signala iz mostička na spektralnem analizatorju ob znani moči vhodnega signala. Amplitudo odčitavamo na skali spektralnega analizatorja. Pomagamo si s samodejnim sledenjem signala ali z nepretrdnim iskanjem najvišjega signala (*ang. continuous peak search*). Kot je razvidno iz enačbe 4, je izhodna napetost sorazmerna odbojnosti, od nje pa se razlikuje za faktor $U_{vir}/8$. Če merimo moč (namesto napetosti) in upoštevamo napetost na sponkah vira U_{vir}' , dobimo naslednjo enačbo:

$$U_{vir}' = U_{vir}/2 \Rightarrow U^2 = \frac{U_{vir}^2}{4^2} \cdot |\Gamma|^2 \Rightarrow P = \frac{P_{vir}}{16} \cdot |\Gamma|^2 \quad (5)$$

Meritev najprej izvedemo za kratkostičnik in odprte sponke, ki imata absolutno vrednost odbojnosti $|\Gamma|$ enako 1. Obe izmerjeni vrednosti moči za dano frekvenco povprečimo, ter izračunamo izhodno moč vira, ki jo vidi naš mostič (Pozor! Moč povprečimo v linearnih enotah). Odstopanje izmerjene moči s pomočjo mostičnega reflektomerta, bo z višanjem frekvence čedalje večje. Seveda se izhodna moč našega VF izvora ne spreminja, napaka tiči v doma izdelanem merilniku. Za merjenje majhnih odbojnosti pri visokih frekvencah, je umerjanje takšnega merilnika ključno. Za vse nadaljnje izračune odbojnosti uporabljamo moč izvora, ki smo jo izračunali v tem koraku.

V drugem delu meritve priključimo na merilni vhod mostička prilagojeno koaksialno breme (50Ω), ki nam predstavlja idealno prilagoditev ($|\Gamma| = 0$). Izmerjena vrednost odbojnosti nam v tem primeru predstavlja smernost samega mostička, ki nam omejuje merilno točnost.

Nazadnje pomerimo še odbojnosti neznanih merjencev (slabilnikov različnih vrednosti). Za vrednost odbojnosti slabilnikov pričakujemo dvojno vrednost slabljenja, saj se signal na poti do nezaključenega izhoda slabilnika oslabi za vrednost slabljenja, se nato popolnoma odbije na odprtih sponkah, in se še enkrat oslabi v povratni smeri.

Naloga

1. Izmerite izhodno moč iz mostičnega reflektometra pri priključitvi kratkega stika in odprtih sponk ($|\Gamma| = 1$) v danem frekvenčnem območju in za vsako izmed merjenih frekvenc določite izhodno moč VF vira (P_{vir}).
2. Izmerite odbojnost pri priključenem prilagojenem bremenu (50Ω) da določite smernost mostičnega reflektometra.
3. Izmerite odbojnost treh znanih slabilcev v danem frekvenčnem pasu.
4. Določite slabljenje v dB neznanega slabilca s pomočjo meritve odbojnosti z mostičnim reflektometrom.