

VHF reflektometer

1. Uvod

Reflektometer, oziroma SWR meter, je prav gotovo zelo razširjen inštrument med radioamaterji. Na žalost pa zelo malo amaterjev točno ve, kaj sploh pomenijo odčitki na skali reflektometra in še manj amaterjev se zaveda, kako nenatančne so lahko meritve z neprimernim inštrumentom!

Reflektometer je inštrument, ki meri impedanco izbrane ga bremena (običajno antene) glede na standardno zaključeno impedanco, običajno $50\ \Omega$. Reflektometer ne more biti idealen inštrument, zato je treba določiti frekvenčno področje, v katerem so napake še sprejemljive. Običajni reflektometri, oziroma njihovi detektorji, porabijo del moči oddajnika in delujejo v linearnem delu njihove karakteristike le v zelo omejenem področju VF moči. Zato je treba pri reflektometru specificirati tako spodnjo kot zgornjo mejo moči oddajnika, ki krmili reflektometer in anteno.

Poleg tega bi moral biti reflektometer opremljen s primernimi konektorji za izbrano frekvenčno področje. Običajni UHF konektorji (SO 239 in PL 259) niso uporabni nad $30\ \text{MHz}$ za merilne namene. BNC konektorji so uporabni do $500 \div 1000\ \text{MHz}$, za še višje frekvence pa je treba uporabiti N ali SMA konektorje.

Za frekvence do $30\ \text{MHz}$ je na razpolago na amaterskem tržišču dosti cenenih in dobrih reflektometrov, pa tudi samogradnja ni niti zahtevna niti draga. Povsem drugačen pa je položaj za VHF in višje frekvence. Za 2m področje lahko sicer nabavimo cenene reflektometre, toda njihova nenatančnost je nesprejemljiva tudi za amaterje. Tipičen reflektometer z napisom na prednji plošči $3 \div 150\ \text{MHz}$ kaže SWR $1:1,5$ in več, ko je zaključen s preciznim laboratorijskim $50\ \Omega$ uporom! Tak inštrument ni niti v stanju, da odkrije hudo napako (kratek stik ali prekinitev) na koncu

daljšega koaksialnega kabla!

Čeprav v amaterski literaturi ne manjka načrtov za reflektometre, pa je zelo malo teh instrumentov sploh pravilno načrtovanih! Zato bom v tem članku najprej opisal princip in zahteve za reflektometer in šele potem objasnil, kako lahko to v praksi uporabimo.

2. Refleksijski koeficient in SWR

Reflektometri so merilniki impedance bremena, običajno antene. Impedanca za izmenični tok določene frekvence pa je podana z dremi podatki: to so lahko realna in imaginarna komponenta, velikost in faza, možni pa so še mnogi drugi zapisi.

Koaksialni kabel (ali katerakoli druga vrsta visokofrekvenčne linije) transformira impedanco bremena v neko drugo impedanco. Zato visokofrekvenčne impedance merimo in izražamo običajno v takih enotah, da je čimbolj enostavno določiti vpliv linije (kabela).

Ko breme (anteno) povezujemo na generator (oddajnik) preko kablov in konektorjev grajenih za isto normirano karakteristično impedanco Z_0 (običajno je to $50\ \Omega$, za kabel brez izgub je ta impedanca čisto realna), je impedanco Z najenostavneje izraziti kot refleksijski koeficient r :

$$r = \frac{Z - Z_0}{Z + Z_0}$$

Refleksijski koeficient r je kompleksno število, ki ima zanimivo lastnost, da se njegova absolutna vrednost $|r|$ ne spreminja, če med breme in merilnik vstavimo brezizgubno linijo (kabel) karakteristične impedance Z_0 .

Faza refleksijskega koeficienta se sicer spremeni, ko med breme in merilnik vstavimo kos kabla. Na srečo pa je sprememba faze linearno odvisna od dolžine vstavljenе linije: faza se spreminja z natančno dvakratno hitrostjo razširjanja valovanja v kablu.

V primeru, ko je tudi generator (oddajnik) prilagojen na karakteristično impedanco linije (kabla), vpliva na prenos moči le absolutna vrednost oziroma velikost refleksijskega koeficienta $|r|$.

V katerih mejah se lahko giblje $|r|$? V primeru idealno prilagojenega bremena je $|r| = 0$. V primeru popolne ne prilagoditve, to so primeri odprtih sponk, kratkega stika ali pa popolnoma reaktivnega brezizgubnega bremena, je $|r| = 1$. Če je $|r|$ večji od 1, pomeni, da imamo opraviti z aktivnim bremenom, ki oddaja več moči, kot pa je sprejema. Tako breme je v amaterski praksi lahko vhodna impedanca nizkošumnega ojačevalca (običajno z GaAs tranzistorji). Tak ojačevallec ni absolutno stabilen in zahteva dobro prilagojen generator (anteno), da ne samooscilira.

V amaterski praksi se kot merilo za neprilagoditev običajno uporablja razmerje stojnega vala označeno z angleško kratico SWR (standing wave ratio). SWR lahko izračunamo iz velikosti (absolutne vrednosti) refleksijskega koeficienta $|r|$:

$$SWR = \frac{1 + |r|}{1 - |r|}$$

Enota SWR ima več pomanjkljivosti: ne prenaša informacije o fazi refleksijskega koeficienta in z njo je dosti težje računati za nas zanimive veličine, kot so dodatne izgube v kablu in oddajnika zaradi neprilagoditve. Razen tega SWR ni definiran za kabel z izgubami (kar je v praksi vedno res) in za aktivna (nestabilna) bremena, ki imajo $|r| > 1$.

Kljub temu se enota SWR še vedno na široko uporablja tudi v profesionalni tehniki, predvsem zaradi tradicije. V pionirskih dnevih mikrovalovnih eksperimentov je bil SWR

edina količina, ki se je dala naravnost meriti v mikrovalovnih koaksialnih kablkih in valovodih z zelo primitivnimi sredstvi.

3. Instrumenti za merjenje refleksijskega koeficienta in SWRja

Vsi današnji reflektometri v amaterski uporabi so grajeni kot smerni sklopniki in direktno merijo absolutno vrednost refleksijskega koeficienta $|r|$, skala na instrumentu pa je običajno izrisana tudi ali pa samo v enotah SWR, da ni potrebno preračunavanje.

Amaterski reflektometri so običajno sestavljeni iz dveh smernih sklopnikov, ustreznih VF detektorjev in instrumentov za indikacijo (glej slika 1.).

Detektorji, ki se uporabljajo v amaterski praksi, omogočajo le merjenje amplitude napetosti pri razmeroma visokih nivojih signala, zato za napajanje reflektometra potrebujemo oddajnik zahtevane moči. Tak reflektometer meri zato le velikost refleksijskega koeficienta $|r|$.

Profesionalni reflektometri uporabljajo tudi zelo občutljive detektorje, merilne sprejemnike, ki lahko merijo amplitudo in fazo signalov pri zelo nizkih nivojih signala. S takim reflektometrom lahko merimo tudi fazo refleksijskega koeficienta r . Nizki nivoji signalov, potrebnih za meritev, pa omogočajo tudi merjenja na malo šumskih predojačevalcih in drugih aktivnih vezjih. Če tak instrument lahko avtomatsko meri še potek refleksijskega koeficienta v širšem frekvenčnem področju, ga običajno imenujemo network analyser.

Na srečo v amaterski praksi tako dragi instrumenti niso nujno potrebni, saj nam že enostaven reflektometer dovolj pove o prilagoditvi antene.

Refleksijski koeficient r je podan kot razmerje napredujočega in odbitega vala, to je razmerja signalov, ki nam jih

dajeta smerna sklopnika 1 in 2 na sliki 1. Ker enostavni detektorji merijo le amplitudo napetosti, dobimo kot rezultat le absolutno vrednost refleksijskega koeficienta $|r|$.

Da se izognemo nerodnemu računanju razmerja imajo reflektometri vgrajen potenciometer za občutljivost oziroma ustrezno avtomatiko. S tem potenciometrom nastavimo občutljivost tako, da dobimo na inštrumentu za napredujoči val določen odklon (označen na skali) in potem lahko direktno odčitamo vrednost refleksijskega koeficienta $|r|$ oziroma SWR na skali inštrumenta za odbiti val.

Cenejši inštrumenti - reflektometri imajo vgrajen en sam indikatorski inštrument, kot je to örtkano označeno na sliki 1.

4. Smerni sklopnik

Smerni sklopnik je osnovni element vsakega reflektometra. V reflektometru običajno potrebujemo dva smerna sklopnika: enega za napredujoči val in drugega za odbiti val.

Princip delovanja smernega sklopnika je zasnovan na jemanju vzorcev napetosti in toka na liniji - koaksialnem kablu. Za prilagojeno breme (običajno $50\ \Omega$) sta tok in napetost na bremenu v točno določenem medsebojnem razmerju in fazi. Razlika med napredujočim in odbitim valom na liniji je v fazi toka glede na fazo napetosti: pri napredujočem valu sta tok in napetost v fazi, pri odbitem valu pa sta točno v protifazi (180° razlike). Smerni sklopnik za napredujoči (odbiti) val zgradimo tako, da sesteva (odšteva) vzorce toka in napetosti na liniji. (Glej slika 2.). Seveda morajo biti vzorci toka in napetosti v pravem medsebojnem razmerju, to razmerje pa je podano s karakteristično impedanco linije, za katero je reflektometer grajen (običajno $50\ \Omega$).

Shema s slike 2 je tehnično izvedljiva za frekvenčno področje do približno $30\ \text{MHz}$ in se zato na široko uporablja

v kratkovalovnih reflektometrih. Njena največja prednost je ta, da lahko deluje v širokem frekvenčnem področju, če navijemo tokovni merilni transformator na feritno toroidno jedro. Ker je razmerje med prenašano visokofrekvenčno močjo in izhodnim signalom vsaj v teoriji frekvenčno neodvisno, lahko tak smerni sklopnik uporabljamo tudi kot merilnik moči v širšem frekvenčnem področju (običajno $2 \div 30$ MHz).

Za frekvence nad 30 MHz so parazitne induktivnosti in kapacitivnosti koncentriranih elementov, predvsem merilnega transformatorja, prevelike, da bi lahko zanesljivo merili. Za frekvence nad 30 MHz zato običajno gradimo smerne sklopnike s sklopljenimi linijami (glej slika 3.).

V sklopljenem odseku linij obstaja med linijama tako kapacitivni kot induktivni sklop. Kapacitivni sklop daje vzorec napetosti, induktivni sklop pa vzorec toka. Iz takega smernega sklopnika dobimo lahko hkrati vzorce napredujočega in odbitega vala. Običajno pa uporabljamo en sam izhod, na primer na sliki 3 za napredujoči val, ker točnost meritve zavisi od točnosti zaključitvenih bremen sklopljene linije. Ker visokofrekvenčni detektorji nimajo točno definirane impedance, je treba smerni sklopnik zaključiti na drugem izhodu s čimbodj preciznim bremenom: zaključitvenim uporom R .

Smerni sklopnik s sklopljenimi linijami je frekvenčno močno odvisen. Za nizke frekvence, ko je dolžina sklopljenih linij l majhna v primerjavi z valovno dolžino λ , raste tako induktivni kot kapacitivni sklop premo sorazmerno s frekvenco. Ko doseže dolžina sklopljenih linij l znaten del valovne dolžine, se začne sklop in z njim občutljivost manjšati, ker so prispevki posameznih kapacitivnih in induktivnih sklopov v različnih medsebojnih fazah. Če se presek sklopljenih linij in z njim jakost sklopa po celi dolžini l ne spreminja, potem doseže jakost sklopa ma

ksimum, ko je $l = \lambda/4$ (glej slika 4.). Za dolžino $l = \lambda/2$ pade jakost sklopa na nič: vsi prispevki se tedaj natančno odšte- vajo med seboj.

Smerni sklopnik s sklopljenimi linijami se običajno uporablja v frekvenčnem področju vse do maksimuma sklopa in še malo čez. V bližini ničle sklopa pri $l = \lambda/2$ se jakost sklopa zelo hitro spreminja s frekvenco in tudi s konstrukcijskimi tolerancami, zato smerni sklopnik v tem področju ni več uporaben.

Delovanje smernega sklopnika v širšem frekvenčnem področju se da izboljšati s spreminjanjem jakosti sklopa po dolžini sklopljenih linij, presek sklopljenih linij se zato po dolžini spreminja. Take smerne sklopnike pa je dosti težje izračunati in konstrukcija je tudi bolj občutljiva na tolerance pri izdelavi.

V reflektometru potrebujemo dva smerna sklopnika, za napredujoči in odbiti val, od katerih zahtevamo dvojice:

- da se za signal od generatorja do bremena obnašajo kot linija impedance $50\ \Omega$, da sami ne vnašajo dodatnih neprilagoditev,
- da imajo čim boljšo smernost; to pomeni, da detektirajo samo val v željeni smeri.

Prvo zahtevo izpolnimo tako, da izdelamo sklopljeno linijo od generatorja k bremenu kot $50\ \Omega$ linijo. Da ustrezemo drugi zahtevi, morata biti kapacitivni in induktivni sklop v pravem medsebojnem razmerju in fazi. Tej zahtevi ustrezemo s pravilno geometrijsko konstrukcijo sklopljenih linij in čimboljšim zaključitvenim uporom R.

Če gradimo sklopljene linije z eno samo vrsto dielektrika (na primer zračne linije), je konstrukcija enostavna: zaradi fizikalnega zakona dualnosti kapacitivnosti in induktivnosti da vsaka taka konstrukcija vedno kapacitiven in induktiven sklop v pravem razmerju in fazi. Težje je zgraditi sklopljene linije v tehniki, ki

uporablja dva ali več različnih dielektrikov: na primer v mikrostrip tehniki, kjer so dielektriki zrak in vitroplast. V tem primeru je treba sklopljene linije izdelati tako, da silnice električnega polja ne sekajo mejnih ploskev dielektrikov (glej primere na sliki 5.).

V amaterski praksi je najenostavneje izdelati smerni sklopnik v tako imenovani stripline (sendvič) tehniki. Za razliko od mikrostrip tehnike potrebujemo v stripline tehniki za vsako vezje po dve ploščici kaširanega laminata. Gornja ploščica (glej slika 6) ima nejedkano bakreno folijo samo na eni strani po celi površini in ta služi kot gornja ravnina mase. Spodnja ploščica ima na eni strani nejedkano bakreno folijo po celi površini, ki služi kot spodnja ravnina mase. Na drugi strani spodnje ploščice pa je izjedkano željeno vezje, v našem primeru smerni sklopnik. Pri konstrukciji ploščice stisnemo skupaj s pomočjo vijakov ali zakovic, da je zračna reža med ploščicama čim manjša. Na ta način dosežemo, da je dielektrik skoraj homogen vitroplast in s tem je izpolnjen pogoj za smernost smernega sklopnika.

5. Konstrukcija reflektometra za področje od 100 do 600 MHz

Kot primer uporabe stripline tehnike sem praktično izdelal in preizkusil reflektometer za področje od 100 do 600 MHz. Kot laminat sem uporabil standardni vitroplast FR4 domače proizvodnje debeline 1,6 mm. Za karakteristično impedanco linije $50\ \Omega$ je potrebna širina linije w približno 1,5 mm (glej slika 7.). Od oddaljenosti d med glavno linijo in sklopljenimi linijami zavisi občutljivost reflektometra. Za $d = 1,5\ \text{mm}$ in $l = 60\ \text{mm}$ potrebujemo približno 20 W moči oddajnika na 144 MHz in 5 W na 432 MHz za pravilno indikacijo. Z manjšanjem oddaljenosti d med linijami se občutljivost hitro veča, toda za majhne d je treba tudi korigirati širino linij w v sklopljenem odseku. Pri konstrukciji je treba tudi paziti, da sta obe sklopljeni liniji med seboj čimbolj enaki, predvsem pa

da so oddaljenosti d enake.

Frekvenčna odvisnost smernih sklopnikov v glavnem zavisi od dolžine l sklopljenih linij. Pri projektiranju je treba upoštevati, da je hitrost razširjanja elektromagnetnega valovanja v vitroplastu približno polovična glede na zrak ali prazen prostor in se sorazmerno temu skrajša valovna dolžina v vitroplastu. Za podano dolžino $l = 60$ mm znaša frekvenca maksimalne občutljivosti 650 MHz, a frekvenca prvega minimuma občutljivosti približno 1300 MHz. Ta smerni sklopnik zato ni uporaben v frekvenčnem področju 1296 MHz.

Natančnost reflektometra, oziroma njegova sposobnost razlikovanja med napredujočim in odbitim valom še najbolj zavisi od preciznosti zaključitvenih uporov od 50Ω . Profesionalni zaključitveni upori z minimalnimi parazitnimi induktivnostmi in kapacitivnostmi so amaterjem praktično nedostopni. Ob uporabi običajnih uporov pa je treba pravilno izbrati tip upora in ga tudi pravilno montirati.

Na moje veliko presenečenje so se masni upori, ki praktično nimajo parazitne induktivnosti, zelo slabo izkazali na frekvencah iznad 1000 MHz. Vzrok je verjetno v skin efektu v masnem telesu upora, ki navidezno poveča upornost na višjih frekvencah.

Dobre rezultate se da doseči s slojnimi upori (ogljenimi ali metal-film), čeprav imajo vrezano spiralo. Metal-film upor 100Ω $1/8$ W ima tipično vrezano spiralo z dvema ovoji. Dodatna induktivna reaktansa te spirale je velikostnega razreda nekaj Ω pri frekvenci 1 GHz, to pa je za amaterske zahteve povsem zanemarljivo.

VF karakteristike upora so odvisne tudi od vrednosti samega upora. 50Ω ni najbolj primerna vrednost za en sam upor, boljše rezultate dobimo z vzporedno vezavo dveh 100Ω uporov.

Občutljivost in frekvenčna odvisnost reflektometra zavisi tudi od vrste diod, uporabljenih za detekcijo visokofrekvenčnega signala. Spodnjo mejo občutljivosti določa tako imenovano koleno (napetost praga)

uporabljenih diod. Silicijeve PN diode so v tem pogledu najslabše, saj potrebujejo VF napetost preko $0,7\text{ V}$, da sploh začnejo usmerjati.

Odlične rezultate se da dobiti z germanijevimi diodami, napetost praga je le približno $0,2\text{ V}$. Vse germanijeve diode pa niso uporabne kot VF detektorji nad 100 MHz in zato je potrebno uporabljene primerke prej izmeriti na teh frekvencah. Od germanijevih diod so se najbolje izkazale OA 70, OA 90 in druge namenjene za video detektorje.

Schottky diode imajo običajno koleno med $0,3$ in $0,4\text{ V}$, kar pa se visokofrekvenčnih lastnosti tiče niso bistveno boljše od germanijevih diod. Njihova druga pomanjkljivost pa je, da imajo majhno inverzno prebojno napetost, to pa omejuje največjo dopustno moč oddajnika, pri kateri še smemo meriti z reflektometrom. Praktično sem preizkusil schottky diode HP 5082-2811 v vezju reflektometra.

Za merilne namene pa se izdelujejo tudi posebne schottky diode z zelo majhno napetostjo praga, tako da lahko z njimi detektiramo že VF napetosti amplitude samo par mV. Primer take diode je BAT 16. Take diode so seveda idealne za reflektometer, žal pa mi ni znano, kje bi se jih dalo nabaviti.

Upori $1,8\text{ k}\Omega$ na sliki 7 imajo predvsem funkcijo visokofrekvenčnih dušilk. S pretikalom izbiramo merjenje napredujočega oziroma odbitega vala, s potenciometrom $10\text{ k}\Omega$ lin pa nastavljamo občutljivost. Kot indikatorski instrument je uporabljen miniaturni Iskrin indikator s polkrožno skalo od 0 do 1. Če pri merjenju nastavimo občutljivost tako, da nam napredujoči val da polni odklon, je skala za odbiti val že umerjena kot absolutna vrednost refleksijskega koeficienta $|r|$ v mejah od 0 do 1. Za pretvorbo v enoto SWR pa je treba narisati dodatno skalo oziroma tabelo.

Stripline vezje ima dve ravnini mase, zgornja in spodnja

nejedkana površina tiskanega vezja. V teoriji je porazdelitev polja in električnega toka povsem simetrična in zato teh dveh ploskev mase ni potrebno posebej povezovati. V praksi pa se vedno pojavijo konstrukcijske tolerance, razen tega pa so lahko nekateri priključki na vezje tudi nesimetrični. Zato je treba povezati obe ploskvi mase na več mestih. Praktično najenostavnejša rešitev je, da za te povezave uporabimo vijake (ali zakovice), ki imajo hkrati tudi povsem mehansko funkcijo, da držijo obe plošči laminata skupaj.

Vijaki ne smejo biti niti preblizu izjedkanim linijam v sredini "sendviča", da ne bi motili delovanja vezja, niti pre daleč od linij, da ne bi prišlo med vijaki in linijami do parazitnih rezonanc v delovnem frekvenčnem področju. Za dano debelino laminator $2 \times 1,6$ mm odmaknemo vijake za približno 1 cm od najbližje izjedkane linije v vezju. Rezonance v osnovnem frekvenčnem področju zato niso možne, na višjih harmonikih pa ima laminat dovolj izgub, da zaduši rezonance, ki bi lahko vplivale na meritev (harmoniki oddajnika!).

V prototipu sem uporabil BNC ženske konektorje in to tip prirejen za montažo s štirimi vijaki. Montaža konektorjev in ostalih elementov je razvidna s slike 8.

6. Preizkušanje in umerjanje reflektometra

Vsak merilni inštrument je samo toliko vreden, kolikor se lahko zanesemo na njegovo točnost. Zato bi moral vsak amater – uporabnik merilnih inštrumentov poznati vsaj osnovni princip delovanja instrumenta in s tem povezano preizkušanje in umerjanje. To ne velja samo za samogradnje ampak tudi za tovarniške instrumente. Zanesljivost in točnost reflektometra ni težko preizkusiti tudi samo z amaterskimi sredstvi.

Za merjenja z reflektometrom potrebujemo oddajnik predpisane moči na željeni frekvenci, od katerega pa zahtevamo še,

da ima minimalne višje harmonike in druge parazitne frekvence. Diodni detektorji v reflektometru so vršni detektorji, zato so zelo občutljivi na harmonike in druge parazitne frekvence oddajnika ter na njihovo fazo v primerjavi z osnovnim signalom. Ker je dolžina sklopljenih linij v večini reflektometrov majhna napram valovni dolžini, so leti še bolj občutljivi na višje harmonike oddajnika kot pa na osnovno frekvenco. Zato potrebujemo pravilno konstruiran in dobro uglasen oddajnik, pri katerem so harmoniki in parazitne frekvence oslavljeni vsaj za $40 \div 50$ dB glede na osnovno frekvenco. V nasprotnem primeru je meritev povsem nezanesljiva tudi z najboljšim reflektometrom!

Reflektometer najprej preizkusimo na povsem neprilagojena bremena, to so odprte sponke, kratki stik in krajši kosi koaksialnega kabla različnih dolžin brez zaključitve. V vseh teh primerih čisto reaktivnega bremena mora pokazati reflektometer $|r|$ točno 1 oziroma $SWR \infty$. Če pokaže reflektometer različne vrednosti, pomeni, da smerni sklopniki niso primerno izdelani. Pri tem preizkusu je treba paziti, da vsakokrat popravimo nastavitve za napredujoči val, ker se izhodna moč oddajnika pri povsem neprilagojenem bremenu lahko precej spreminja, in da preizkus opravimo kar se da hitro, da ne poškodujemo oddajnika.

Smernost reflektometra preizkusimo tako, da ga priključimo na precizno 50Ω breme. Ker večina amaterjev ne razpolaga s takim laboratorijskim zaključitvenim uporom, rezultata samogradnje pa ne moremo preizkusiti, ker reflektometer še ni umerjen (zgodba o kuri in jajcu), moramo poiskati drugo rešitev. Refleksijo slabo prilagojenega bremena popravi atenuator; atenuator z zelo visokim slabljenjem je že sam po sebi dobro breme. Kot dobro prilagojen atenuator lahko upora

bimo daljši kos koaksialnega kabla, ki naj ima čim večje izgube. Na primer, 10 m kabla RG 58 ima na 432 MHz 4 ÷ 5 dB izgub. 30 ÷ 40 m kabla RG 58 zato predstavlja zelo dobro prilagojeno breme na tej frekvenci.

Ko je reflektometer priključen na dobro prilagojeno breme, mora instrument za odbiti val pokazati čim manj. Odkritek instrumenta za odbiti val nam je pri tem preizkusu merilo za smernost smernega sklopnika in s tem natančnost reflektometra. Smernost sklopnika za napredujoči val preizkusimo tako, da zamenjamo priključke oddajnika in antene (bremena).

Občutljivost reflektometra preverimo tako, da znižujemo moč oddajnika ter opazujemo instrument za napredujoči val. Nato zamenjamo priključke oddajnika in antene na reflektometru in poizkus ponovimo s tem, da opazujemo instrument za odbiti val. S pomočjo vatmetra ugotovimo, katera je najmanjša moč, ki jo reflektometer še detektira zaradi "kolena" uporabljenih diod. Smerna sklopnika in detektorja sta običajno enaka, zato dobimo pri bližno isti rezultat. Za poznejše meritve je važna predvsem občutljivost smernega sklopnika za odbiti val: od nje zavisi občutljivost reflektometra pri merjenju majhnih refleksijskih koeficientov: $|r|$ v bližini 0 oziroma SWR v bližini 1. Na primer, če je moč oddajnika 100x večja (20 dB) od najmanjše moči, ki jo smerni sklopnik in detektor še registrirata, potem je najmanjši SWR, ki ga še lahko merimo, 1,2 oziroma $|r|$ 0,1. Če hočemo meriti še manjše refleksijske koeficiente oziroma SWR, lahko edino povečamo moč oddajnika pri meritvi.

Pri reflektometrih sumljivega porekla je dobro izmeriti še vstavitevno slabljenje, še posebno če naj ostane reflektometer za stalno priključen v antenskem vodu. Pri reflektometrih, zgrajenih s smernimi sklopniki, je to slabljenje praktično zanemarljivo. Reflektometri, ki delajo na mostičnem principu, so bolj občut-

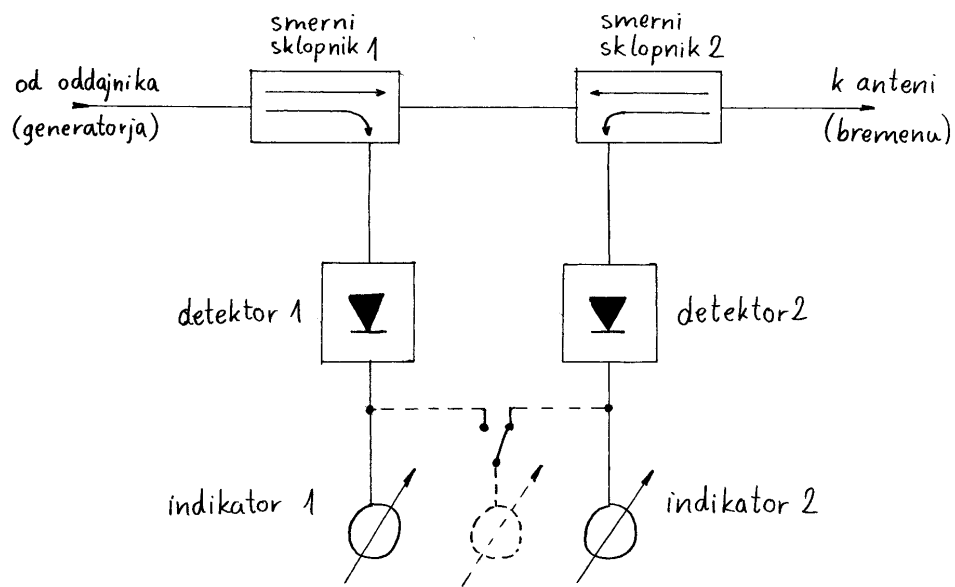
ljivi, a vstavitveno slabljenje znaša 6dB ali več!

7. Zaključek

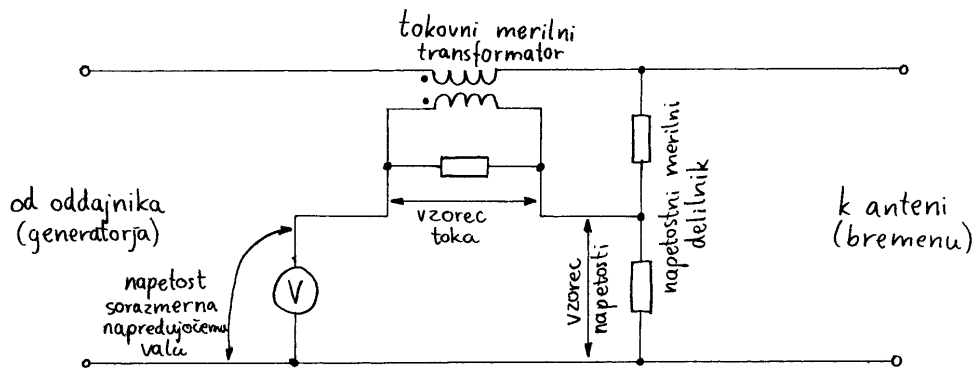
Opisani reflektometer v stripline tehniki se je v praksi dobro obnesel v 2m in 7Øcm področjih. Izdelava smernih sklopnikov v stripline "sendvič" tehniki daje v amaterskih razmerah ponovljivo smernost v velikostnem razredu med 25 in 30 dB. To pomeni, da lahko še zanesljivo merimo SWR 1,1 z zadosti veliko močjo oddajnika, kar za vse amaterske meritve povsem zadošča.

V članku sem malo bolj natančno opisal princip delovanja, konstrukcije in preizkušanja reflektometra in to iz več razlogov. Če že gradimo svoj lastni reflektometer, potem ga gradimo za frekvenčno področje in področje moči oddajnika, ki nam najbolj ustreza. Vsak inštrument domače izdelave je treba umeriti. Mislim pa, da bi opis preizkušanja in umerjanja moral zanimati tudi vse lastnike tovarniških reflektometrov.

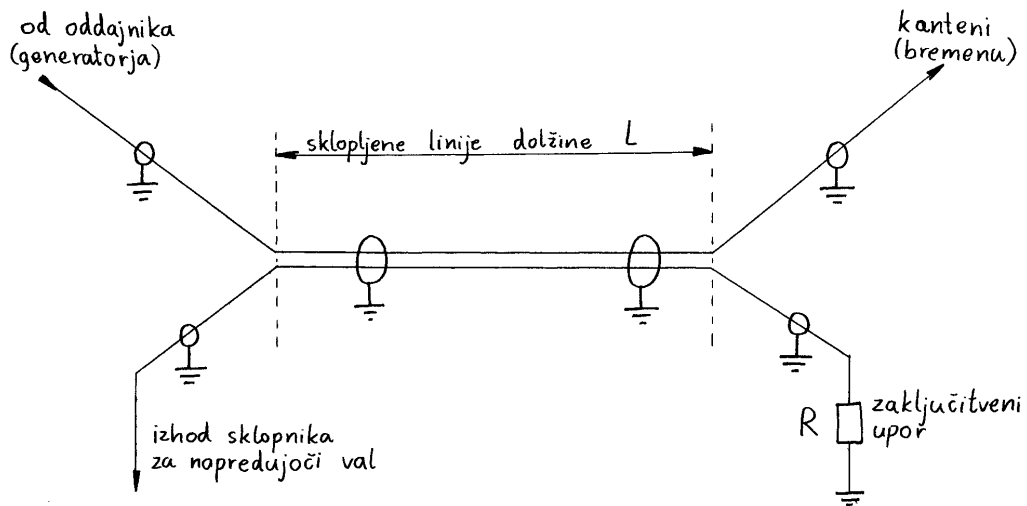
Na žalost večina amaterjev uporablja reflektometer izključno za merjenje SWR antene in kot indikator izhodne moči oddajnika. Z reflektometrom pa se da opraviti še številne druge meritve: merjenje izgub v kablju, uglasovanje filtrov, ugotavljanje rezonančne frekvence rezonatorjev in še mnogo drugih meritev. Refleksijski koeficient ali SWR se da meriti še na druge načine, predvsem v mikrovalovnem področju. Na primer, zaenkrat amaterji malo uporabljajo mostične reflektometre, ki so zelo občutljivi in tudi enostavni za izdelavo. Z vedno večjo uporabo mikrovalovnih področij pa upam, da bodo tudi ti instrumenti postali bolj popularni med amaterji.



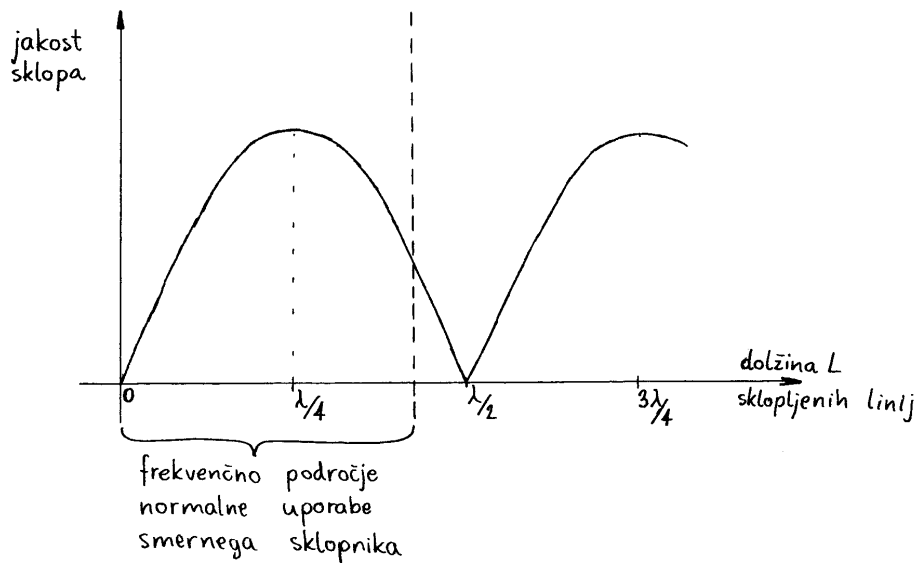
Slika 1. - Shema reflektometra.



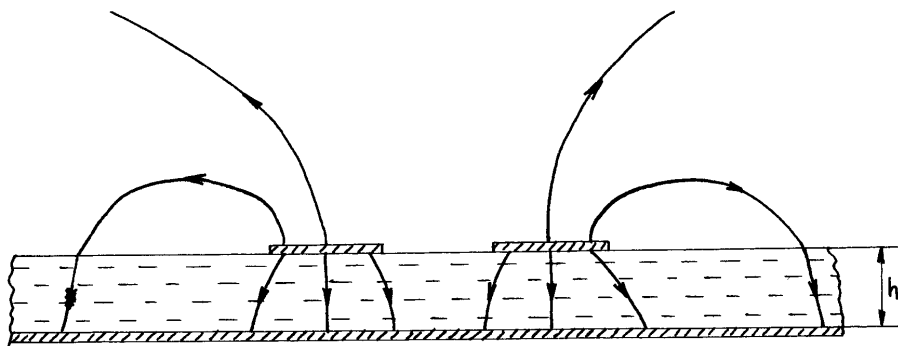
Slika 2. - Smerni sklopnik za napredujoči val. Za odbiti val je treba zamenjati smer navitja tokovnega merilnega transformatorja.



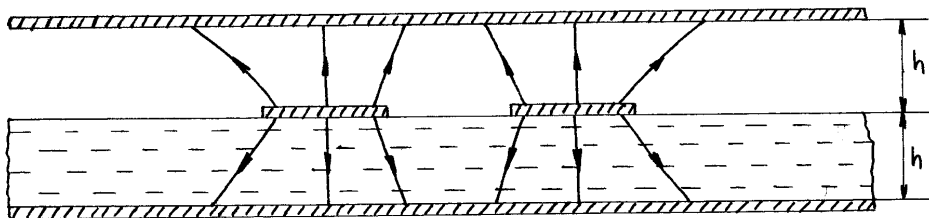
Slika 3. – Smerni sklopnik za napredujoči val s sklopljenimi linijami.



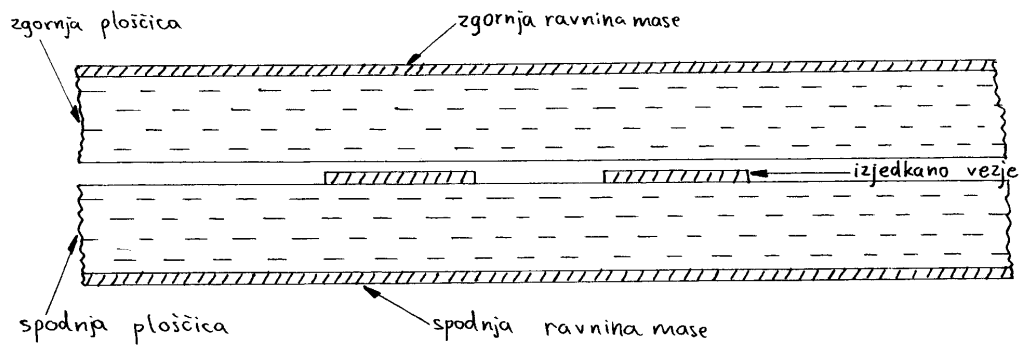
Slika 4. – Jakost sklopa v odvisnosti od dolžine L sklopljenih linij.



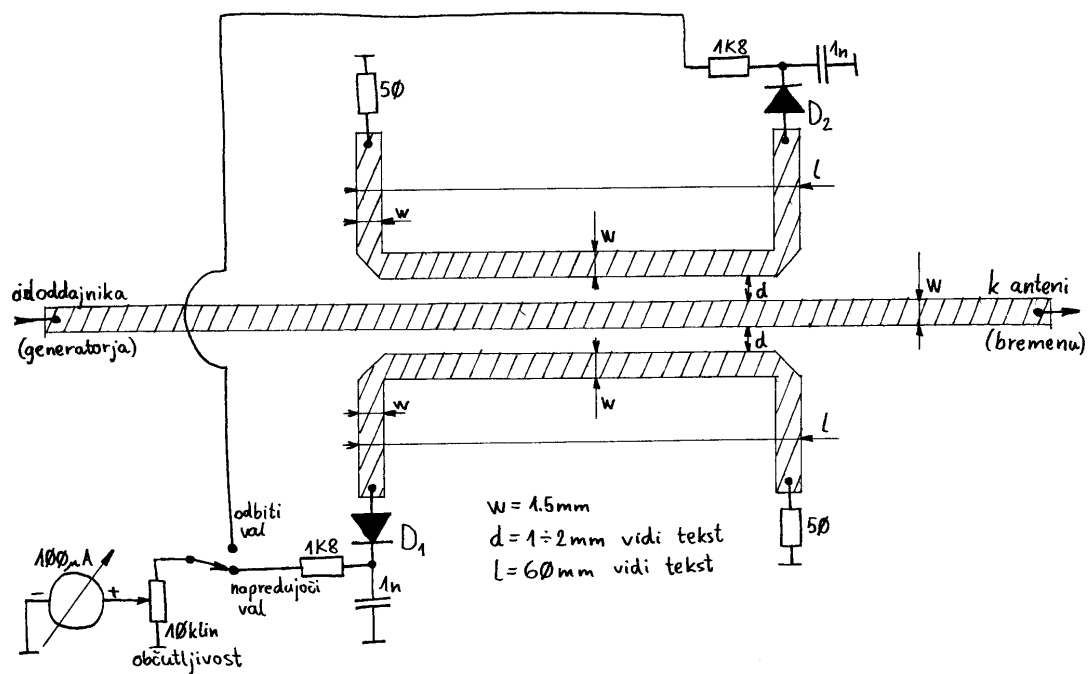
Slika 5A. – Sklopljene mikrostrip linije. Silnice električnega polja sekajo meje dielektrikov, zato kapacitivni in induktivni sklop nista v pravilnem medsebojnem razmerju in fazi. Reflektometer, zgrajen s takimi sklopljenimi linijami zato ne more delovati v širšem frekvenčnem področju.



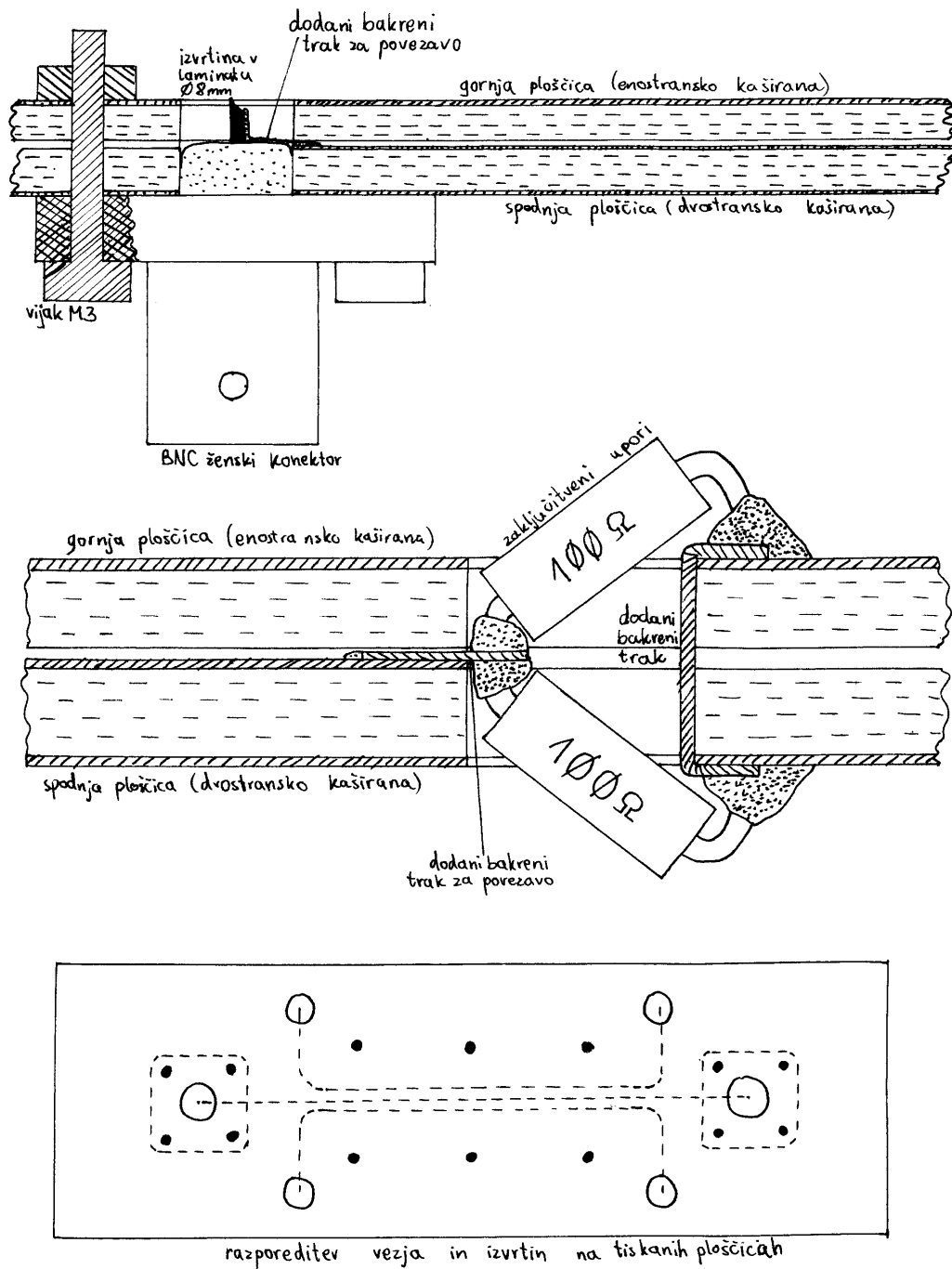
Slika 5B. – Sklopljene mikrostrip linije s kovinsko ploščo. Silnice električnega polja ne sekajo meje dielektrikov, zato sta kapacitivni in induktivni sklop v pravilnem medsebojnem razmerju in fazi. Reflektometer, zgrajen s takimi sklopljenimi linijami deluje pravilno v širšem frekvenčnem področju.



Slika 6. - Presek konstrukcije stripline smernega sklop-nika.



Slika 7. - Shema reflektometra.



Slika 8. - Montaža reflektometra.