

Jednostavan instrument za mjerenje impedancije antene

Simple Instrument for Antenna Impedance Measuring

Mjerilo impedancije antene je instrument koji bi većina radioamatera htjela imati, ali su komercijalni instrumenti te vrste (npr. MFJ259B i sl.) relativno skupi za većinu radioamatera, posebno ako će instrument upotrijebiti samo nekoliko puta godišnje. U ovom se članku prikazuje jednostavnom i jeftin instrument za određivanje kompleksnoga otpora (impedancije) antene, kombiniran s grafičkim postupkom, koji je objavio Doyle Strandlund, W8CGD, u časopisu QST od lipnja 1965. godine.

Postupak se temelji na mjerenju napona u serijskom krugu, koji se sastoji od poznatoga djelatnog i kapacitivnog otpora, te nepoznatoga kompleksnog otpora antene. Serijski se krug napaja iz odašiljača na radnoj frekvenciji, a mjere se naponi na elementima u krugu. Rezultati se unose u vektorski dijagram, iz kojih se očitava aktivna komponenta impedancije antene R_z i reaktivna komponenta $\pm j X$.

Instrument za mjerenje

Schema mjernoga instrumenta prikazana je na sl. 1. Iz nje se vidi da se napon mjeri u pet točaka pomoću digi-

talnoga voltmetra, zbog njegovoga velikoga unutarnjeg otpora i točnosti.

Kondenzator C se mijenja zavisno od frekvencije, odnosno frekvencijskoga opsega na kojem se određuje impedancija antene, jer njegov reaktivni otpor mora biti uvijek oko 50Ω . U primjeni zadovoljavaju i vrijednosti u rasponu 25 do 100Ω , što daje širokopojasnost, pa jedan kondenzator može pokrivati cijeli opseg. Poželjno je da kondenzator bude stirofleksni ili keramički.

Kondenzator C ima vrijednosti: 2000 pF za opseg $1,8 \text{ MHz}$, 1000 pF za opseg $3,5 \text{ MHz}$, 500 pF za opseg 7 MHz , 300 pF za opseg 14 MHz , 200 pF za opseg 21 MHz , 100 pF za opseg 28 MHz , 50 pF za opseg 50 MHz i 22 pF za opseg 144 MHz .

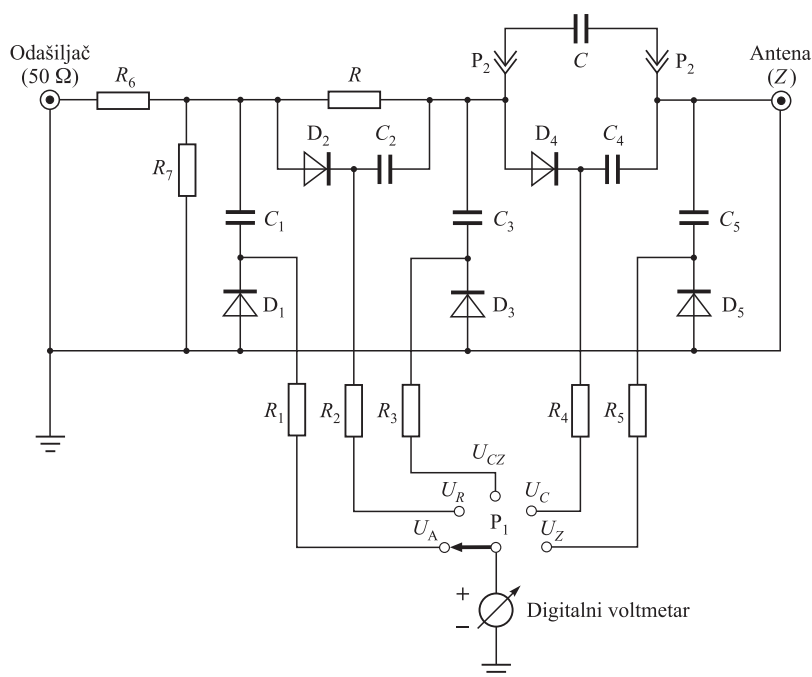
Dijelovi su:

- Otpornik R , koji mora biti ugljeni ili neki drugi neinduktivni, vrijednosti $50 \Omega/1 \text{ W}$ (5% ili bolji). Svi spojevi moraju biti što kraći kako se ne bi unosio dodatni kapacitet i induktivitet.
- Stirofleksni ili keramički kondenzatori C_1 do C_5 , kapaciteta po $1000 \text{ pF}/20\%/500 \text{ V}$.

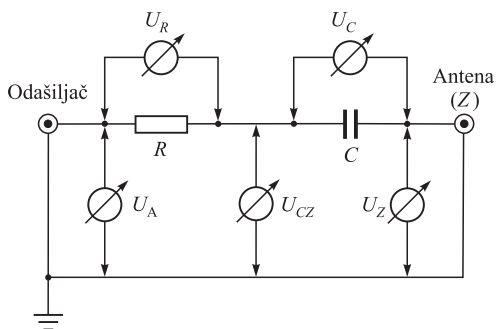
- VF germanijske diode D_1 i D_2 , 1N191 ili sl.
- Priključnice su SO 239 ili BNC),
- Ostali otpornici su vrijednosti R_1 do R_5 po $1 \text{ M}\Omega$, R_6 čini pet paralelno spojenih otpornika po $220 \Omega/2 \text{ W}$ (ugljeni), i R_7 je $10 \Omega/2 \text{ W}$ (ugljeni).
- P_1 i P_2 su keramički preklopnici.

Način mjerenja i određivanje impedancije

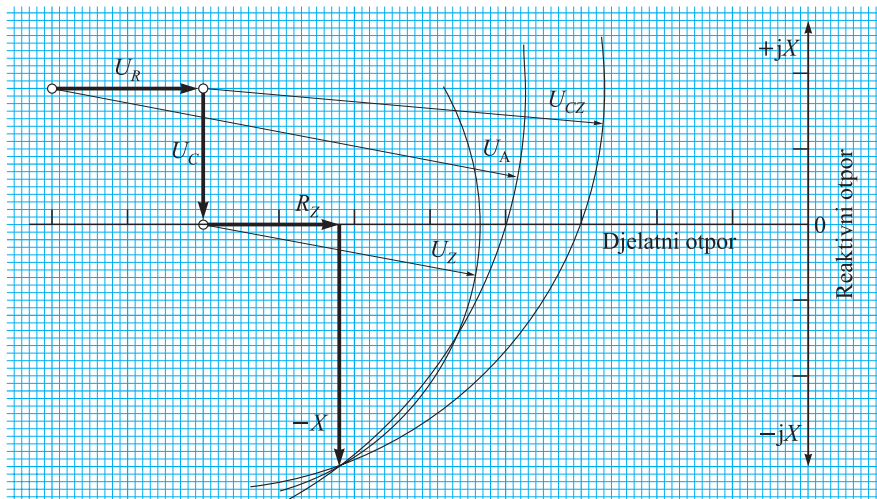
Raspored uređaja za mjerenje impedancije prikazan je na sl. 2., na kojoj se vide mjerne točke na kojima se mjeri napon. Generator signala je odašiljač sa snagom oko 10 W , da bismo dobili odgovarajuće napone. Mjeri se napon napajanja U_A , pad napona U_R na otporu R , napon U_C na kondenzatoru C , kao i napon U_Z na nepoznatoj impedanciji antene Z . Mjerimo i napon U_{CZ} na serijskom spoju kondenzatora i antene. Te napone kao vektore poznate vrijednosti i smjera (U_R i U_C) nanosimo u dijagram (sl. 3.). Za to je potreban milimetarski papir, šestar, trokut i olovka. Izabrat ćemo impedanciju koju ćemo mjeriti $Z = (47 - j 77) \Omega$, koju smo dobili spaja-



Slika 1. – Shema instrumenta za određivanje impedancije antene



Slika 2. – Raspored mjernih točaka u instrumentu



Slika 3. – Vektorski dijagram nacrtan iz izmjerenih vrijednosti napona na milimetarskom papirul

njem u seriju otpornika $R = 47 \Omega$ i kondenzatora od 560 pF , koji na radnoj frekvenciji $3\,675 \text{ kHz}$ ima kapacitivni otpor od $-j\,77 \Omega$.

- Prvo se izabere odgovarajući kondenzator kapaciteta C , čiji kapacitivni otpor X_C iznosi približno 50Ω na frekvenciji mjerenja. To je kapacitet od oko $1\,000 \text{ pF}$ za opseg od $3,5 \text{ MHz}$. Kapacitet C se računa za bilo koju frekvenciju f iz jednadžbe za induktivni otpor $X_C = 1/(2\pi \times f \times C)$, iz čega slijedi $C = 1/(2\pi \times f \times X_C)$.
- Snaga odašiljača odabere se tako da napon U_R bude $0,5 \text{ V}$ do 1 V , npr. 1 V . Nakon toga snaga odašiljača se ne mijenja, sve dok se ne završi mjerenje. Vrijednost 1 V nanosimo na milimetarski papir na vodoravnu os u određenom mjerilu, npr. $1 \text{ V} \approx 20 \text{ mm}$. Ujedno ta vrijednost odgovara poznatom otporu $R = 50 \Omega$.
- Izmjeri se na kondenzatoru C napon $U_C = 0,9 \text{ V}$, te se odredi njegova vrijednost u odnosu na $1 \text{ V} \approx 20 \text{ mm}$, tj. $0,9 \text{ V} \times 20 \text{ mm/V} = 18 \text{ mm}$. Zbog faznoga pomaka prema aktivnom otporu nanosi se prema dolje pod kutom 90° . Za ta dva poznata elementa, R i C , znamo sada i vrijednost i smjer vektorskih veličina napona i otpora, te će oni biti temelj za određivanje nepoznate rezultante $Z = R_Z \pm j X$.

- Od vrha vektora U_C crtamo vodoravnu crtu na desno, na kojoj će se odrediti vrijednost vektora R_Z .
- Mjerimo napon $U_A = 3,14 \text{ V}$ i određujemo njegovu vrijednost u milimetrima, tj. $3,14 \text{ V} \times 20 \text{ mm/V} = 62,8 \text{ mm}$. To je vrijednost polumjera kružnice sa središtem u početku vektora U_R , koju ucrtavamo u dijagram.
- Zatim mjerimo napon $U_{CZ} = 2,65 \text{ V}$ i izračunavamo njegovu vrijednost u milimetrima, tj. $2,65 \text{ V} \times 20 \text{ mm/V} = 53 \text{ mm}$. To je polumjer kružnice sa središtem u spoju vektora U_R i U_C .

- Nakon toga mjerimo napon $U_Z = 1,82 \text{ V}$; i izračunavamo njegovu vrijednost u milimetrima, tj. $1,82 \text{ V} \times 20 \text{ mm} = 36,4 \text{ mm}$. To je polumjer kružnice sa središtem u vrhu vektora U_C .
- Presjek svih triju kružnica određuje vrh vektora nepoznate reaktancije, čiju vrijednost očitavamo kao $X = 32 \text{ mm}$. Ako je vektor ispod vodoravne crte, tj. okrenut prema dolje, onda je reaktancija kapacitivna, tj. $-j X$, što je naš slučaj, a ako je okrenut prema gore onda je reaktancija induktivna, tj. $+j X$. Ako se tri kružnice sijeku tako da se dobije mali trokut, u njegovom središtu je vrh vektora X . To se može dogoditi ako postoji izrazitija pogreška u mjerenju bilo kojeg napona.
- Od tog vrha vektora X povlačimo crtu prema dolje ili gore kao u našem primjeru. Na presijeku s vodoravnom crtom je vektor R_Z , s početkom u vrhu vektora U_C . Vrijednost toga vektora je realni dio impedancije $Z = R_Z \pm j X$, a očitana je kao 18 mm . Zatim iz zadanoga mjerila određujemo vrijednosti R_Z i X . Kako smo postavili odnos da $50 \approx 20 \text{ mm}$, to je vrijednost jednoga milimetra ($50/20$) Ω/mm , tj. $2,5 \Omega/\text{mm}$. Vrijednost otpora R_Z slijedi iz $R_Z = 18 \text{ mm} \times 2,5 \Omega/\text{mm} = 45 \Omega$. Vrijednost reaktancije X slijedi iz $X = 32 \text{ mm} \times 2,5 \Omega/\text{mm} = 80 \Omega$. Slijedi da je impedancija $Z = (45 - j 80) \Omega$. Vidimo da nam mjereni rezultat prihvatljivo odstupa od stvarne vrijednosti impedancije.

Instrument na sl. 4. i 5. načinio je Vlado, 9A2NV, u Radioklubu Zagreb, za potrebe mjerenja u okviru radionice, na kojoj su bili zainteresirani radioamateri iz više klubova.



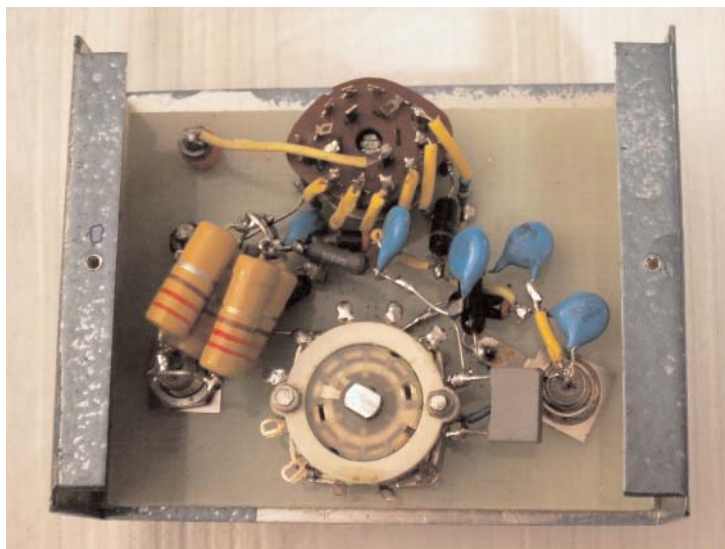
Slika 4. – Izgled instrumenta izrađenoga u Radioklubu Zagreb, prednja strana (oznake napona su kao u izvornome članku)

Zbog originalnoga rješenja mjerenja impedancije taj je instrument i poslije 40 godina ponovo zanimljiv. Naponi se mjere pomoću digitalnoga voltmetra, umjesto analognoga, čime se dobiva na točnosti, te umjesto grafičkoga postupka određivanja impedancije, možete mjerne rezultate unijeti u program koji je dat na web.ukonline.co.uk/g3ldo/aegextra.htm, te time dobiti brži i točniji rezultat.

Mjerenje može biti kritično pri frekvencijama višim od 50 MHz, jer se javljaju problemi s parazitnim induktivitetima i kapacitetima spojnih vodova, što unosi zamjetnu pogrešku mjerenja. Na to treba obratiti pozornost pri konstruiranju i izradi tiskane pločice.

Također je zbog karakteristike germanijskih dioda poželjno da naponi koji se mjere ne budu niži od 0,3 V, jer bi već bile velike pogreške mjerenja, što se regulira snagom odašiljača. Pri mjerenju ulazne impedancije antena, električna duljina spojnog koaksijalnog kabla mora biti cjelobrojni umnožak polovice električne valne duljine. Time se postiže preslikavanje impedancija antene na strani kabla gdje mjerimo. Može se mjeriti na samoj anteni, s kratkim kablom, ako je to moguće.

Opisani instrument i postupak mjerenja impedancije, mogu se primijeniti za mjerenje antena, *baluna*, transformatora impedancije, kao i raznih filtara, krugova za prilagođavanje otpora, kapaciteta i induktiviteta.



Slika 5. – Unutrašnjost instrumenta

Literatura:

1. *Amateur Measurement of R+jX*, by Doyle Strandlund, W8CGD. QST, 1965.
2. <http://web.ukonline.co.uk/g3ldo/aegextra.htm>
3. <http://www.qsl.net/n8xpv/index.html>
4. <http://hamradio.hr/9a4zz>