

Piše: **Mladen Petrović**, 9A4ZZ

# Prilagođenje antena grafičkom metodom

## Uvod

Radioamateri izbjegavaju raditi prilagođenje antene s zavojnicama i kondenzatorima kod antene i koriste antenske *tjunere* kod odašiljača. To je zato što se ne upuštaju u princip rada mreže za prilagođenje. Iako postoji više načina da se to izračuna, mnogi nisu spremni koristiti Smithov dijagram i gotove obrasce. Prezentirat ću jednu metodu koja je jednostavna i koja me ponukala da je objavim u Radio HRS-u i mom *web siteu* ([www.hamradio.hr/9a4zz](http://www.hamradio.hr/9a4zz)).

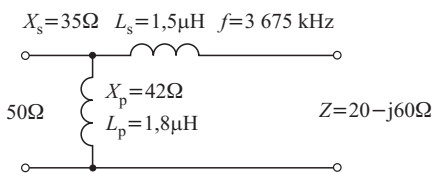
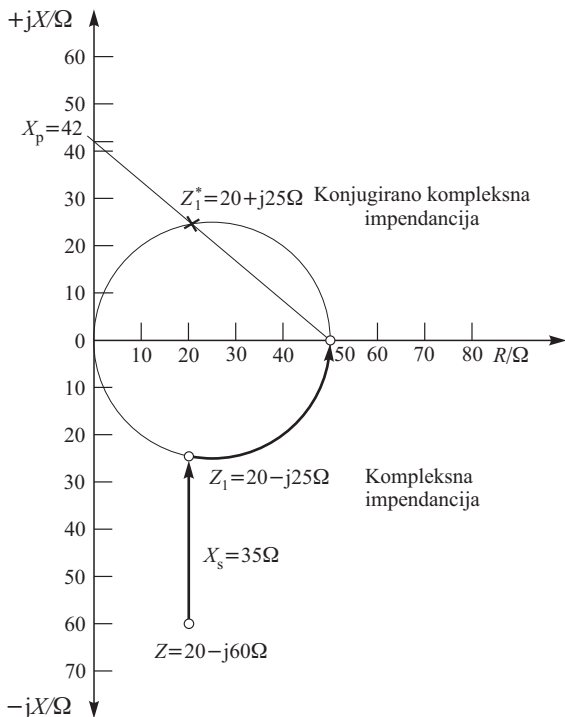
Za efikasan prijenos VF energije od odašiljača do antene potrebno je izvršiti prilagođenje između impedancije antene i odašiljača čime se minimizira refleksija snage. U protivnom može doći do oštećenja uređaja i napojnog voda. Prilagođenje se izvodi zavojnicama i kondenzatorima, odnosno odgovarajućim induktivitetima i kapacitetima, npr. koristeći odsječke koaksijalnog kabela. Izlazni stupanj odašiljača obično ima 50 oma kao i koaksijalni kabel, no antena u većini slučajeva ima drugačiju, i to kompleksnu impedanciju **Z** koja ima aktivni **R** i reaktivni **+j X** dio.

Matrica grafičke metode je pravokutni koordinatni sustav čija ordinata predstavlja reaktivnu komponentu impedancije **+j X**, a apcisa je aktivna komponenta impedancije **R**. Ovo je

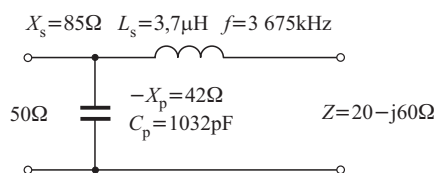
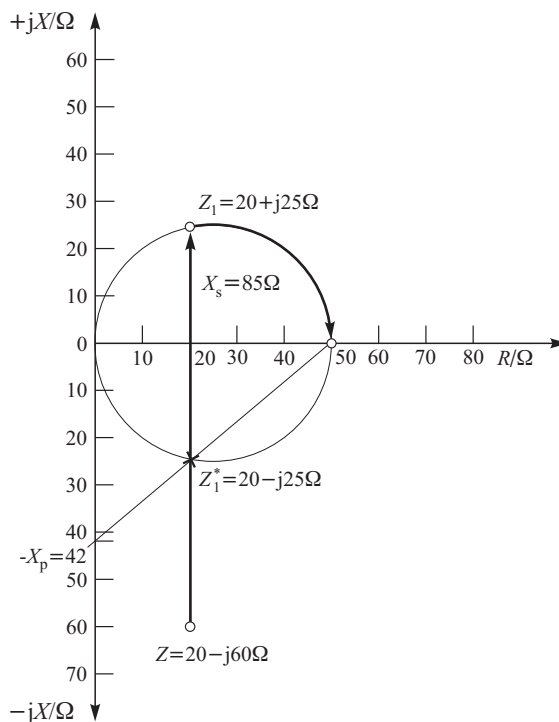
ishodište Smithova dijagrama koji je nastao iz ove matrice logaritamskom podjelom ordinate i apcise te spajanjem u krug **+j X** osi i **-j X** osi.

Ovom grafičkim metodom određuje se mreža prilagođenja između dvije impedancije. No, ono što je prednost ove grafičke metode je to što je sve predstavljeno linearno i izravno što nam omogućava lakši rad.

Na ovaj način pratimo tijekom impedancije od koaksijalnog kabela do antene i možemo se prilagoditi **L**, **C** elementima koje imamo na raspolaganju ili praviti konfiguraciju koja nam odgovara **L**, **T** ili **Π**. Ovdje ću dati primjer prilagođenja jedne vrijednosti impedancije antene s **L**, **T** i **Π** mrežom, a s ciljem pokazivanja principa rada. U praksi taj izbor ovisi o tome da li želimo da nam antena bude npr. galvanski uzemljena ili hoćemo *low pass* mrežu zbog viših harmonika. Moramo voditi računa i o dimenzioniranju **L**, **C** elemenata s obzirom na pad napona koji će se pojaviti na njima, kao i struji koja će teći kroz njih što ovisi o snazi koja će se prenijeti preko izabrane mreže. Ponekad moramo voditi računa i o faznom pomaku koji će unijeti naše prilagođenje, npr. kod faziranja dvije ili više antena.



L-mreža  
Slika 1.



L-mreža  
Slika 2.

## Definicije pojmova

Da bih objasnio metodu rada definirat ću slijedeće pojmove:

**Z = R + j X** je **kompleksna impedanca**;

**Z\* = R - j X** je **konjugirano kompleksna impedanca**, koja se razlikuje samo po karakteru, predznaku, reaktivnog dijela;

**R = rezistanca, aktivni otpor impedancije**;

**X = reaktanca, reaktivni otpor impedancije**;

**+j X = induktivni otpor**;

**-j X = kapacitivni otpor**.

Kretanje vrijednosti impedancije na dijagramu, vertikalno ravno prema gore, određuje **serijsko dodavanje induktivnog otpora +j X**, a kretanje prema dolje **serijsko dodavanje kapacitivnog otpora -j X**.

**Kružnica impedancije** konstruira se tako da se povuče pravac kroz točku koja predstavlja impedanciju i **centar (0,0)** koordinatnog sustava R-X, te se nađe simetrala te prave, i gdje simetrala presijeca R os, tu je centar kružnice impedancije. Kružnica impedancije uvijek mora prolaziti kroz točku vrijednosti impedancije i centar (0,0) koordinatnog sustava RX.

Kretanje po **kružnici impedancije** određuje **paralelno dodavanje induktivnog ili kapacitivnog otpora**, ovisno o tome na kojem se dijelu reaktivne ose **+j X** pravi odsječak. Kroz **konjugiranu** vrijednost impedancije i **novu** vrijednost impedancije na koju želimo doći, povučemo pravac i koliki on pravi **odsječak na +j X osi**, tolika je vrijednost paralelno dodane reaktance **+ Xp** koja je potrebna da se dođe na **novu vrijednost impedancije**.

## Izračun prilagođenja

### L-mreža

Na slici 1. prikazan je primjer prilagođenja vertikalne antene na 50 omski kabel. Prilagodit ćemo L mrežom prema slici 1a.

s dva induktiviteta, tzv. *Inducti Match* koji se koristi zbog toga što je antena na ovaj način uzemljena i izbjegnuto je korištenje kondenzatora, a jednostavno se traže izvodi na zavojnici da bi se antena prilagodila. Pretpostavit ćemo da je ulazna impedancija antene **Z = 20 - j60 Ω** na frekvenciji **3 675 kHz** (ovaj podatak možete dobiti bilo mjerenjem *impedanc*-metrom npr. MFJ-259B ili izračunom koristeći programe za izračun antena MMANA, NEC i dr. ili iz dijagrama).

Prvo ćemo konstruirati kružnicu impedancije **50 oma** na koju ćemo prilagoditi antenu. To je impedancija koaksijalnog kabela. Sa slike vidimo da prema gore u seriju moramo dodati induktivni otpor **Xs** da bismo došli do kružnice impedancije od 50 Ω. Vrijednost Xs čitamo na X osi.

Nova vrijednost impedancije je **Z₁ = 20 - j25 Ω**. Označavamo na kružnici konjugirano kompleksnu vrijednost impedancije **Z\*₁ = 20 + j25 Ω**. Sada uctavamo pravac kroz **Z\*₁** i **50 Ω** impedanciju na koju želimo doći. Odsječak na X osi **+j Xp** je vrijednost induktivnog otpora koji se dodaje paralelno. Time je prilagođenje izvršeno.

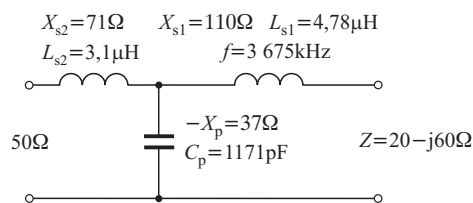
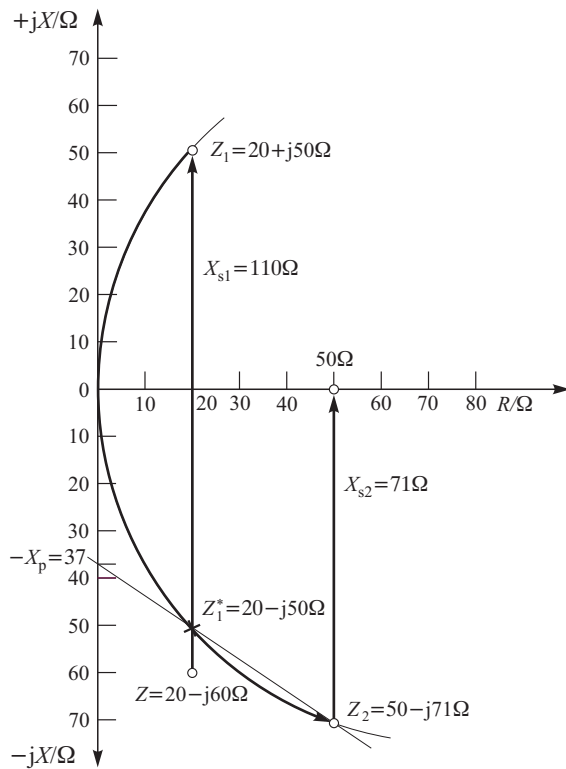
Vrijednost potrebnih induktiviteta izračunava se iz sada poznatih vrijednosti induktivnih otpora:

$$+j X_s = 35 \Omega + j X_p = 42 \Omega.$$

$$L_p = X_p / \pi * f \quad L_s = 35 / 2\pi * 3.675 * 10^6 = 1.52 \mu H$$

$$L_p = 42 / 2\pi * 3.675 * 10^6 = 1.8 \mu H$$

L prilagođenje možemo izvesti i s kombinacijom induktiviteta i kapaciteta prema slici 2. i slici 2a. Konstruiramo **kružnicu impedancije 50 oma**. Polazimo od impedancije antene **Z** i dodajemo u seriju induktivni otpor **Xs**. Zatim iz novo dobivene vrijednosti impedancije **Z₁** idemo po krugu na **50 oma** s dodavanjem kapacitivnog otpora **-Xp** u paralelu, a vrijednost određujemo na odsječku **-X** osi koji smo odredili s pravcem koji prolazi kroz **Z\*₁** konjugirano kompleksnu impedanciju i **50 oma**



T-mreža

Slika 3.

točku u koju želimo doći. Time je prilagođenje izvršeno.

**-Xp = 42 Ω    Xs = 85 Ω**

Sada izračunamo vrijednosti kapaciteta i induktiviteta:

**Cp = 1/2π \* f \* Xp = 1/2π \* 3.675 \* 10<sup>6</sup> \* 42 = 1032 pF**

**Ls = 85/2π \* 3.675 \* 10<sup>6</sup> = 3.7 μH**

**T-mreža**

Pokazat ću i prilagođenje s T mrežom na slici 3. i slici 3a. s kapacitetom u paraleli. U seriju dodajemo Xs induktivni otpor i dolazimo na vrijednost Z1 te crtamo kružnicu impedancije Z1. Zatim crtamo pravu kroz konjugiranu vrijednost impedancije Z1\* i kroz novu impedanciju Z2 i odsječak na -X osi određuje vrijednost Xp paralelno dodanog kapacitivnog otpora. Budući da smo izabrali vrijednost impedancije Z2 s aktivnim otporom 50 oma dovoljno je da u seriju dodamo Xs induktivni otpor čime je prilagođenje završeno.

**Xs1 = 110 Ω    Xs2 = 71 Ω    -Xp = 37 Ω**

Odavde izračunamo vrijednosti kapaciteta i induktiviteta:

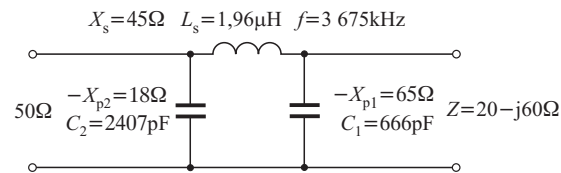
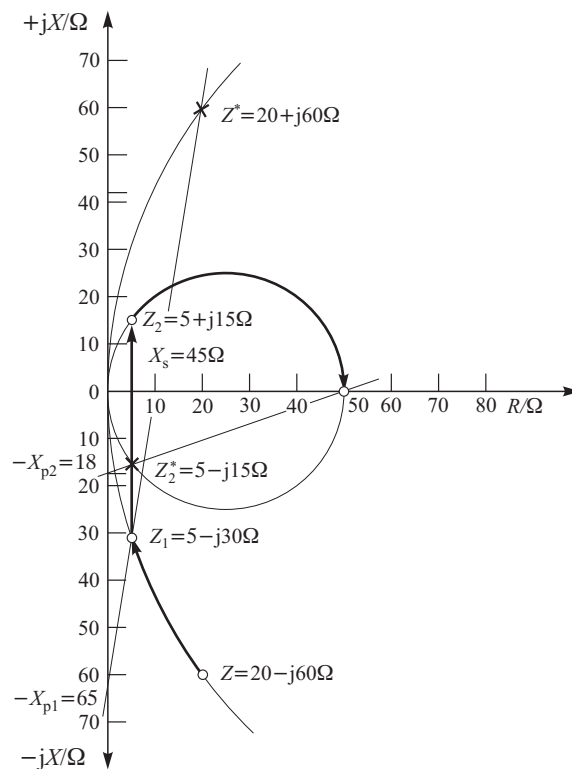
**Ls1 = 110/2π \* 3.675 \* 10<sup>6</sup> = 4.78 μH**

**Cp = 1/2π \* 3.675 \* 10<sup>6</sup> \* 37 = 1171 pF**

**Ls2 = 71/2π \* 3.675 \* 10<sup>6</sup> = 3.1 μH**

**Π - mreža**

Na slici 4. i 4a. prikazano je prilagođenje iste impedancije s Π mrežom. Prvo crtamo kružnicu impedancije 50 oma, zatim kružnicu impedancije Z. Krećemo se po njoj i određujemo točku Z1 na koju želimo ići crtamo pravu koja prolazi kroz konjugiranu Z\* i novu Z1. Tako dobivamo odsječak na -X osi to je -Xp1, paralelni kapacitivni otpor. Iz točke Z1 idemo prema gore



Π-mreža

Slika 4.

do točke Z2. Taj put odgovara serijskom induktivnom otporu Xs. Iz točke Z2 idemo po krugu na impedanciju 50 oma. Crtamo pravac koji ide kroz točku Z2\* i 50 oma te pravi odsječak na -X osi, -Xp2, paralelni kapacitivni otpor čime je prilagođenje Π mrežom završeno.

**-Xp1 = 65 Ω    Xs = 45 Ω    -Xp2 = 18 Ω**

Sad izračunamo vrijednosti kapaciteta i induktiviteta:

**Cp = 1/2π \* 3.675 \* 10<sup>6</sup> \* 65 = 666 pF**

**Ls = 45/2π \* 3.675 \* 10<sup>6</sup> = 1.96 μH**

**Cp2 = 1/2π \* 3.675 \* 10<sup>6</sup> \* 18 = 2407 pF**

Ako je vrijednost jedne od impedancija velika, npr. Z = 500 + j 600 Ω u prvom koraku izaberemo takvu podjelu vrijednosti na osama R-X, razmjer, da nam stane crtež na papir. Nakon toga pređemo na razmjeru koja je detaljnija. Također, ako je reaktivna komponenta impedancije velika, da ne bismo mijenjali razmjere, možemo je odmah "iskompenzirati" s reaktivnim otporom suprotnog predznaka dodanim u seriju i tu novu vrijednost impedancije ucrtati i dalje prilagođavati kako je opisano. Ovdje su rezultati proračuna L, C dani na dvije decimale i bez zaokruživanja vrijednosti da bi se pokazala metoda izračuna. Za crtanje se koristi papir s milimetarskom podjelom.

Iz navedenih primjera vidi se da se može pratiti tijek prilagođenja i prilagoditi se L, C elementima koje imamo na raspolaganju i po potrebi izabrati oblik mreže prilagođenja. Možemo vidjeti koliko i u kojem smjeru djeluju pojedini elementi prilagođenja te koje elemente možemo izabrati kao fiksne, a koje kao promjenljive. Ovo će vam pomoći za lakše razumijevanje pojedinih shema prilagođenja antena, antenskih tjunera, izlaznih i ulaznih kola, kao i za prilagođenje kod lineara i sl. ■