

■ TEKST: Mladen Petrović, 9A4ZZ

VF transformatori impedancije – koaksijalni *baluni* (5. dio)

U prošlim sam člancima, između ostalih, opisao *balune* napravljene kao TLT (*transmission line transformers*), motanim na feritne jezgre. Kod takvih se *baluna* može pojaviti problem izbora i nabavke adekvatne jezgre, osobito za rad s velikim snagama. Ove probleme možemo izbjeći i napraviti TLT *balun* od koaksijalnog kabela i bez feritne jezgre za neke odnose transformacije. No, zbog toga što se ne koristi jezgra, da bismo postigli dovoljan induktivni otpor linije, dužine kabela moraju biti znatno veće. Ovdje ću opisati *balune* napravljene od koaksijalnog kabela s odnosom transformacije koji se najčešće koriste kod KV antena, dakle 1:1 i 1:4.

CHOKE BALUN, 1:1 (50 Ω:50 Ω)

Najčešće korišten *balun* od koaksijalnog kabela je *balun* odnosa 1:1, poznat kao *ugly choke*. On služi za sprečavanje toka VF struje po opletu napojnog kabela antene tako da napojni kabel ne zrači i ne deformira dijagram zračenja antene. Također, ne inducira napon i smetnje u susjednim TV i telefonskim instalacijama. To je RF prigušnica koja se dobije tako da se napravi zavojnica od koaksijalnog kabela, čiji je induktivitet L formiran od vanjskog opleta kabela, koji pruža induktivni otpor X_L reda 1 000 Ω i na taj način sprečava tok struje po opletu kabela.

To je ustvari *Guanella* strujni *balun* koji ima dva namotaja: unutrašnji vodič koaksijalnog kabela i vanjski oplet (shema 1.), gdje se kao

linija koristi dionica koaksijalnog kabela. Njezina je karakteristična impedancija:

$$Z_0 = \sqrt{Z_{ul} \times Z_{izl}},$$

gdje je Z_{ul} impedancija napojnoga koaksijalnog kabela 50 Ω, a Z_{izl} je impedancija antene 50 Ω.

Za ovaj slučaj

$$Z_0 = \sqrt{Z_{ul} \times Z_{izl}} = 50 \Omega.$$

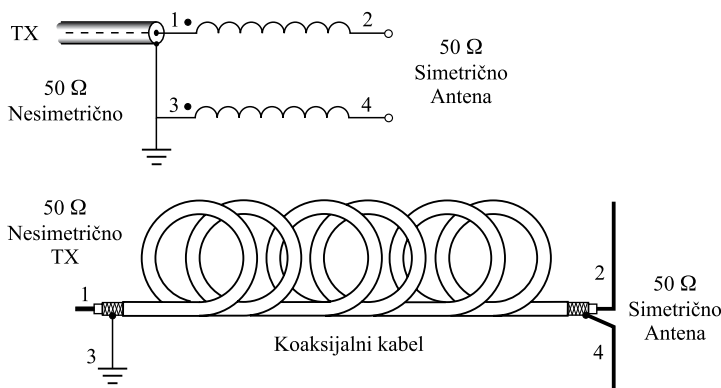
Da bi *balun* ispravno radio na najnižoj radnoj frekvenciji mora (reaktancija) namotanog kabela biti najmanje deset puta veća od aktivnog otpora antene.

U slučaju dipol antene s otporom 50 Ω, X_L je minimalno 500 Ω.

Minimalno potreban induktivitet na najnižoj frekvenciji VF prigušnice je:

$$\begin{aligned} L &= \frac{X_L}{2\pi \times f} = \\ &= \frac{500}{2\pi \times 3,5 \times 10^6} = \\ &= 22,74 \mu\text{H}. \end{aligned}$$

Namotat ćemo na PVC cijev promjera 11 cm koaksijalni kabel RG 58C/U dužine 6,10 m u 16 zavoja (slika 1.).



Shema 1. "choke balun" 1:1



Slika 1. Ugly choke balun 1:1,
RG 58C/U namotan na PVC cijev

Mjerenjem vidimo da je induktivitet tako namotanog kabela $L = 35 \mu\text{H}$. Induktivni otpor je:

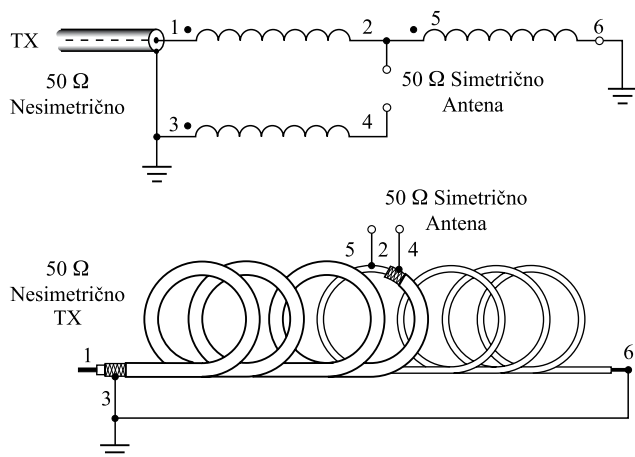
$$\begin{aligned} X_L &= \omega \times L = \\ &= 2\pi \times f \times L = \\ &= 2\pi \times 3,5 \times 10^6 \times 35 \times 10^{-6} = \\ &= 769,3 \Omega \end{aligned}$$

što je blizu optimalnih 1 000 oma.

Dobili smo širokopojasni *balun*, koji pokriva područje od 3,5 MHz uz SWR 1:1,0 do 28 MHz sa SWR-om od 1:1,1.

Ovaj je *balun* najjednostavniji za izradu jer napojni koaksijalni kabel za antenu u dužini od 6 metara možemo namotati za *balun* na PVC cijevi prije spajanja na dipol. Praktična izvedba ovog *baluna* moguća je na više načina pa sami odlučite da li ćete jednostavno namotati *balun* na PVC cijev i spojiti s napajanjem dipola ili ćete koristiti PVC cijev namotanu kao *balun* ujedno i kao antenski središnji izolator.

Ovaj koaksijalni kabel se može smotati u smotuljak kao uže i raditi kao *balun* bez motanja na PVC cijevi. Kod motanja u smotuljak dolazi do povećanja kapaciteta između zavoja ako su kraj i početak kabela blizu.



Schema 2. Collins balun 1:1

Za jedan opseg *choke balun* 1:1 (veoma učinkovito)

MHz	RG 213		RG 58	
	metara	zavoja	metara	zavoja
3,5	6,7	8	6,1	8
7	6,7	10	4,6	6
10	3,7	10	3	7
14	3	4	2,5	8
21	2,5	7	1,8	8
28	1,8	7	1,3	7

Širokopojasni *choke balun* 1:1 (dobar kompromis)

MHz	RG 213		RG 58	
	metara	zavoja	metara	zavoja
3,5...30	3,1	7	3,1	7
3,5...10	5,5	10	5,5	10
14...30	2,5	7	2,5	7

Pri tome dolazi do gubitka efekta prigušnice na visokim frekvencijama. Inače, kod motanja u nepravilan smotuljak povećava se induktivitet i proširuje se opseg na niže frekvencije. Istovremeno se, zbog povećanja kapaciteta među zavojima, sužava opseg prema višim frekvencijama. Također, gornja je frekvencija određena samo rezonancijom *baluna* koja ovisi o kapacitetu i induktivitetu smotanog kabela.

Na slici 2. je prikazan *choke balun* (1:1), koji sam namotao od koaksijalnog kabela RG 58C/U. Namotao sam 6,1 m kabela u snop u 8 zavoja promjera 24 cm. Ovaj *choke balun* na 1,8 MHz ima SWR 1:1,0, a na 28 MHz SWR 1:1,1. *Choke balun* 1:1 se montira neposredno uz antenski priključak.

Za snagu do 500 W možete koristiti koaksijalni kabel RG 58 C/U, a za veće snage do 1 000 W, RG 213, RG 8 ili neki tanji 50-omski s teflonskom izolacijom.



Slika 2. Choke balun 1:1,
RG 58 C/U namotan u smotuljak

Za one koji žele namotati VF prigušnicu kao smotuljak kabela donosimo podatke za kabel RG 213 i RG 58 (prema ARRL Antenna Handbook).

Snaga koju *balun* može podnijeti ovisi o vrsti upotrebljenog kabela. Sigurno je da ovako napravljen *balun* može podnijeti veliku snagu (ovisno od kojeg kabela ga pravimo), a često se koristi kod vertikalne dipola i inverted V dipola.

COLLINS BALUN 1:1 (50 Ω:50 Ω)

Collins Radio Company je 1960. godine objavila ovaj širokopojasni *balun* za učinkovito simetriranje i sprečavanje toka struje po opletu kabela. Ovaj *balun* radi na principu naponskog *baluna* po Ruthroffu (shema 2.). Djeluje istovremeno kao prilagođenje, simetriranje i kao VF prigušnica.

Sastoji se od *Guanella* strujnog *baluna* kojem je dodan još jedan induktivitet (zadaca mu je izjednačiti impedanciju napojnih točaka antene prema masi). Tada kažemo da je antena simetrirana i nema toka struje po opletu.

Time smo otklonili uzrok nastanka ove struje. Ako bi ipak došlo do nesimetrije antene tu je strujni dio *baluna*, koji bi spriječio tok struje po opletu. Na taj je način usavršen *choke balun* i taj je spoj puno bolji.

Collins *balun* 1:1 se sastoji od tri namotaja: jedan je unutrašnji vod koaksijalnog kabela, drugi je oplet, a treći je unutarnji dio kabela kojem je skinuta vanjska izolacija i oplet ili izolirana žica, spojena na unutrašnji vod i namotana u istom smjeru kao koaksijalni kabel.

Induktivni otpor (X_L) dva namotaja ovog *baluna* mora biti isti kao kod *Guanella* strujnog *baluna*, *choke balun* (oko 1 000 Ω ; kako bi se odvojio ulaz od izlaza).

Balun je napravljen od koaksijalnog kabela RG 58 C/U (slika 3.).



Slika 3. Collins balun 1:1, RG 58 C/U namotan na PVC cijev

Odrežat ćemo 6,1 m kabela i na dužini 3,05 m (u sredini) skinuti vanjsku izolaciju i oplet do unutarnje izolacije. Zatim, na razmaku od 2 cm od početka ogoljenog dijela treba otvoriti unutarnju izolaciju i zalemiti komad izolirane žice presjeka 1,5 mm² i dužine 10 cm. Za oplet, na kraju ogoljenog kabela, zalemiti također komad žice od 10 cm (tako da je razmak ova dva spoja oko 2 cm). To su priključci za antenu (dipol) i uvrtnjem te dvije žice dobivamo kapacitet, kojim fino podešavamo *balun* na višim frekvencijama. Na početku koaksijalnog kabela zalemito konektor SO 239 na koji ćemo spojiti napojni kabel na *balun*. Tako pripremljen koaksijalni kabel namotamo na PVC cijev promjera 11 cm i učvrstimo početak i kraj. Ukupno ćemo dobiti 16 zavoja. Kraj ogoljenog dijela kabela zalemito na masu konektora. Spojimo *balun* na antenu i izmjerimo SWR. Ako je loš na nižoj frekvenciji dodamo još malo zavoja

na ogoljeni dio, a ako je loš na višim frekvencijama smanjimo broj zavoja ogoljenog dijela kabela ili uvrtno izvode kojima je *balun* spojen na antenu.

Prednost ovoga *baluna*, uz sve rečeno, je i to što sada imamo dio *baluna* s dobrom izolacijom i *balun* je lakši. Ako želimo uštedjeti kabel, umjesto ogoljenog kabela možemo dodati 3,05 m žice na vrući kraj kabela. Žica mora biti u dobroj izolaciji, npr. unutarnji dio koaksijalnog kabela s izolacijom, teflon ili je omotati teflonskom trakom. Sve otvore na koaksijalnom kabelu treba zaliti tekućom plastikom ili zaštititi od vlage na neki drugi način.

Ovaj je *balun* širokopojasan i od 3,5 MHz do 28 MHz ima SWR od 1:1,0. Možete koristiti PVC cijev namotanu kao *balun* ujedno i kao antenski središnji izolator.

Collins *balun* 1:1 prikazan na slici 4. namotan na PVC cijev s kabelom RG 213 može podnijeti snagu 1 kW. *Balun* se mota na PVC cijev promjera 11 cm, kao i s RG 58 kabelom i spaja na isti način. *Balun* se sastoji od 2,5 m RG 213 i u nastavku ima unutrašnji izolirani dio od RG 58 C/U iste dužine. Ukupno se namota 13 zavoja. *Balun* pokriva od 3,5 MHz sa SWR-om 1:1,1 do 28 MHz, SWR 1:1,0. Snaga koju koaksijalni *balun* može podnijeti određena je kvalitetom izolacije kabela (ako je kabel RG 8 s teflonskom izolacijom, može podnijeti snagu do 5 kW). Možete koristiti PVC cijev namotanu kao *balun* ujedno i kao antenski središnji izolator.

Collins *balun* možete namotati u snop bez motanja na PVC cijev (kao i *choke balun*).

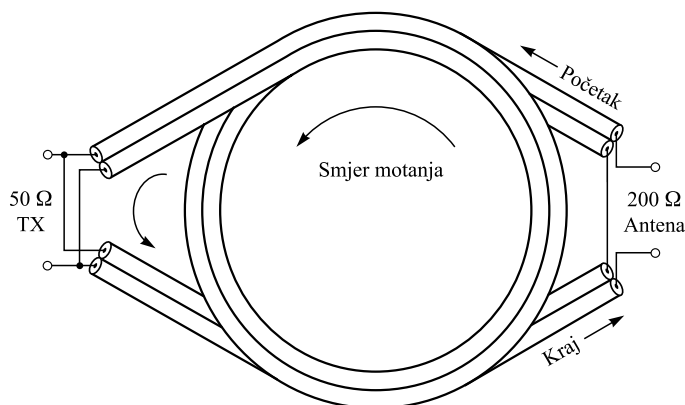
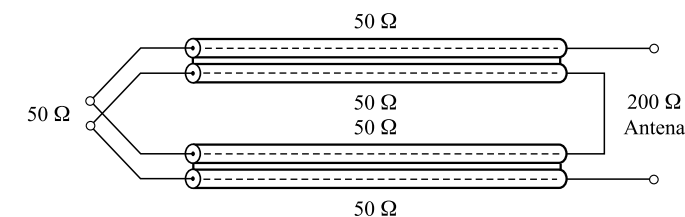


Slika 4. Collins balun 1:1, RG 213 namotan na PVC cijev



Slika 5. Collins balun 1:1, RG 58 C/U namotan u smotuljak

Na slici 5. prikazan je Collins *balun* 1:1 napravljen od koaksijalnog kabela RG58C/U. Koristimo 4,5 m koaksijalnog kabela. Na početku spojimo konektor za spoj prema predajniku, od sredine 2,25 m ogolimo i ostavimo unutrašnji vod s izolacijom. Na 2 cm od početka ogoljenog dijela napravimo otvor na izolaciji i zalemito žicu



Shema 3. Collins balun 1:4

u PVC izolaciji presjeka 1,5 mm², dužine 10 cm. Istu takvu žicu zalemimo za opletko koaksijalnog kabela na kraju gdje počinje blankirani dio. Tu ćemo spojiti antenu. Namotamo ovako spojeni kabel u snop s 11 zavoja (unutrašnji promjer smotuljka je 11 cm, a vanjski 14 cm). *Balun* pokriva od 3,5 MHz do 28 MHz sa SWR-om 1:1,1. Vidimo da smo ovdje koristili znatno manje kabela nego kod motanja na PVC cijev jer se načinom motanja povećao induktivitet. Jedini uvjet je da treći navoj, žica ili dio kabela koji dodajemo, ima dobru izolaciju. *Balun* može podnijeti snagu do 500 W. Ovaj je *balun* težak oko 150 grama.



Slika 6. Collins balun 1:1, RG 213 namotan u smotuljak



Slika 7. Collins balun 1:1, RG 316 namotan u smotuljak

Collins balun 1:1 na slici 6. je namotan u smotuljak od osam zavoja. Vanjski mu je promjer 20 cm, a unutarnjim 16 cm. Napravljen je od koaksijalnog kabela RG213 dužine 2,5 m i spojen s izoliranim unutarnjim vodom od kabela RG 58C/U iste dužine (2,5 metara) i spojen na isti način kao i *Collins balun* namotan s RG 58 kabelom. Ovaj *balun* može izdržati snagu 1 kW, pokriva opseg od 3,5 MHz (SWR od 1:1,1) do 28 MHz (SWR 1:1,1). *Balun* je težak 450 grama.

Collins balun 1:1 prikazan na slici 7., namotan je od koaksijalnog kabela RG 316 s teflonskom izolacijom. Pola ukupne dužine kabela (3,46 m) ogolimo do središnje izolacije (na dužini 1,73 m) i namotamo 18 zavoja. Vanjski promjer *baluna* je 7 cm, a unutarnji 5 cm. Dalje spojimo kao što je već opisano. Ovaj *balun*, zbog malog presjeka, može podnijeti snagu do 100 W, pokriva opseg od 3,5 MHz (SWR 1:1,1) do 28 MHz (SWR 1:1,2). Težak je samo 50 grama.

U svakom slučaju uz malo truda, umjesto jednostavnog *choke baluna*, napravite *Collins balun* koji je puno efikasniji.

COLLINS BALUN 1:4 (50 Ω:200 Ω)

Ovaj *balun* je TLT *Guanella* strujni *balun* 1:4 (shema 3.), napravljen od koaksijalnog kabela.

Da bismo transformirali 50 Ω na 200 Ω, između ova dva otpora je potrebno spojiti dvije linije impedancije 100 Ω. Njih ćemo na ulazu spojiti paralelno, a na izlazu serijski. Induktivni otpor mora biti dovoljno velik da se odvoji ulaz od izlaza (to ćemo postići motanjem linija). Liniju impedancije 100 Ω ćemo napraviti serijskim spajanjem dvije linije od 50 Ω.

Liniju od 100 oma napravimo od dva komada kabela RG 58 C/U dužine 2,5 m (spojimo im oplete međusobno na jednom i drugom kraju). Tako napravljene dvije linije od 100 Ω spojimo međusobno ukršteno i u tim ćemo točkama napajati *balun* s 50 Ω. Ovako spojene kabele ukupne dužine 5 m namotamo u 8 zavoja (unutarnji promjer

17 cm, vanjski 21 cm). Namotali smo kabel tako da kad ga napajamo u sredini vidimo da struje, koje inače u ove dvije linije teku u suprotnim smjerovima, dovodimo da teku u istom smjeru. To povećava međusobnu spregu linija, povećava ukupnu impedanciju, izolaciju ulaza i izlaza *baluna* te omogućava rad *baluna*. Kod motanja vodimo računa da nam se kraj i početak kabela približe kako bismo ih mogli spojiti. Spojimo jedan vodič linije s vodičem druge linije, a između ostala dva vodiča linija spojimo antenu kao teret od 200 Ω. *Balun* može izdržati snagu do 1 kW jer smo napravili paralelno-serijski spoj 4 dionice kabela RG 58C/U. *Balun* pokriva opseg od 3,5 MHz (SWR 1:1,0) do 28 MHz (SWR 1:1,1). Ovaj je *balun* težak 350 grama (vidi shemu 3. i sliku 8). Ako želimo dobro simetriranje poslije transformacije 1:4, u nastavku prema TX možemo spojiti *Collins balun* 1:1.

ZAKLJUČAK

Prednosti *Collins* koaksijalnih *baluna* u odnosu na *balune* s jezgrom:

- linearni su i nema materijala koji može doći u zasićenje,
- mogu podnijeti veliku snagu (to ovisi samo o izboru koaksijalnog kabela i njegove izolacije; ako je teflonska onda može podnijeti snage do 5 kW),
- postiže se lako mali SWR,
- materijal za izradu (koaksijalni kabel) može se lako nabaviti,
- otporni su na atmosferilije, ne treba im zaštitno kućište,
- relativno su lagani,
- jeftini su.

Balune ne smijete zatvarati u metalne kutije i ne smiju dodirivati metalne površine (to će im se promijeniti karakteristike). SWR možete podešavati s malim kapacitetom ako spojite kapacitet (komad koaksijalnog kabela) na izlaz *baluna* paralelno s antenom.

Ovdje sam dao podatke o težini *baluna* jer su *Collins baluni* relativno lagani (protivno uvriježenom mišljenju da su koaksijalni *baluni* teški). Praktički su teški jednako kao i *baluni* s namotanom željeznom ili feritnom



Slika 8. Collins balun 1:4, RG 58 C/U namotan u smotuljak

jezgrom kad stave u zaštitna kućišta. *Baluni* koje sam napravio kao primjere nemaju spojeve zaštićene tekućom plastikom, tj. nisu mehanički dovršeni kako bi se na fotografijama vidio način spajanja.

Cilj je ovoga članka upoznati čitatelje sa širokopojasnim koaksijalnim *balunima* za KV kako bi ih češće koristili u praksi. Najčešće je korišten ugly choke odnosa 1:1 (zbog jednostavnosti). Također, objasnio sam kako funkcionira koaksijalni *balun* 1:1, tako da se zna zašto se mota određeni broj zavoja i na koji način. Dao sam i rješenja koja su već duže poznata, no modificirana su i daju bolje rezultate s malim poboljšanjima. Ovako napravljen/podešen *Collins*ov *balun* 1:1 i 1:4 bolji je nego neka druga slična rješenja. Konkretna sam rješenja dobio pokusima režući desetke metara koaksijalnog kabela i nastojeći pritom dobiti širokopojasni *balun* sa što kraćim koaksijalnim kabelom. 📡

Literatura

- Badger, G. W6TC, „A new class of coaxial-line transformers“, 1980.,
- Sevic, J. W2FMI, „A Simplified Analysis of the Broadband Transmission Line Transformer“, 2004.,
- Joe Reisert, W1JR, „Simple and Efficient Broadband Balun“, 1978.
- The ARRL Antenna Book, 2000.,
- Radio HRS 6/2008,
- Radio HRS 1/2009.