

MOSTIČNI REFLEKTOMETER 100kHz - 2.5GHz

Matjaž Vidmar, YT3MV

1. Uvod

Radioamaterji smo vedno poskušali "oživeti" naše naprave s čim bolj skromnimi merilnimi inštrumenti preprosto zato, ker drugega nismo imeli na razpolago. Med najbolj osnovne merilne inštrumente spadata vsekakor AVO-meter in grid-dip meter, brez katerih samogradnja katerekoli naprave ni mogoča. Za tema dvema osnovnima inštrumentoma prideta na vrsto po pomembnosti digitalni frekvencometer in reflektometer.

Vsak merilni inštrument je samo toliko vreden, kolikor so točni in zanesljivi rezultati, ki jih z njim lahko izmerimo. Zal so ceneni tovarniški reflektometri zelo netočni: z reflektometri "ZetaGi the best for CB", "Daiwa" itd pravzaprav nimamo kaj meriti. "Inštrumente" te vrste prepoznamo že po tem, da je proizvajalec celo varčeval s številom vijakov, s katerimi je pritrdil konektorje na ohišje, v tehničnih navodilih pa je v najboljšem slučaju omenjeno le frekvenčno področje, nikjer pa ni prav nič zapisano o območju moči oddajnika, v katerem naj bi reflektometer pravilno deloval, kaj šele, da bi bila omenjena tudi točnost (smernost) reflektometra! Točnost takšnih "inštrumentov" je običajno v velikostnem razredu med 20% in 50% končnega odklona kazalca, razen tega pa zaradi neprimerne konstrukcije smernega sklopnika taki "inštrumenti" sami vnašajo neprilagoditev in slabljenje v antenski vod.

Za frekvence višje od 150MHz nimamo na amaterskem tržišču nobenega uporabnega inštrumenta, se najcenejši polprofesionalni "Bird" je zaradi visoke cene številnih potrebnih "vložkov" radioamaterjem skoraj nedostopen. Za frekvence do 2.5GHz so sicer na razpolago smerni sklopniki tovarne "EME-Technik" namenjeni radioamaterjem, iz katerih lahko doma sestavimo uporaben reflektometer za dve ali tri frekvenčna področja za okoli 500 DEM, od česar odpade 300 DEM na sam smerni sklopnik, izdelan iz številnih rezkanih sestavnih delov, ki niso poceni.

Doma sem tudi sam iskal čim enostavnejšo in zanesljivejšo rešitev, kako bi lahko pomeril prilagojenost anten in še kaj v čim širšem frekvenčnem področju. Za področji 144MHz in 432MHz sem si izdelal reflektometer s smernim sklopnikom v stripline (sendvič) tehniki (objavljen v biltenu CQ QRP in v časopisu Radioamater), za področji 1296MHz in 2304MHz pa sem uporabljal smerni sklopnik tovarne "EME=Technik" in poskusni mostični reflektometer lastne izdelave.

Reflektometri s smernimi sklopniki in navadnimi diodnimi detektorji potrebujejo za delovanje precejšnjo moč oddajnika, običajno med 10W in 100W, kar je pri eksperimentiranju z antenami oziroma meritvah na kablil silno nerodno. Sodu je izbilo dno novo radioamatersko področje 50MHz: za to področje kljub vsej opremi nisem imel uporabnega reflektometra oziroma zadosti močnega oddajnika!

Čeprav so v radioamaterski tehniki mostični reflektometri skoraj neznan, se pogosto uporabljajo v profesionalni tehniki. Za razliko od smernih sklopnikov je mostični reflektometer (skoraj) frekvenčno neodvisen in lahko dela v zelo širokem frekvenčnem

področju, z običajnimi diodnimi detektorji pa za meritev zadošča ze 1W oddajnik. Povrhu je izdelava in umerjanje takega reflektometra silno enostavno: svoj protopip sem izdelal, umeril in temeljito preizkusil v enem popoldnevu!

2. Veličine pri visokofrekvenčnih meritvah impedance

Razumevanje pojavov na visokofrekvenčnem vodu od oddajnika do antene je zahtevna tema: potrebno je dobro poznavanje vsaj srednješolske matematike in fizike. Nepoznavanje problemov in tudi netočni merilni instrumenti (CBjaški reflektometri itd) so pripomogli k razširjanju mnogih napačnih trditev tudi v razpoložljivo radioamatersko literaturo, se posebno v zanikrne časopise in biltene. Zato je potrebna posebna previdnost pri prebiranju literature, saj "kvazistrokovnjaki" često zaidejo v protislovja oziroma fizikalno nemogoče trditve, ko problema sami sploh ne razumejo.

Za nas je dodatna težava se v tem, da nimamo iz tega področja v slovenskem jeziku skoraj nobene literature, primerne za radioamaterje. Nasi radioamaterji zato uporabljajo ameriško-balkansko-turško izrazoslovje in to pogosto v nepravem pomenu besede. Zato bom tu najprej na kratko opisal, katere veličine sploh merimo z reflektometrom (glej sliko 1).

$$\Gamma = r = \frac{Z - Z_0}{Z + Z_0} \quad \left[\begin{array}{l} \text{velikost } \Gamma; |\Gamma| \\ \text{med } 0 \text{ in } 1 \end{array} \right]$$

$Z \equiv$ impedanca bremena

$Z_0 \equiv$ referenčna impedanca (običajno 50Ω)

Γ ali $r \equiv$ odbojnost (refleksijski koeficient)

$$\xi = \text{SWR} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad \left[\text{med } 1 \text{ in } \infty \right]$$

ξ ali $\text{SWR} \equiv$ valovitost (razmerje stojnega vala na vodu)

$$a_r = -20 \log_{10} |\Gamma| \quad \left[\text{v dB, med } 0 \text{ in } \infty \right]$$

$a_r \equiv$ prilagojenost (slabljenje odbitega vala)

$$a = -10 \log_{10} (1 - |\Gamma|^2) \quad \left[\text{v dB, med } 0 \text{ in } \infty \right]$$

$a \equiv$ izgube zaradi neprilagojenosti bremena

Slika 1 - Definicije odbojnosti, valovitosti, prilagojenosti in izgub zaradi neprilagojenosti bremena

Impedanca bremena je število, ki nam opisuje povezavo med izmeničnim tokom in napetostjo na bremenu. Za enosmerni tok je impedanca preprosto upornost, za izmenični tok pa je impedanca kompleksno število, čigar realni del predstavlja delovno upornost, imaginarni del pa jalovo (reaktivno) upornost.

Pri visokih frekvencah je težko meriti napetosti in tokove, ker so parazitne kapacitivnosti in induktivnosti voltmetrov in ampermetrov velike, zato tudi ne moremo

preprosto izmeriti impedanco bremena. Zato uporabljamo namesto impedanco drugačno veličino, ki jo imenujemo odbojnost ali refleksijski koeficient (angleško: reflection coefficient). Odbojnost označimo z veliko grško črko " Γ " (gama) ali pa z majhno latinsko črko "r". Odbojnost je na visokih frekvencah lažje meriti kot pa impedanco, v vsakem slučaju pa lahko s pomočjo izraza na sliki 1 zgoraj preračunamo impedanco v odbojnost oziroma odbojnost nazaj v impedanco.

Odbojnost je vedno definirana glede na neko referenčno impedanco, to je običajno 50Ω in ustreza karakteristični impedanci koaksialnega kabla. Odbojnost je neimenovano kompleksno število, njegova velikost (absolutna vrednost) pa je med 0 in 1. Pri tem pomeni 0 popolnoma prilagojeno breme, 1 pa popolnoma neprilagojeno breme.

Odbojnost ima za računanje in za meritve zelo zanimivo lastnost: če med merilnik in breme vstavimo brezizguben visokofrekvenčni vod (krajši kos koaksialnega kabla), ki ima karakteristično impedanco enako referenčni impedanci za odbojnost (običajno 50Ω), se izmerjena velikost (absolutna vrednost) odbojnosti ne spremeni, spremeni se le faza odbojnosti (argument kompleksnega števila) in to enostavno preprosto razmerje dolžini vstavljenega voda.

Odbojnost hkrati predstavlja razmerje med amplitudama napredujočega in odbitega vala na visokofrekvenčnem vodu. Od velikosti (absolutne vrednosti) odbojnosti je zato odvisna valovitost ali razmerje stojnega vala na vodu (angleško: standing wave ratio). Valovitost je neimenovano realno število med 1 in neskončno ter ga označimo z malo grško črko " ρ " (rho) oziroma kratico "SWR" (glej sliko 1 v sredini). Pri tem pomeni valovitost 1 popolnoma prilagojeno breme, valovitost neskončno pa popolnoma neprilagojeno breme.

Valovitost (SWR) se je pred mnogimi leti uporabljala v profesionalni tehniki, ko se je s primitivnimi merilnimi instrumenti (koaksialni ali valovodni merilni vod z utorom in pomično sondo) dalo naravnost približno meriti valovitost. Ker je valovitost neprikladna veličina za nadaljnje računanje in ne vsebuje informacije o fazi odbojnosti, se v profesionalni tehniki skorajda ne uporablja več. Razen tega je valovitost fizikalno nesmiselna veličina na resničnih vodih (kablji) z izgubami, ker so na izgubnem vodu maksimumi stojnega vala različno visoki, minimumi pa različno globoki in se zato razmerja med njimi (valovitosti) ne da definirati.

Valovitost (SWR) uporabljajo le še radioamaterji in CBjaši, ker le ti običajno ne poznajo fizikalnega ozadja pojavov na resničnih visokofrekvenčnih vodih ter z rezultati meritev običajno ne računajo oziroma ne znajo računati naprej. Vsi reflektometri naravnost merijo amplitudo odbojnosti, na skali instrumenta pa je običajno le izrisana tudi veličina valovitost (SWR). Zato smatram, da je ime SWR-meter neupravičeno, merilnik odbojnosti pa vseskozi imenujem merilnik odbojnosti ali reflektometer.

Prilagojenost bremena na prenosni vod in na izvor nam zato najboljše opisuje velikost (amplituda ali absolutna vrednost) odbojnosti. Prilagojenost (angleško: return loss) zato definiramo kar kot velikost odbojnosti, izraženo v logaritemskih enotah, se pravi decibelih. Tudi izgube zaradi neprilagojenosti bremena (angleško: mismatch loss) na vod je najlažje izračunati prav iz velikosti odbojnosti. Seveda tudi izgube izražamo v decibelih. Obe definiciji sta napisani na sliki 1 spodaj.

3. Osnove delovanja reflektometrov

Reflektometer je naprava, ki meri, koliko se odbojnost (impedanca, valovitost) bremena razlikuje od idealne vrednosti. Da je naprava enostavnejša, reflektometer običajno ne vsebuje lastnega izvora visokofrekvenčnega signala: v ta namen uporabimo kar oddajnik, ki ga imamo pri roki. Omejitev enostavnih reflektometrov je tudi v tem, da vsebujejo le enostavne diodne detektorje in znajo meriti le velikost (amplitudo) odbojnosti, ne pa tudi faze.

Odbojnost (impedanca, valovitost) bremena dosežejo idealno vrednost takrat, ko sta tok in napetost na bremenu v pravilnem medsebojnem razmerju in fazi. Reflektometer je zato naprava, ki meri tok in napetost. Za razliko od ampermetra in voltmetra pa reflektometer ne meri napetosti in toka posebej. Z ustreznim vezjem seštejemo oba visokofrekvenčna signala, vzorec toka in vzorec napetosti, ter njuno vsoto (razliko) vodimo na detektorje (diode).

Za frekvence do 30MHz lahko dobimo vzorec toka preko tokovnega transformatorja s toroidnim jedrom, vzorec napetosti pa preko kapacitivnega delilnika. Ker se da obe vezji izdelati širokopasovno, lahko tak reflektometer dela v celotnem kratkovalovnem področju od 1.5MHz do 30MHz. Ker imamo v kratkovalovnem področju običajno na razpolago močen oddajnik (100W in več), so povsem navadne germanijeve diode zadosti občutljivi detektorji.

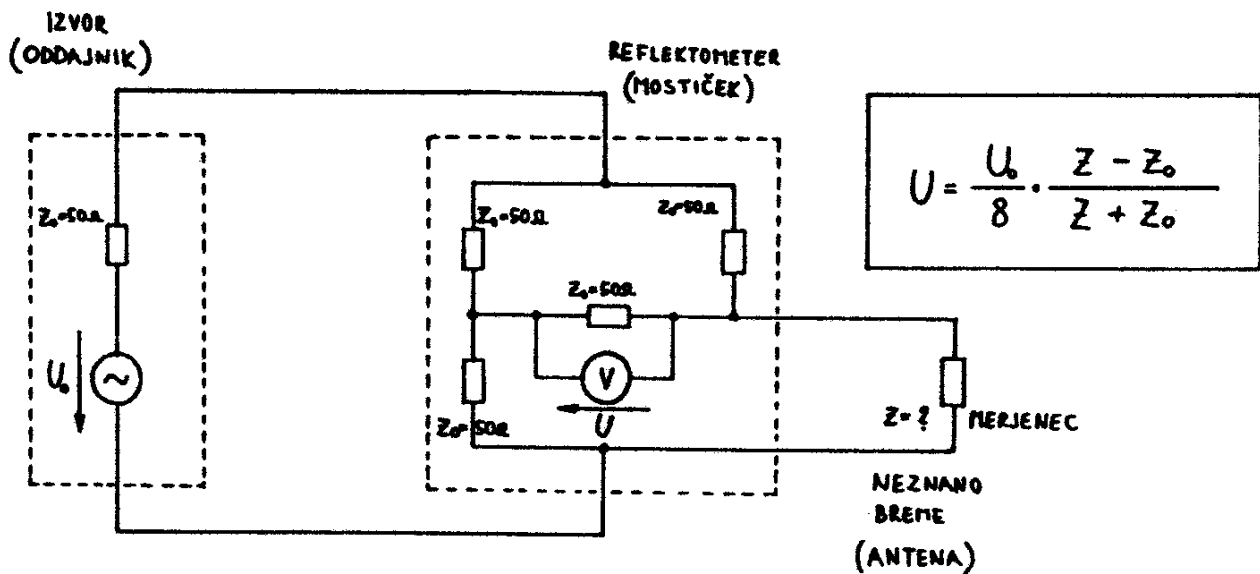
Za frekvence višje od 30MHz običajno izdelamo reflektometer s sklopljenimi vodi (smernimi sklopniki). Pri tem nam kapacitivni sklop med vodi daje vzorec napetosti, induktivni sklop med vodi pa vzorec toka. Če je sklopljeni vod primerno dimenzioniran in pravilno zaključen, lahko s takim smernim sklopnikom ločeno detektiramo napredujoči in odbiti val na glavnem vodu oziroma prilagojenost bremena.

Smerne sklopnike običajno izdelamo na tiskanem vezju (stripline sendvič tehnika) oziroma izrežemo vode iz kosa medenine (reflektometri Bird, sklopniki EME-Technik), radioamaterji pa so nasli se vrsto drugih duhovitih, a manj uspešnih rešitev. V obeh slučajih pa je težko doseči močnejši sklop od -15dB med glavnim in sklopljenim vodom, ker to zahteva izredno ozke tolerance izdelave.

Na frekvencah nad 30MHz je razpoložljiva moč oddajnika manjša, točnost enostavnih reflektometrov s smernim sklopnikom pa omejuje občutljivost detektorjev. Prag germanijevih diod znaša okoli 0.25V, kar pomeni, da lahko s takim detektorjem zaznamo okoli 1mW VF moči. Če želimo meriti prilagojenost do 30dB (valovitost 1.06) s sklopnikom -15dB, znasa potrebna moč oddajnika 30W! Še več, če smo sklopnik dimenzionirali za največji sklop na 432MHz, je potrebna moč oddajnika na 144MHz večja za 6dB oziroma 120W, na 50MHz pa za 15dB ali 1000W!

Če razpolagamo z izvorom majhne moči in neobčutljivimi detektorji, lahko izdelamo reflektometer tudi kot mostični merilnik, kot je to prikazano na sliki 2. Če rešimo enačbe vezja, ugotovimo, da je napetost v srednji veji mostička točno sorazmerna odbojnosti v amplitudi in fazi. Če želimo meriti prilagojenost do 30dB (valovitost 1.06) z mostičkom in enakim diodnim detektorjem kot v gornjem primeru, potrebujemo le 10W oddajnik, z 1W oddajnikom pa lahko merimo prilagojenost do 20dB (valovitost 1.22). Ker vsebuje

mostiček le upore, je širokopasovno vezje in se obnaša povsem enako v širokem frekvenčnem pasu.



Slika 2 - Princip delovanja mostičnega reflektometra

Mostični reflektometer ima še druge prednosti. Pri merjenju zelo neprilagojenih bremen (merjenje izgub v kablju) znaša odbojnost vezja za oddajnik največ 0.25 (oziroma valovitost 1.67), kar je za oddajnik povsem varna vrednost. Za konstruktorje je zanimivo tudi to, da lahko visoko točnost dosežemo s povsem simetrično konstrukcijo mostička, čeprav posamezni sestavni deli niso več primerni za delovanje na tako visokih frekvencah.ž

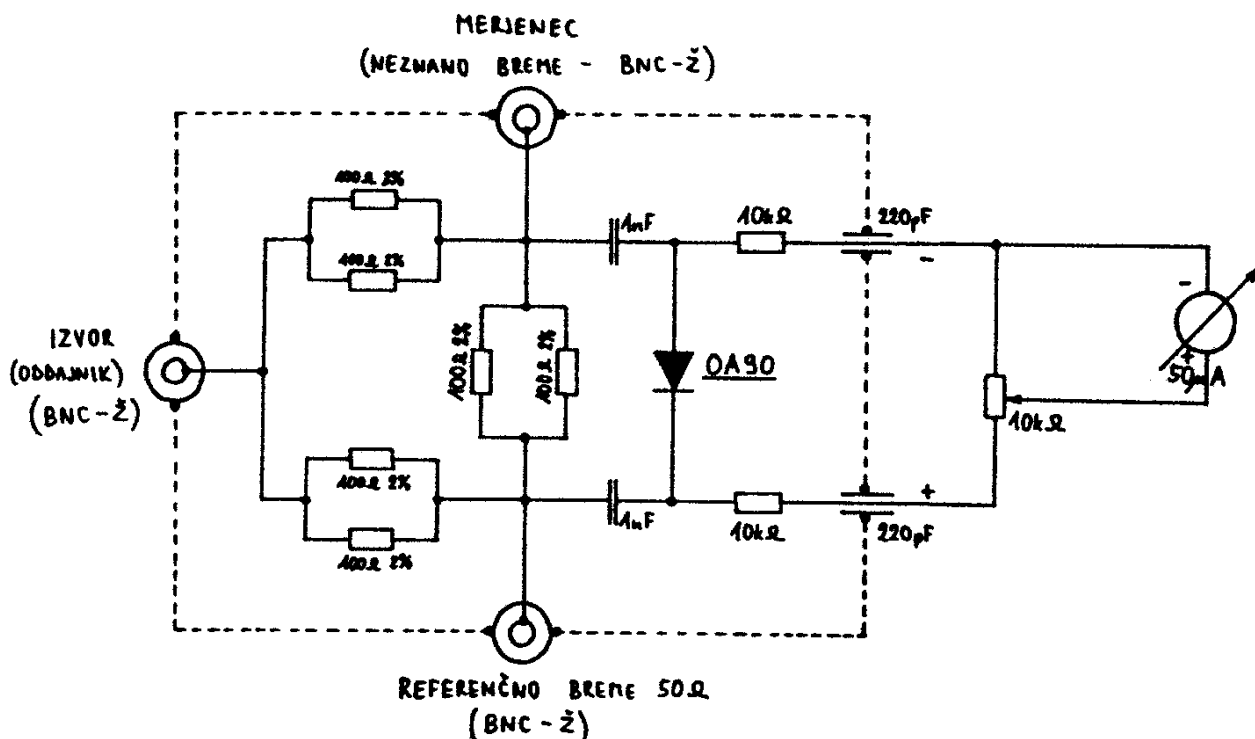
Edina slaba lastnost mostičnega reflektometra je ta, da vnaša v vod dodatno slabljenje 6dB. Mostičnega reflektometra zato ne moremo pustiti stalno vstavljenega v antenski vod, temveč ga uporabljamo le za meritve: navsezadnje je reflektometer merilni inštrument, ne pa privesek radijske postaje.

Nazadnje pa še to: v radioamaterski literaturi često zasledimo najrazličnejše mostične merilnike, imenovane "merilnik impedance antene", "antenski šumni most" itd. Kaj te stvari natančno počnejo, ni lahko uganiti? Običajno vsebujejo le en sam potenciometer, s katerim naj bi iskali ravnotežje mostička. Kako najti ravnotežje, ne vem, ker je bodisi impedanca ali pa odbojnost kompleksno število, zato pa moramo imeti na razpolago 2 (dva) spremenljiva sestavna dela v mostičku! Taksen mostiček se sicer da izdelati, vendar je njegova uporabnost (frekvenčno območje) zelo omejeno. Prav tako pomeni rezultat meritve s šumnim mostom zelo malo, če uspemo najti ravnotežje mostička daleč proč od željene frekvence.

4. Izvedba mostičnega reflektometra

Načrt enostavnega mostičnega reflektometra je prikazan na sliki 3. V izvedbi sem se odločil za enostaven diodni detektor, kar omogoča merjenje velikosti odbojnosti oziroma

prilagoditve. Mostiček ima tri visokofrekvenčne priključke: enega za izvor (oddajnik) ter dva enakovredna priključka za referenčno breme (50-ohmski upor) in za neznano breme (anteno). Referenčno breme (50-ohmski upor) namenoma ni vgrajeno v sam reflektometer, ker se s popolnoma simetrično mehansko konstrukcijo da doseči višjo mejno frekvenco oziroma točnejše merilne rezultate.



Slika 3 - Načrt mostičnega reflektometra

Točnost mostička je prvenstveno odvisna od tega, kako točne upore vgradimo v mostiček, pri visokih frekvencah pa bojo nagajale tudi parazitne kapacitivnosti in induktivnosti samih uporov. Večina radioamaterjev misli, da so za visoke frekvence najboljši masni upori, ker nimajo vrezane spirale (parazitna induktivnost) niti kopic na koncih (kapacitivnost). Žal ta trditev ne drži: zaradi velike debeline uporovne plasti (celotno telo upora) pri masnih uporih hudo moti kožni pojav, upornost masnih uporov pa se na frekvencah nad 100MHz zato hitro večja! Poskusi s profesionalnimi masnimi upori (Allen Bradley) zato niso dali željenih rezultatov.

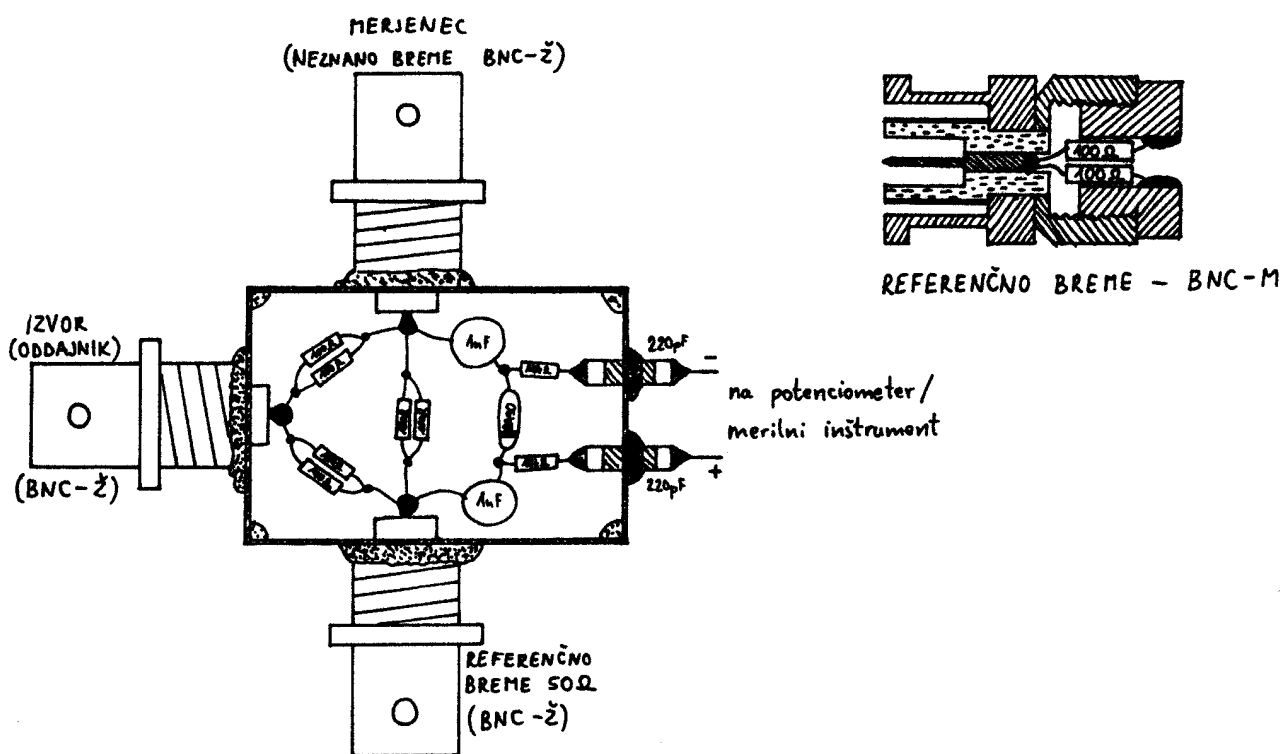
Za visoke frekvence moramo zato uporabljati čim bolj tankoslojne upore. Ocena parazitnih kapacitivnosti in induktivnosti podolgovatega telesa običajnih uporov pokaže, da bojo nezaželjeni vplivi najmanjši pri upornostih med 100Ω in 200Ω. 50Ω upor je zato smiselno sestaviti kot vzporedno vezavo dveh 100Ω oziroma treh 150Ω uporov. Pri izbiri samih uporov se splača tudi uničiti nekaj vzorcev, da si ogledamo njihovo notranjo konstrukcijo (število ovojev spirale, vrezane v uporovno plast).

V prototipu sem uporabil 100Ω metal-film 1/4W 2% upore (dolžine okoli 7mm in premera okoli 2.5mm), ki imajo vrezano spiralo z dvema ovojemoma v uporovno plast. Prilagojenost bremena iz dveh taksnih uporov je boljša od 20dB na 432MHz (valovitost pod 1.22) in boljša od 10dB na 2.3GHz (valovitost pod 1.91). Zahvaljujoč se simetrični

konstrukciji mostička se da doseči tudi s takimi upori celo boljše merilne rezultate: simetrijo mostička se da doseči boljše od 30dB na 432MHz (3% končnega odklona kazalca) in boljše od 25dB na 2.3GHz (5% končnega odklona kazalca)!

Kot detektor sem uporabil cisto navadno germanijevo diodo OA90. Pri izbiri diode velja pravilo, da se najboljše obnesejo diode, ki so jih nekoč uporabljali kot video detektorje v televizijskih sprejemnikih. Te diode lahko delujejo celo do 4GHz, ostale germanijeve diode pa so dosti slabše (na primer OA95 itd). Visokofrekvenčni signal pripeljemo na diodo preko dveh 1nF keramičnih disk kondenzatorjev, dobljeno enosmerno napetost pa odvedemo preko dveh uporov 10kohm, ki imata vlogo visokofrekvenčnih dušilk, saj se za celotno frekvenčno področje mostičnega reflektometra ne da izdelati pravih visokofrekvenčnih dušilk.

Izvedba visokofrekvenčne "merilne glave" mostičnega reflektometra je prikazana na sliki 4. Oblika in dimenzije škatlice iz tanke medeninaste pločevine so odvisne predvsem od vrste uporabljenih konektorjev. Priporočam BNC ženske konektorje UG1094, ki jih je treba priciniti na škatlico, kot je to prikazano na sliki 4, matice in podložke pa ne uporabimo! V tem primeru je dolžina škatlice 36mm, širina 24mm in višina 18mm. Pri vgradnji sestavnih delov visokofrekvenčne glave je treba paziti predvsem na simetrijo, ker je od tega odvisna točnost (smernost) pri visokih frekvencah.



Slika 4 - Izvedba merilne glave reflektometra in ref. bremena

Paziti je treba še pri izbiri konektorjev. S pojavom cenene računalniske tehnike so se pojavile na tržišču tudi zelo nekvalitetno izdelane BNC vtičnice, ki jih prepoznamo po slabi izolaciji (cenena siva plastika namesto teflona) ali nekvalitetnem srednjem kontaktu (ni okrogel oziroma ni izdelan iz pravega vzmetnega materiala). Taki konektorji seveda ne sodijo v visokofrekvenčni merilni instrument! Tudi najboljši BNC konektorji sicer niso primerni za točne meritve nad 500MHz, pri mostičnem reflektometru pa nas spet rešuje

simetrična konstrukcija vezja.

Pri frekvencah nad 500MHz začne odstopati tudi karakteristična impedanca cenениh koaksialnih kablov, kot je RG58, od nazivne vrednosti 50Ω. Zato moramo za točne meritve uporabljati boljše kable, na primer RG223 (s polietilensko izolacijo in dvojnimi oklopi) oziroma RG141 (s teflonsko izolacijo in dvojnimi oklopi). Obe navedeni vrsti kabla imata sicer podobne dimenzije kot RG58.

Reflektometer potrebuje še kvaliteten potenciometer 10kohm (najboljše žični helipot na 10 obratov) za nastavitve občutljivosti in mikroamperimeter z vrtljivo tuljavico za 50μA (lahko tudi 100μA). Ker je odklon kazalca točno sorazmeren z usmerjeno visokofrekvenčno napetostjo, se splača izbrati instrument z linearno skalo od 0 do 1, na kateri potem naravnost odčitamo velikost odbojnosti. Če sta potenciometer in mikroamperimeter vgrajena v isto kovinsko škatlo kot škatlica z visokofrekvenčno merilno glavo, potem na tej zadnji zadoščajo skozniki 220pF na obeh dovodih.

Za mostični reflektometer je treba izdelati še referenčno breme (upor 50Ω), če takega upora ne moremo dobiti že narejenega. Breme 50Ω izdelamo preprosto tako, da vgradimo dva upora 100Ω v moški BNC konektor UG88. Tako breme je uporabno do približno 500MHz, za višje frekvence pa odbojnost bremena zmanjšamo tako, da med breme in mostiček vstavimo dobro prilagojen slabilec (atenuator). Tak slabilec je lahko preprosto daljši kos 50Ω koaksialnega kabla!

Če pri gradnji mostička in referenčnega bremena uporabimo 100Ω 1/4W upore, potem bo vezje trajno preneslo moč oddajnika 2W, trenutno pa 5W do 10W. Če želimo meriti s še večjimi močmi, je treba ustrezno povečati upore, kar pa zaradi večjih dimenzij zniža gornjo frekvenčno mejo oziroma točnost merilnika.

5. Umerjanje in uporaba mostičnega reflektometra

Sposobnost reflektometra, da razlikuje med napredujočim in odbitim valom na vodu, imenujemo smernost (anglesko: directivity). Smernost je enaka prilagojenosti, ki nam jo pokaže reflektometer, ko ga priključimo na idealno breme z odbojnostjo enako nič. Smernost določa točnost meritve z reflektometrom: rezultat meritve velikosti odbojnosti lahko odstopa navzgor ali navzdol natančno za vrednost smernosti.

Smernost reflektometrov kazijo netočno izdelani smerni sklopniki in netočni referenčni upori v reflektometru. V cenениh reflektometrih (za CB) smernost omejuje nepravilno izdelan smerni sklopnik, izjedkan na enostranskem tiskanem vezju. Smernost takega sklopnika ne more biti boljša od 15dB v širšem frekvenčnem področju. Seveda se da izdelati tudi dober smerni sklopnik v tehniki tiskanih vezij (stripline sendvič tehnika) oziroma z zračnimi vodi, smernost pa tedaj omejujejo zaključitveni (referenčni) upori na okoli 30dB (3%) v amaterski izvedbi oziroma 40dB (1%) v profesionalni izvedbi. Ista omejitev velja tudi za mostični reflektometer, ki ne vsebuje sklopnikov.

Pri preverjanju smernosti reflektometra moramo preveriti tudi občutljivost diodnih detektorjev. Kaj lahko se zgodi, da ima reflektometer sicer slabo smernost, ki je ne opazimo zaradi nezadostne občutljivosti detektorja (kolena diode, okoli 0.25V za

germanijeve diode). V opisanem mostičnem reflektometru občutljivost detektorja omejuje preverjanje smernosti na okoli 20dB pri 1W moči oddajnika oziroma 30dB pri 10W moči oddajnika. Mostiček je torej zadosti občutljiv, da za vse meritve kot izvor (oddajnik) zadošča že toki-voki.

Pri mostičnem reflektometru je smernost neposredno povezana s simetrijo vezja. Smernost mostička preverimo tako, da priključimo v obe veji mostička enaka 50-ohmska referenčna upora. Če smo se potrudili in so sestavni deli mostička vgrajeni res simetrično, se kazalec mikroampermetra sploh ne bo odklonil pri frekvencah vse do 500MHz. Pri še višjih frekvencah pa bo treba nastaviti simetrijo mostička. To najlažje storimo s premikanjem 1nF disk kondenzatorjev, ki vodijo VF signal na diodo: s spreminjanjem razdalje med telesom kondenzatorja in steno škatlice visokofrekvenčne glave spreminjamo parazitno kapacitivnost veje mostička proti masi.

Za razliko od reflektometra z dvema smernima sklopnikoma ima mostiček en sam detektor. Občutljivost mikroampermetra nastavimo tako, da pri popolnoma neprilagojenem bremenu nastavimo polni odklon. To storimo enostavno tako, da odklopimo merjenec, saj se da BNC konektorje enostavno razklapljati in spet sklappjati. Pravilno delovanje reflektometra nadalje preverimo še tako, da kot merjenec priključimo različno dolge kose nezaključenega kabla. Vse dokler so izgube v priključenem kosu kabla zanemarljivo majhne, mora mikroampermeter kazati natančno polni odklon. Končno, simetrijo mostička preverimo tudi tako, da med sabo zamenjamo merjenec in referenčno breme, odklon mikroampermetra se pri tem seveda ne sme spremeniti.

Pri meritvah z mostičnim reflektometrom moramo se preveriti, da se izhodna moč izvora (oddajnika) med meritvijo ne spreminja. Nekateri tovarniški radioamaterski oddajniki imajo namreč vgrajeno zaščito, ki znižuje moč oddajnika na neprilagojenem bremenu. Pri mostičnem reflektometru znaša največja odbojnost na priključku za oddajnik 0.25 (valovitost 1.67) takrat, ko je merjenec popolnoma neprilagojen (odprte sponke ali kratek stik). Odbojnost 0.25 ni v nobenem slučaju nevarna za oddajnik, je pa zadosti velika, da v nekaterih oddajnikih sproži zaščitno vezje.

Opisani mostični reflektometer vsebuje enostaven detektor z diodo, zato je skala mikroampermetra kar sorazmerna velikosti odbojnosti in popolnoma ustreza skali na reflektometrih s smernimi sklopniki in enakimi diodnimi detektorji, ki delajo v linearnem delu usmerniške krivulje diode. Zato izberemo mikroampermeter s skalo od 0 do 1 (ali od 0 do 10), s katere lahko naravnost odčitamo odbojnost. Ostale veličine: valovitost (SWR), prilagojenost in izgube zaradi neprilagoditve lahko naravnost izračunamo preko definicij na sliki 1 oziroma uporabimo vnaprej izračunano tabelo na sliki 5.

$\Gamma(r)$	$\rho(\text{SWR})$	ar	a	$\Gamma(r)$	$\rho(\text{SWR})$	ar	a
0.00	1.00	99.99dB	0.00dB	0.50	3.00	6.02dB	1.25dB
0.01	1.02	40.00dB	0.00dB	0.51	3.08	5.85dB	1.31dB
0.02	1.04	33.98dB	0.00dB	0.52	3.17	5.68dB	1.37dB
0.03	1.06	30.46dB	0.00dB	0.53	3.26	5.51dB	1.43dB
0.04	1.08	27.96dB	0.01dB	0.54	3.35	5.35dB	1.50dB
0.05	1.11	26.02dB	0.01dB	0.55	3.44	5.19dB	1.56dB
0.06	1.13	24.44dB	0.02dB	0.56	3.55	5.04dB	1.63dB
0.07	1.15	23.10dB	0.02dB	0.57	3.65	4.88dB	1.71dB
0.08	1.17	21.94dB	0.03dB	0.58	3.76	4.73dB	1.78dB
0.09	1.20	20.92dB	0.04dB	0.59	3.88	4.58dB	1.86dB
0.10	1.22	20.00dB	0.04dB	0.60	4.00	4.44dB	1.94dB
0.11	1.25	19.17dB	0.05dB	0.61	4.13	4.29dB	2.02dB
0.12	1.27	18.42dB	0.06dB	0.62	4.26	4.15dB	2.11dB
0.13	1.30	17.72dB	0.07dB	0.63	4.41	4.01dB	2.20dB
0.14	1.33	17.08dB	0.09dB	0.64	4.56	3.88dB	2.29dB
0.15	1.35	16.48dB	0.10dB	0.65	4.71	3.74dB	2.38dB
0.16	1.38	15.92dB	0.11dB	0.66	4.88	3.61dB	2.48dB
0.17	1.41	15.39dB	0.13dB	0.67	5.06	3.48dB	2.59dB
0.18	1.44	14.89dB	0.14dB	0.68	5.25	3.35dB	2.70dB
0.19	1.47	14.42dB	0.16dB	0.69	5.45	3.22dB	2.81dB
0.20	1.50	13.98dB	0.18dB	0.70	5.67	3.10dB	2.92dB
0.21	1.53	13.56dB	0.20dB	0.71	5.90	2.97dB	3.05dB
0.22	1.56	13.15dB	0.22dB	0.72	6.14	2.85dB	3.17dB
0.23	1.60	12.77dB	0.24dB	0.73	6.41	2.73dB	3.31dB
0.24	1.63	12.40dB	0.26dB	0.74	6.69	2.62dB	3.44dB
0.25	1.67	12.04dB	0.28dB	0.75	7.00	2.50dB	3.59dB
0.26	1.70	11.70dB	0.30dB	0.76	7.33	2.38dB	3.74dB
0.27	1.74	11.37dB	0.33dB	0.77	7.70	2.27dB	3.90dB
0.28	1.78	11.06dB	0.35dB	0.78	8.09	2.16dB	4.07dB
0.29	1.82	10.75dB	0.38dB	0.79	8.52	2.05dB	4.25dB
0.30	1.86	10.46dB	0.41dB	0.80	9.00	1.94dB	4.44dB
0.31	1.90	10.17dB	0.44dB	0.81	9.53	1.83dB	4.64dB
0.32	1.94	9.90dB	0.47dB	0.82	10.11	1.72dB	4.85dB
0.33	1.99	9.63dB	0.50dB	0.83	10.76	1.62dB	5.07dB
0.34	2.03	9.37dB	0.53dB	0.84	11.50	1.51dB	5.31dB
0.35	2.08	9.12dB	0.57dB	0.85	12.33	1.41dB	5.57dB
0.36	2.12	8.87dB	0.60dB	0.86	13.29	1.31dB	5.84dB
0.37	2.17	8.64dB	0.64dB	0.87	14.38	1.21dB	6.14dB
0.38	2.23	8.40dB	0.68dB	0.88	15.67	1.11dB	6.47dB
0.39	2.28	8.18dB	0.72dB	0.89	17.18	1.01dB	6.82dB
0.40	2.33	7.96dB	0.76dB	0.90	19.00	0.92dB	7.21dB
0.41	2.39	7.74dB	0.80dB	0.91	21.22	0.82dB	7.65dB
0.42	2.45	7.54dB	0.84dB	0.92	24.00	0.72dB	8.14dB
0.43	2.51	7.33dB	0.89dB	0.93	27.57	0.63dB	8.69dB
0.44	2.57	7.13dB	0.93dB	0.94	32.33	0.54dB	9.34dB
0.45	2.64	6.94dB	0.98dB	0.95	39.00	0.45dB	10.11dB
0.46	2.70	6.74dB	1.03dB	0.96	49.00	0.35dB	11.06dB
0.47	2.77	6.56dB	1.08dB	0.97	65.67	0.26dB	12.28dB
0.48	2.85	6.38dB	1.14dB	0.98	99.00	0.18dB	14.02dB
0.49	2.92	6.20dB	1.19dB	0.99	199.00	0.09dB	17.01dB
0.50	3.00	6.02dB	1.25dB	1.00	999.99	0.00dB	99.99dB

slika 5 - Odbojnost, valovitost, prilagojenost in izgube

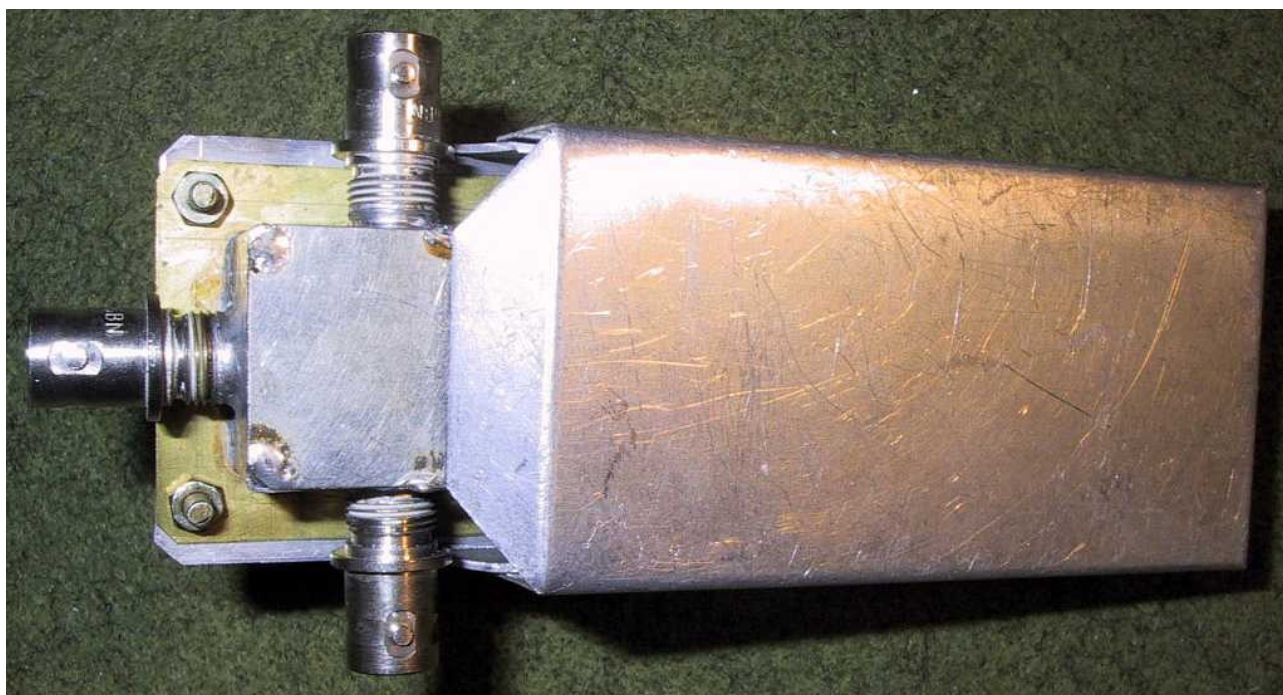
6. Zaključek

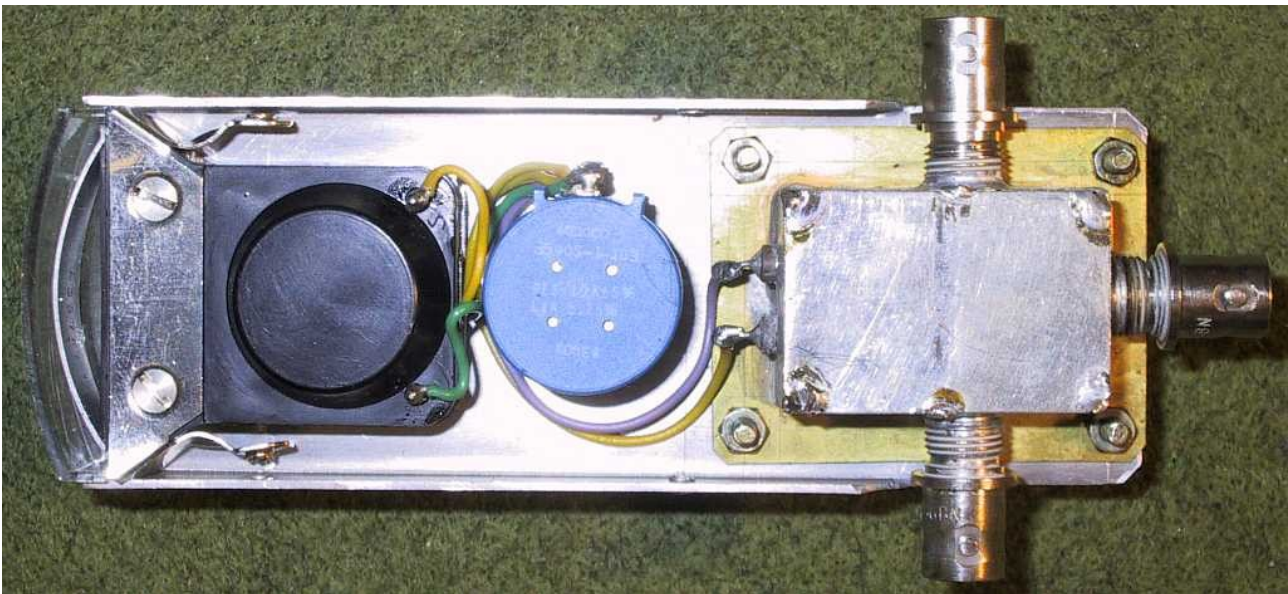
V tem članku sem imel namen opisati enostavno konstrukcijo reflektometra, ki dela v zelo širokem frekvenčnem področju in zahteva le majhno moč oddajnika: za točno meritev zadošča za toki-voki ali QRP oddajnik. Ker je reflektometer merilni inštrument, moramo pred samo meritvijo temeljito preveriti njegovo delovanje in dosegljivo točnost ne glede na to, če smo reflektometer naredili sami ali uporabljamo tovarniški izdelek.

Gornja frekvenčna meja izdelanega prototipa opisanega mostičnega reflektometra dosega 2.5GHz, kar pomeni, da se da z amaterskimi sredstvi doseči zelo dobre rezultate. Tudi manj izkušeni graditelji bi morali zato z lahkoto doseči vsaj 432MHz, kar je tudi najvišja frekvenca, ki jo večina amaterjev še uporablja.

Hkrati sem skušal opisati osnovne veličine, ki jih merimo z reflektometrom, ker imam občutek, da večina naših radioamaterjev ne razume niti pomena osnovnih pojmov. Glavni vzrok je verjetno pomanjkanje literature, ki bi bila amaterjem dostopna in razumljiva. Ker se v članku, dolgem komaj nekaj strani, ne da narediti čudežev, se bom na temo visokofrekvenčnih vodov, izgub, odbojev in stojnih valov verjetno vrnil že v naslednji številki biltena.

Z reflektometrom se da narediti veliko zanimivih meritev in to ne samo na antenah. Žal so proizvajalci priveskov za radijske postaje temeljito izkoristili neznanje radioamaterjev in preplavili tržišče s skoraj neuporabnimi škatlicami. Prilagojenost (valovitost ali SWR) še zdaleč ni najpomembnejša lastnost radioamaterske antene, če pa je izmerjena z netočnim merilnikom, je rezultat se toliko bolj nepomemben: SWR škatlice imajo ponavadi le rdeče pobarvano polje nad valovitostjo 3, na sliki 5. pa vidimo, da vnaša valovitost 3 dodatne izgube komaj 1.25dB, manj kot četrtno S-stopnje, kar ne bo naš korespondent nikoli opazil!





* * * * *