

■ TEKST: Mladen Petrović, 9A4ZZ

# VF transformatori impedancije – *baluni* i *ununi* (4. dio)

Nakon upoznavanja (kroz prošla tri broja časopisa) s osobinama feritnih i željeznih jezgri koje koristimo za motanje *baluna* i *ununa*, upoznavanja s principima rada i konstrukcijama konvencionalnih *baluna* i *ununa* koji su klasični transformatori (imaju primar i sekundar), dat ćemo izračun i navesti što sve treba uzeti u obzir kod izrade. U ovom članku prikazat ćemo konkretne primjere *baluna* i *ununa*, i to onih koji rade na principu klasičnih transformatora s raznim odnosima transformacije koji se najčešće primjenjuju u praksi za napajanja raznih tipova antena.

Kod izrade *baluna* i *ununa* koji rade kao klasični transformatori moramo se držati redosljeda izračuna.

1. Određujemo odnos transformacije  $Z_p/Z_s$ ,  
2. Reaktancija zavoja,  $X_L$ , koji se spajaju na opterećenje, mora biti najmanje četiri puta veća od otpora opterećenja na najnižoj radnoj frekvenciji, u našem slučaju antene.  $X_L = 4 \times Z_A$ .

3. Potreban induktivitet zavoja stoga mora biti  $L = X_L / 2\pi \times f$ .

4. Broj zavoja računamo prema formuli

$$N = 1000 \times \sqrt{\frac{L \text{ (mH)}}{A_L \text{ mH}/(1000 \text{ N})^2}}$$

5. Odnos broja zavoja i odnos impedancija je:

$$N_p/N_s = \sqrt{Z_p/Z_s}$$

ili

$$N_p^2/N_s^2 = Z_p/Z_s.$$

## BALUN 1:4, 1:5, 1:6, 1:9

Ovaj se *balun* koristi za prilagođenje *Windom* antena kod kojih se, kao i kod drugih antena, ulazna impedancija antene mijenja s visinom iznad tla. U praksi je na visini do 10 m  $Z_A = 200 \Omega$ , na visini do 15 m je  $Z_A = 250 \Omega$ , a na visini do 20 m  $Z_A = 300 \Omega$  (ovisno o vrsti tla).

*Balun* 1:6 koristi se kod *Windom* antena koje imaju ulaznu impedanciju oko  $300 \Omega$ . Za transformaciju na  $50 \Omega$  kabel do odašiljača treba nam *balun* 1:6. S obzirom na to da često ne znamo

oznaku jezgre, dao sam primjer izrade *baluna* s nepoznatom jezgrom.

Koristio sam *no name* prstenastu jezgrov vanjskog promjera 47 mm, unutarnjeg 24 mm i visine 18 mm.

Određiti ćemo  $A_L$  za ovu nepoznatu jezgrov.

Kad se na jezgrov namota 11 navoja, na najnižoj radnoj frekvenciji 1,8 MHz se dobije induktivitet od  $L = 38 \mu\text{H}$ .

$$A_L \text{ mH} / (1000 \text{ N})^2 = \frac{10^6 \times L \text{ (mH)}}{N^2} = \\ = \frac{10^6 \times 0,038 \text{ (mH)}}{11^2} = 314$$

$$A_L = 314$$

Vidimo da se radi o feritnom materijalu, jer je  $A_L$  velik.

Za motanje *baluna* sam izabrao bakrenu pletenicu presjeka  $1,5 \text{ mm}^2$  u izolaciji. Bifilarno se namota 11 zavoja.

Na strani tereta od  $300 \Omega$  imat ćemo 22 zavoja, koji će biti u funkciji sekundara i pomoću  $A_L$  broja koji smo odredili, izračunat ćemo njihov induktivitet:

$$L \text{ (mH)} = \frac{A_L \times N^2}{10^6} = \frac{314 \times 22^2}{10^6} = 0,152 \text{ mH},$$

$$X_L = 2\pi \times f \times L =$$

$$= 6,28 \times 1,8 \times 10^6 \text{ Hz} \times 0,152 \times 10^{-3} \text{ H} =$$

$$= 1718 \Omega.$$

Vidimo da je reaktancija  $X_L$  više od 5 puta veća od tereta  $300 \Omega$ , čime je ispunjen uvjet da *balun* korektno funkcionira.

$$N_p^2/N_s^2 = Z_p/Z_s = 50/300 = 1/6 \\ \text{odnos transformacije je } 1:6.$$

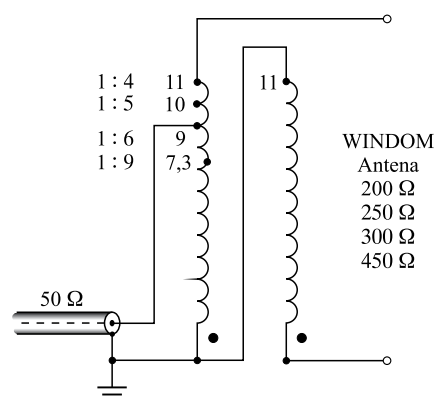
Izračunavamo broj zavoja: ako je ukupan broj zavoja sekundara je 22, broj zavoja primara izračunavamo ovako:

$$N_p^2/N_s^2 = 1/6,$$

$$N_p = \sqrt{\frac{N_s^2}{6}} = \sqrt{\frac{22^2}{6}} = 8,98.$$

$$N_p = 9 \text{ zavoja primara.}$$

Na 9. zavoju od mase moramo napraviti izvod za napajanje primara s  $50$ -omskim kabelom (shema 1, slika 1.).



Shema 1. Balun 1:4, 1:5, 1:6, 1:9



Slika 1. Balun 1:4, 1:5, 1:6, 1:9

Kod traženja izvoda najbolje je probati s iglom i naći točan izvod na zavoju dok ne nađemo najmanji SWR. Sekundar svakako treba opteretiti odgovarajućom vrijednosti neinduktivnog otpora.

Ako želimo neki drugi odnos, računamo prema gornjem obrascu.

Za odnos 1:4 izračunavamo broj zavoja primara, a broj zavoja sekundara je 22.

$$N_p^2/N_s^2 = 1/4,$$

$$N_p = \sqrt{\frac{N_s^2}{4}} = \sqrt{\frac{22^2}{4}} = 11.$$

$N_p = 11$  zavoja primara.

Odnos 1:4 dobijemo kad „vrući kraj“ koaksijalnog kabela spojimo na jedanaesti zavoj primara prema shemi.

Za odnos 1:5 isto je ukupan broj zavoja sekundara 22, a broj zavoja primara izračunavamo ovako:

$$N_p^2/N_s^2 = 1/5,$$

$$N_p = \sqrt{\frac{N_s^2}{5}} = \sqrt{\frac{22^2}{5}} = 9,83.$$

$N_p = 10$  zavoja primara.

Napravimo izvod na 10 zavoju primara i spojimo srednji vod koaksijalnog kabela.

Naprimjer, za odnos 1:9 prema gornjoj formuli  $N_p^2/N_s^2 = Z_p/Z_s = 50/450 = 1/9$  izračunavamo broj zavoja.

Ukupan broj zavoja sekundara je 22, a broj zavoja primara izračunavamo sljedećom formulom:

$$N_p^2/N_s^2 = 1/9,$$

$$N_p = \sqrt{\frac{N_s^2}{9}} = \sqrt{\frac{22^2}{9}} = 7,3.$$

$N_p = 7,3$  zavoja primara.

Na isti način možemo naći i druge odnose transformacije da bismo dobili što manji SWR za konkretnu antenu. Izmjereni SWR je 1:1,3...1:1,5 od 1,8 MHz do 28 MHz.

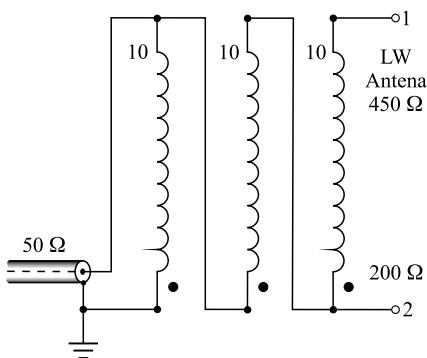
### UNUN 1:9, 1:4, 1:1

Unun 1:9 koristimo za long wire (LW) antenu jer visoku impedanciju antene smanjuje na vrijednost koja se može dostatno podesiti na 50 Ω. Koristimo unun jer je ulazna impedancija koaksijalnog kabela nesimetrična kao i LW antena (shema 2., slika 2.).

Pretpostavit ćemo da je impedancija antene 450 Ω. Odnos transformacije je  $Z_p/Z_s = 50/450 = 1/9$ .

Reaktancija zavoja  $X_L$  sekundara mora biti najmanje četiri puta veća od otpora antene.

$$X_L = 4 \times 450 \Omega = 1800 \Omega$$



Shema 2. Unun 1:1, 1:4, 1:9



Slika 2. Unun 1:9

Potrebna induktivitet za ovu reaktanciju je

$$\begin{aligned} L &= X_L / 2\pi \times f = \\ &= 1800 / 6,28 \times 1,8 \times 10^6 = \\ &= 159 \mu\text{H} \end{aligned}$$

Budući da se radi o ununu koji treba raditi od 1,8 MHz do 28 MHz, biramo feritnu jezgru koja je širokopojasna.

Koristeći mini Ring Core Calculator, odnosno tablice s podacima feritnih jezgri, vidimo da ovaj induktivitet možemo postići s 30 zavoja na jezgri FT 240-61, koji ima  $\mu_1 = 125$  i  $A_L = 171$ .

To možemo dobiti i koristeći formulu

$$\begin{aligned} N &= 1000 \times \sqrt{\frac{L \text{ (mH)}}{A_L \text{ mH}/(1000 N)^2}} \\ &= 1000 \times \sqrt{\frac{0,159}{171}} \\ &= 30,5, \end{aligned}$$

$N_s$  broj zavoja sekundara je 30.

Sada izračunavamo broj zavoja primara:

$$N_p/N_s = \sqrt{Z_p/Z_s} = \sqrt{50/450} = 1/3$$

$$N_p = N_s/3 = 30/3 = 10,$$

broj zavoja primara je 10.

Motat ćemo trifilarno 10 zavoja bakrenu lakiranu žicu promjera 1,25 mm, prema shemi 2. Jezgru prije motanja žice namotamo teflonskom trakom radi izolacije. Spajamo LW antenu u točki 1.

Za unun 1:4 koristimo samo dvije zavojnice po 10 zavoja trifilarnog namotaja iste namotane jezgre (samo spajamo antenu od 200 Ω između točke 2 i mase – vidi shemu 2, sliku 3.).



Slika 3. Unun 1:4



Slika 4. Unun 1:1

U ovom slučaju  $X_L$  reaktancija sekundara za 20 zavoja, koristeći mini *Ring Core Calculator* ili prije navedene formule, iznosi  $68 \mu\text{H}$  pa je za  $f = 1,8 \text{ MHz}$ ,  $X_L = 770 \Omega$ . Ovo je dovoljna vrijednost da *unun* 1:4 korektno radi.

Također, istu možemo jezgru koristiti za *unun* odnosa 1:1, koji se dobije spajanjem antene na točke 1 i 2 (pokazano na shemi 2, slika 4.).

Mjereni SWR u sva tri slučaja je 1:1,1 od 1,8 MHz do 10 MHz.

### BALUN 1:3

Ovaj se *balun* može koristiti za *loop* antene koje imaju otpor oko  $150 \Omega$ . Potreban odnos transformacije *baluna* je:  $Z_p/Z_s = 50 \Omega/150 \Omega = 1:3$ .

Napravit ćemo *balun* s trifilarnim namotajem. U sekundaru koristimo 2 puta po 9 zavoja, ukupno 18 zavoja. Koristit ćemo jezgru FT 240-61 prema izračunu i mini *Ring Core Calculatoru* za broj zavoja  $N = 18$ ,  $L = 55 \mu\text{H}$ , reaktancija je  $X = 622 \Omega$ , čime je ispunjen uvjet da reaktancija zavoja bude 4 puta veća od otpora antene koji je  $150 \Omega$ .

Izračun broja zavoja primara:

$$N_p^2/N_s^2 = Z_p/Z_s = 1/3$$

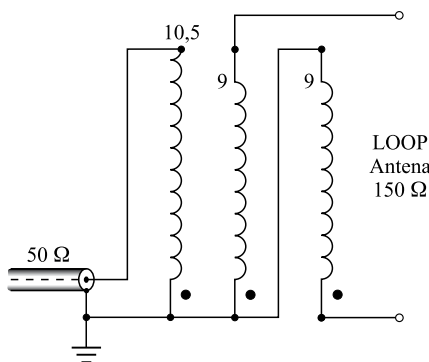
$$N_p = \sqrt{\frac{N_s^2}{3}} = \sqrt{\frac{18^2}{3}} = 10,4.$$

$N_p$  broj zavoja primara je 10,5.

*Balun* omotamo teflonskom trakom i namotamo trifilarno primar i sekundar lakiranom bakrenom žicom promjera 1,25 mm (prema shemi 3, slika 5.).



Slika 5. Balun 1:3



Shema 3. Balun 1:3

Provjeru napravimo tako da sekundar opteretimo s neinduktivnim otporom od  $150 \Omega$ . Mjerenjem MFJ 259B dobije se SWR 1:1,3 ...1:1,4 od 1,8 MHz do 7 MHz.

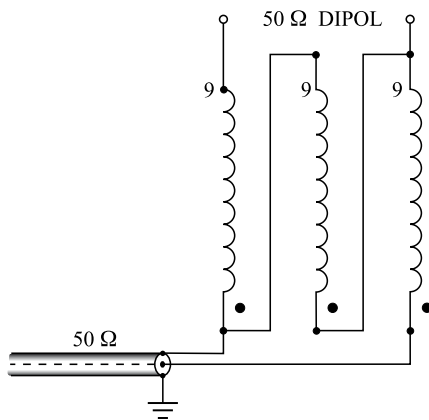
### BALUN 1:1

Koristi se za napajanje dipola. Za jezgru koristimo slučajno odabrani feritni štap dužine ( $l$ ) 100 mm i promjera ( $d$ ) 10 mm. Feritni štap omotamo teflonskom trakom. Kad trifilarno namotamo 9 zavoja i u seriju spojimo dvije zavojnice po 9 zavoja – ukupno 18 zavoja, koliko će biti u sekundaru, izmjereni induktivitet zavoja je  $L = 22 \mu\text{H}$ , reaktancija

$$\begin{aligned} X_L &= 2\pi \times f \times L \\ &= 2 \times 3,14 \times 1,8 \times 10^6 \times 22 \times 10^{-6} = \\ &= 248,69 \Omega. \end{aligned}$$

Ovo je dovoljna reaktancija da *balun* funkcionira već od 1,8 MHz. Za motanje zavoja koristimo lak Cu žicu,  $d = 1,25 \text{ mm}$ , i spojimo prema (shema 4, slika 6.).

Ovako namotan *balun* odnosa 1:1, uz to što funkcionira kao VF prigušnica, bolje simetriira antenu na nesimetrični koaksijalni kabel nego *baluni* namotani bifilarno. Mjerenje, SWR je 1:1,0...1:1,4 od 1,8 MHz do 21 MHz.



Shema 4. Balun 1:1



Slika 6. Balun 1:1

### UNUN TRANSFORMATOR 9:1 ZA BEVERAGE ANTENU

*Unun* transformator 9:1 za *Beverage* antenu za frekvenciju od 1,8 MHz je klasični transformator s primarom i sekundarom, s malo zavoja na feritnoj jezgri velikog permeabiliteta.

Kod izrade transformatora za prijam vodimo računa da imaju što manje gubitke. Biraju se feritne jezgre s velikim permeabilitetom. Takve jezgre imaju veliki  $A_L$  i time omogućavaju motanje transformatora s malim brojem zavoja. Na taj način smanjujemo gubitke u žici i zbog velikog permeabiliteta jezgre imamo manje gubitke. Biramo jezgre s dva otvora jer žica prolazi kroz jezgru i *unun* je efikasniji od prstenastih jezgri.

Za ovaj primjer koristimo dvije binokularne feritne jezgre tipa BN 43-202, koje imaju  $A_L = 2890 \text{ mH}/(1000 \text{ N})^2$ , feritni materijal 43,  $\mu = 850$ .

Žica za transformator je bakrena pletenica s 8 vodiča od 0,1 mm, izolirana žica izvađena iz dvožilnog telefonskog kabela, koja se može provući kroz ovu jezgru.

### Izračun

Kod klasično motanih transformatora reaktancija zavoja  $X_L$  mora biti najmanje 4 puta veća od otpora tereta (u našem slučaju *Beverage* antene koja je zaključena s  $450 \Omega$  otporom, tj.  $4 \times 450 \Omega = 1800 \Omega$ ).

S obzirom na to da je u ovom slučaju generator signala prijamna antena, primarni su zavoji oni koji su spojeni na *Beverage* anteni i oni moraju imati vrijednost reaktancije  $X_L$  veću od  $1800 \Omega$ .

Kako je minimalna radna frekvencija 1,8 MHz, slijedi:

$$\begin{aligned} X_L &= 2\pi \times f \times L = \\ &= 6,28 \times 1,8 \times 10^6 \text{ Hz} \times L = \\ &= 1800 \Omega. \end{aligned}$$

$$L = 1800 \Omega / 6,28 \times 1,8 \times 10^6 \text{ Hz}$$

$$L = 0,159 \text{ mH potreban induktivitet.}$$

Broj zavoja (N) da se dobije potreban induktivitet dan je formulom:

$$N = 1000 \times \sqrt{\frac{L \text{ (mH)}}{A_L \text{ mH}/(1000 \text{ N})^2}}$$

Koristimo dvije jezgre BN 43-202 priljubljene jednu uz drugu i motamo navoje kroz obje.

$$N_p = 1000 \times \sqrt{\frac{0,159}{2 \times 2890}} =$$

$$= 5,24 \text{ zavoja u primaru,}$$

odredit ćemo  $N_p = 6$  zavoja primara.

Izračun zavoja sekundara, gdje je

$Z_p$  = impedancija primara,  
 $Z_s$  = impedancija sekundara  
 izgleda ovako:

$$N_p^2 / N_s^2 = Z_p / Z_s = \frac{450}{50} = \frac{9}{1},$$

odnos transformacije 9:1 koji moramo dobiti.

Izračunavamo broj zavoja:

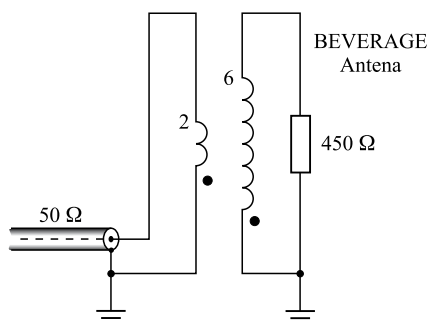
$$N_p / N_s = \sqrt{Z_p / Z_s} = \sqrt{\frac{450}{50}} = 3$$

$$N_s = N_p / 3 = 6 / 3 = 2$$

$$N_s = 2 \text{ zavoja sekundara.}$$

Izračunali smo da kroz dvije jezgre BN 43-202 namotamo 6 zavoja žice za primar i 2 zavoja žice za sekundar. Nakon izrade *ununa*, izmjerite ga instrumentom MFJ 259B na radnoj frekvenciji, tako da ga opteretite na strani primara neinduktivnim otpornikom od 450 Ω. Mojim mjerenjima dobio sam SWR 1:1,1 od 1,8 MHz do 14 MHz. Ovaj se transformator može izraditi s jednom jezgrom BN 73-202 sa 6 zavoja primara i 2 zavoja sekundara jer je  $A_L = 8500$ .

Transformator koji je napravljen s ovako malim brojem zavoja je efikasan i ima male gubitke.



Shema 5. Unun 9:1

Shema 5. i slika 7. prikazuju *unun* transformator 9:1 za *Beverage* antenu. Žica s crvenom izolacijom je primar sa 6 zavoja, a žuta žica je sekundar s 2 zavoja.



Slika 7. Beverage unun 9:1

## ZAKLJUČAK

Kod konstrukcija klasičnih *baluna* i *ununa* zavoje motamo bifilarno i trifilarno kako bi sprega između zavoja bila što veća. Time se smanjuje magnetni tok kroz jezgru, manji su gubici u jezgri i možemo prenijeti veću snagu. Ako želimo prenijeti veću snagu, a da se tok kroz jezgru ne poveća, namotamo više zavoja. No, i tu postoji ograničenje jer se povećava štetni kapacitet zavoja te *balun* ne može funkcionirati na višim frekvencijama. Ograničenje snage određeno je i sa zasićenjem jezgre. Inače, kod rada na višim frekvencijama za prijenos iste snage potreban je manji tok, a kad je frekvencija niža potreban je veći.

Također, treba voditi računa o presjeku žice kojom se mota *balun*. On treba biti što veći, odnosno toliki da se žica ne grije. Ako želimo smanjiti gubitke i prenijeti veću snagu, možemo spajati više jezgri zajedno, jer time povećavamo presjek jezgre i udvostručavamo  $A_L$  a i potreban je manji broj zavoja za isti induktivitet.

Zbog visokih VF napona, koji se javljaju kod većih snaga, na zavojima *baluna* može doći do proboja. Stoga jezgri treba omotati teflonskom trakom. Kao što se vidi iz primjera, koristio sam feritnu jezgru permeabilneta  $\mu = 125$ , koja zbog relativno malog  $\mu$  za ferite, može prenijeti veću snagu i pri tom ne dolazi u zasićenje. Također, u odnosu na željezne jezgre ima prednost motanja manjeg broja zavoja za isti induktivitet i frekventnu širokopojasnost.

Da bismo provjerali ispravnost rada *baluna* pored mjerenja SWR mjerimo i temperaturu jezgre koja ne smije preći 40°C jer može doći do uništenja jezgre.

*Balun* može biti topao, ali ne i vruć. *Balune* treba smještati u plastične kutije, a najpogodnije su one za elektroinstalacije. Uz to, treba omogućiti i provjetravanje zbog hlađenja, a da pri tome ne uđe voda u kućište. Ta rješenja možete vidjeti na brojnim internetskim stranicama. Ovdje su dani primjeri iz kojih se vidi princip rada i izračun *baluna*, tako da možemo razumjeti rješenja na koja naiđemo na internetu i u literaturi. 🇩🇪

## Literatura

1. [www.amidoncorp.com](http://www.amidoncorp.com),
2. [www.bytemark.com](http://www.bytemark.com),
3. [www.w8ji.com](http://www.w8ji.com),
4. [www.dl5swb.de](http://www.dl5swb.de),
5. Radio HRS broj 4. i 5. iz 2008. god.



Martin, 9A3GE, sa svojih skoro sedamdeset ljeta mnogima bi mogao biti uzor. Ovo je samo manji dio samogradnji iz njegove radionice.