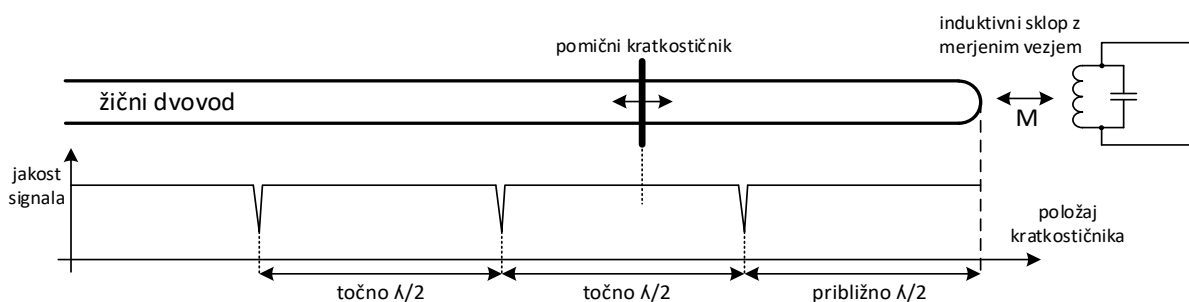


Merjenje z Lecher-jevim vodom

Lecher-jev vod

Ena izmed osnovnih meritev v visokofrekvenčni tehniki, je meritev frekvence oziroma valovne dolžine signala. Za merjenje frekvence obstaja več merilnih pripomočkov, od grid-dip metra, digitalnega frekvenčmetra do spektralnega analizatorja. Grid-dip metri so enostavne naprave in se po navadi mehansko uglašujejo na željeno frekvenco, zato je točnost slednjih redko pod 2 %. Digitalni frekvenčmetri so za nekaj velikostnih razredov točnejši, vendar pa imajo pomembno pomanjkljivost: Poleg koristnega signala na vhodu, lahko ob kopici motenj (podharmonikov, višje harmonskih komponent in drugih nezaželenih signalov) izmerijo popolnoma napačno frekvenco. Spektralni analizator sicer ni tako točen, kot digitalni frekvenčmeter, zna pa izmeriti tudi zelo šibke motnje poleg koristnega signala. Seveda je to zapleten in navadno drag inštrument.

Obstaja še en izredno preprost način merjenja frekvence, ki je pasiven (ne potrebuje lastnega napajanja), hkrati pa se da z njim doseči točnost merjenja frekvence pod 1 %. Meritev omogoča zračni dvovod, sestavljen iz dveh okroglih žic, imenovan Lecher-jev vod (po avstrijskem fiziku Ernstu Lecherju, 1856-1926). Na eni strani je Lecher-jev vod kratko staknjen, na drugi strani pa nezaključen. Lecher-jev vod je prikazan na Sliki 1.



Slika 1: Princip uporabe Lecher-jevega voda.

Merjenje z Lecher-jevim vodom je sledeče: Kratko staknjeni konec voda približamo izvoru signala in ga nanj induktivno sklopimo. Sklop bo največji takrat, ko bo ravnina Lecher-jevega voda pravokotna na magnetno polje vira. Inducirana napetost v dvovodu požene tok po obeh vodnikih in ustvari val, ki se širi proti nezaključenemu delu Lecher-jevega voda. Poleg samega dvovoda uporabljamo še premični kratkostičnik, s katerim med meritvijo drsimo po dvovodu in ga s tem na določenih razdaljah kratko sklenemo. Kratkostaknjeni del dvovoda predstavlja pri določeni frekvenci resonator in na tem delu Lecher-jevega voda se ustvari stojni val z ničloma (vozloma) napetosti oziroma s maksimumoma (hrbtoma) toka na obeh kratko staknjenih koncih. Prva resonanca se bo tako pojavila, ko bo premični kratkostičnik na *približno* $\lambda/2$ od kratko staknjenega konca voda. Približno zato, ker imata oba kratkostičnika nekaj parazitne induktivnosti, zaradi česar je izmerjena dolžina prve resonance nekaj pod $\lambda/2$. Vse naslednje resonance se bodo pojavljale na *točnih* razdaljah $\lambda/2$ med seboj, saj je napaka zaradi parazitnih induktivnosti kratkostičnikov konstantna z razdaljo vzdolž voda.

Ker gre za zračni dvovod, se na njemu širi TEM valovanje s približno svetlobno hitrostjo. Običajno dielektričnost zraka zanemarimo, zato lahko privzamemo kar svetlobno hitrost c_0 . Frekvenco signala merjenega vira lahko približno izmerimo že pri položaju prve resonance, točneje pa seveda šele z razliko razdalje položaja kratkostičnika pri prvi in drugi resonanci. Še

točnejšo meritev dobimo iz razdalje med več zaporednimi položaji resonanc, kjer razdaljo ustrezno delimo.

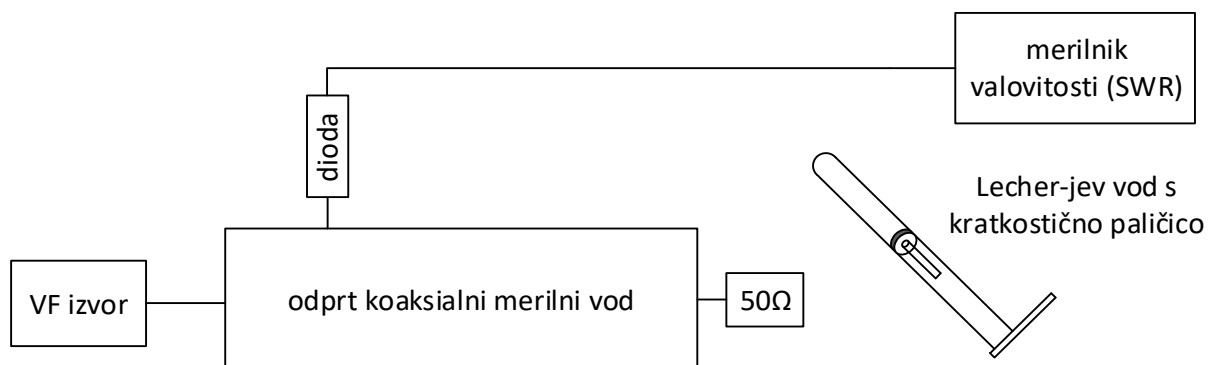
Frekvenčno območje Lecher-jevega voda je na spodnjem koncu omejeno z njegovo dolžino, na zgornjem pa z začetkom razširjanja višjih valovodnih rodov, ki niso TEM ter se ne razširjajo s svetlobno hitrostjo. Višji rodovi se na Lecher-jevem vodu pojavijo, ko je razdalja med žicama dvovoda primerljiva s polovico valovne dolžine.

Seznam potrebnih pripomočkov

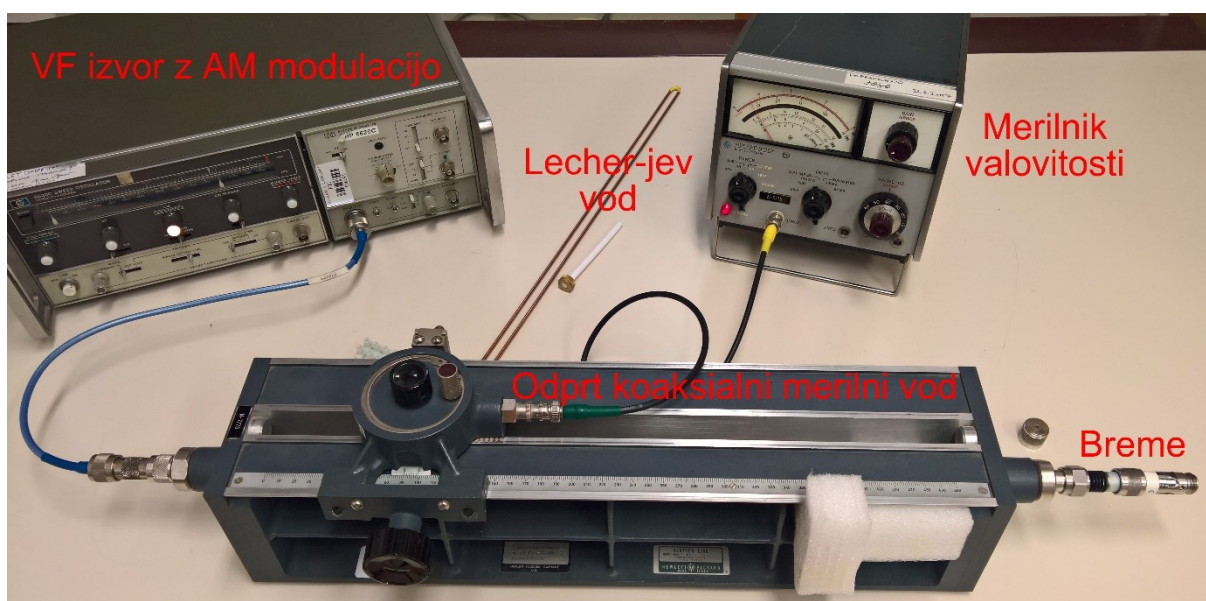
Za izvedbo vaje potrebujemo:

- Izvor izmeničnega signala s frekvenco od nekaj sto MHz do nekaj GHz z zmožnostjo AM modulacije.
- Odprt koaksialni merilni vod s pripadajočim diodnim detektorjem.
- Lecher-jev vod dolžine 0,5 m in kratkostičnik na palčki.
- SWR merilnik.
- Zaključitveno breme.
- Priključne kable za vse povezave.

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



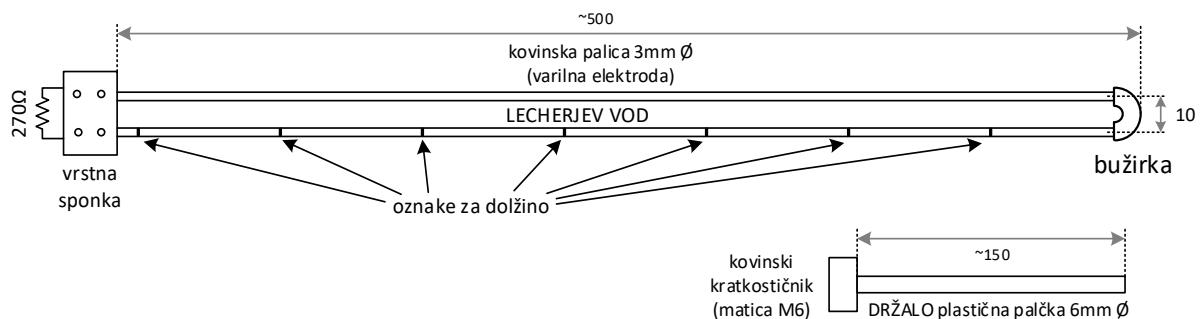
Slika 2: Skica vezave merilnih pripomočkov



Slika 3: Slika vezave merilnih pripomočkov

Opis poteka vaje

Pri praktičnih meritvah na nezaključen del Lecher-jevega voda običajno povežemo upor z vrednostjo okoli $300\ \Omega$. Ta poskrbi za dušitev resonanc preostalega (ne kratko staknjene) voda. Izdelani Lecher-jev vod na vajah je z dolžino okoli pol metra primeren za približno merjenje frekvence nekje nad $300\ \text{MHz}$ oziroma točno merjenje frekvence nad $600\ \text{MHz}$, ko sta na vodu že vsaj dve resonanci. Ker izračunavamo frekvenco merjenega vira preko razdalje položajev kratkostičnika, si na eno žico narišemo merilo za lažje in priročneje odčitavanje. Bužirka na koncu Lecher-jevega voda pa preprečuje morebitne kratke stike na merjeni napravi, ki ji med meritvijo približamo in nanjo sklopimo Lecher-jev vod. Praktično izvedbo Lecher-jevega voda prikazuje Slika 4.



Slika 4: Praktična izvedba Lecher-jevega voda.

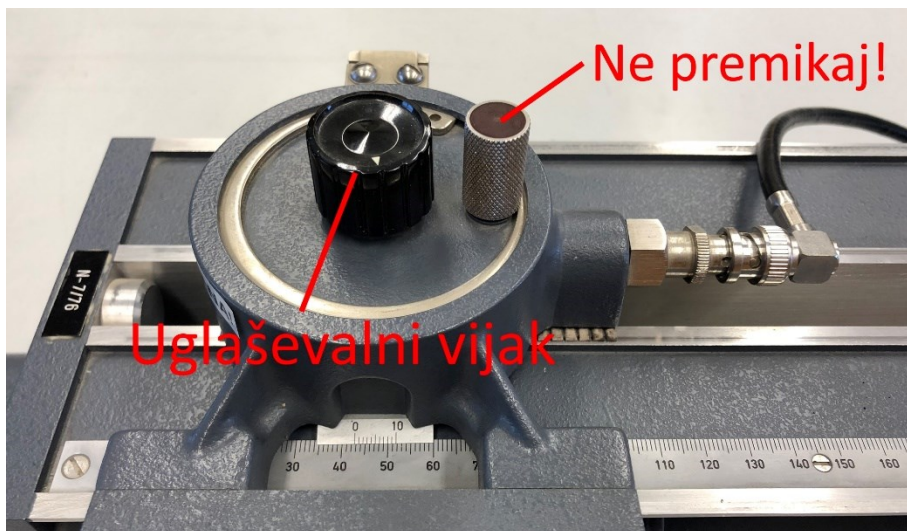
Z eno roko primemo izolacijski del Lecher-jevega voda (plastično ohišje vrstne sponke) ter ga približamo merjenemu viru signala. Pazimo, da vod orientiramo tako, da zajamemo čim več magnetnega polja in ga približamo v točki maksimalnega (hrbta) toka vira. Ker je Lecher-jev vod pasiven, za odčitavanje potrebujemo prikazovalnik resonanc. Običajno so to merilniki nivojev signala v oddajniških in sprejemniških vezjih, merilniki moči, valovitosti ali pa katerikoli drug indikator signala, ki zazna vpliv Lecher-jevega voda.

Pri vaji merimo frekvenco izvora s pomočjo resonanc na Lecher-jevem vodu. Najprej nastavimo položaj sonde z diodo v tak položaj na odprtem koaksialnem merilnem vodu, da merilnik valovitosti pokaže maksimum. Ker je koaksialni merilni vod zaključen s prilagojenim bremenom, pričakujemo majhno valovitost v vodu, zato minimumi niso izraziti (tako položaj sonde z diodo ni potrebno spreminjati z vsako frekvenco). Če se na vodu pojavi izrazita valovitost, moramo ob vsakem spreminjanju frekvence s sondo zopet poiskati maksimum.

Ko smo s premikanjem sonde določili optimalni položaj se lotimo meritev. Z vijakom za uglaševanje, ki se nahaja na sondi, s pomočjo merilnika valovitosti poiščemo maksimalno sprejeto moč. Pri višjih frekvencah je to možno doseči z več različnimi nastavitvami uglaševalnega vijaka. Uporabljamo tisto, ki se pojavi prva, kadar uglaševalni vijak najprej do konca zavrtimo v nasprotno smer vrtenja urnega kazalca in šele nato začnemo iskati v smeri vrtenja urnega kazalca. V nasprotnem primeru lahko namesto osnovne frekvence merimo višji harmonik $3f$! Merilno sondo smo dobro poglasili na želeno frekvenco, kadar se merilnik valovitosti nahaja v področju ojačenja (RANGE) med 20 in 0 dB.

Šele nato približamo Lecher-jev vod (držimo ga s samo eno roko za plastično držalo) v režo koaksialnega voda. Za pomoč se v notranjosti nahaja utor iz stiropora, ki nam merilni vod drži

pri miru. Lecher-jev vod seveda pravilno orientiramo za največji magnetni sklop, nato uporabimo kratkostičnik na palčki in poskušamo najti resonance. Te se kažejo kot upad odklona kazalca, ki ga opazujemo na zaslonu merilnika valovitosti. Pri tem kratkostičnik počasi premikamo od kratkostaknjene konca voda proti izoliranemu držalu. Ob opaženih resonancah si zabeležimo položaj premičnega kratkostičnika na vodu in iz izmerjenih razdalj položajev izračunamo frekvenco vira. Pri nizkih frekvencah bodo minimumi manj izraziti, zato s kratkostičnikom drsimo zelo počasi in enakomerno ter skrbno opazujemo kazalec.



Slika 5: Položaj uglaševalnega vijaka na premični sondi.

Naloga

1. Z uporabo Lecher-jevega voda umerite frekvenčno skalo izvora. (Pri frekvencah med 300 in 600 MHz se zavedajte, da je točnost meritve omejena zaradi same dolžine Lecher-jevega voda (ena sama resonanca). Če je to mogoče poskusite točneje izmeriti frekvenco z meritvijo razdalje med več zaporednimi resonancami in ustreznim deljenjem).
2. Izrišite frekvenčno skalo za uporabljeni izvor in na podlagi več izmerjenih točk znotraj frekvenčnega območja izvora ocenite linearnost frekvenčne skale. Skozi točke poskušajte narisati trendno črto.