7. Transformatori za simetriranje

Skoro sve korišćene UKT antene i veliki deo kratkotalasnih antena jesu antene simetrične izrade. Kada se na jednom mestu u antenskom postrojenju poremeti simetrija, javljaju se gubici usled zračenja. Simetrični su, takođe, UKT trakasti vodovi, oklopljeni simetrični dvožični vodovi i svi dvožični vodovi sopstvene izrade, pa su zato pogodni za napajanje simetričnih antena.

Međutim, u mnogim slučajevima pogodno je da se za napajanje upotrebe nesimetrični koaksijalni kablovi, jer oni mogu dati niz prednosti, kao što je objašnjeno u tački 5.1.3.

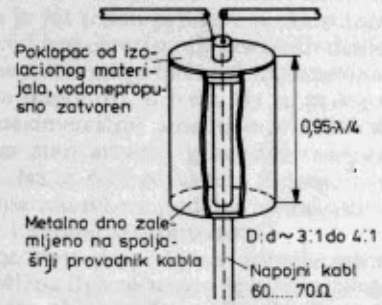
Ako se simetrična antena napaja koaksijalnim kablom, ona je nesimetrično opterećena, čak i kada su otpornost na priključku antene i karakteristična impedanca kabla međusobno jednake. Kao posledica toga, javljaju se struje izjednačenja u omotaču kabla; one prouzrokuju gubitke usled zračenja. Neravnomerno pobuđivanje antene izobličava karakteristiku usmerenosti antene i pospešuje »razrokost« antene. Ostali nenamerni efekti usmeravanja i poništavanja zračenja mogu da se jave i zbog interferencije talasa, koje zrači oklop kabla, sa zračenjem antene.

Kod napajanja simetričnih antena ne treba se odreći prednosti koaksijalnih kablova, jer postoji nekoliko mogućnosti da se priključci kablova na antenu izvedu simetrično u odnosu na zemlju. Takvi uređaji poznati su pod zajedničkim pojmom *elemenata za simetriranje* ili *transformatora za simetriranje*.

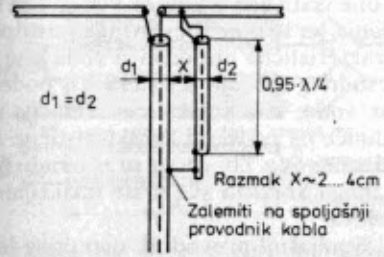
7.1. Četvrttalasni lonac za simetriranje

Klasičan element za simetriranje je *četvrttalasni lonac za simetriranje*, prikazan na sl. 7.1.

Iz mehaničkih razloga simetriranje $\lambda/4$ loncem prikazane izvedbe ograničeno je na područje UKT i decimetarskih talasa. Dužina spoljašnje metalne cevi iznosi 0,95 $\lambda/4$. Prečnik D nije naročito kritičan i obično iznosi 25 do 40 mm kada se koriste komercijalni koaksijalni kablovi (odnos prečnika spoljašnje cevi i koaksijalnog kabla treba da bude oko 3 : 1 do 4 : 1). Sa donje strane, lonac je zatvoren metalnom pločicom. Napojni kabl ulazi kroz centralni otvor u unutrašnjost cevi, s tim što mu je na dužini $\lambda/4$ skinut zaštitni plastični omotač. Tako oslobođen spoljašnji provodnik zalemi se sa dnom lonca na ulazu u lonac. Iz mehaničkih razloga, otvor lonca prema anteni zatvoren je poklopcem od izolacionog materijala, a u njegovoj sredini nalazi se otvor za koncentrično provođenje napojnog kabla. Poklopac lonca mora dobro da zaptiva unutrašnjost lonca od kiše. Ne sme se štedeti zaptivna masa. Otpaci trolitula rastvoreni u hloroformu daju dobar zaptivni kit. Na dnu lonca predvideti mali otvor za odvod vode.



Sl. 7.1. Četvrttalasni lanac za simetriranje

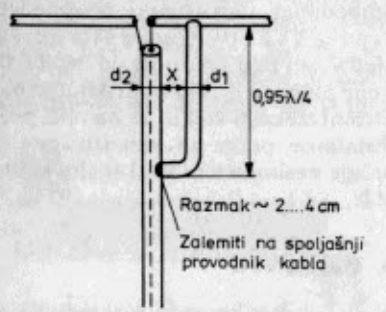


Sl. 7.2. Pozijev element za simetriranje

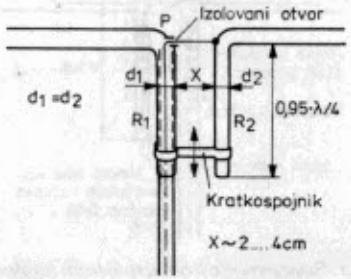
7.2. *Pozijev* element za simetriranje

Pozijev (Powsey) element za simetriranje (sl. 7.2) veoma je jednostavan, a može da se koristi i u kratkotalasnom području. Za njegovu izradu dovoljan je komad koaksijalnog kabla bilo koje karakteristične impedance (dužine 0,95 $\lambda/4$). Unutrašnji provodnik kabla nije potreban, pa se može upotrebiti čak i kabl koji je postao neupotrebljiv zbog uticaja vode.

Značajan je samo spoljašnji provodnik kabla, čiji prečnik mora da bude jednak prečniku napojnog kabla. Donji kraj kabla dužine $\lambda/4$ lemi se na spoljašnji provodnik napojnog kabla. Razmak X nije kritičan i može da bude 2 do 4 cm. Četvrttalasni kabl može se zameniti komadom cevi ili okruglom šipkom iste dužine, kao što je naznačeno na sl. 7.3, pri čemu je način delovanja isti a postiže se i isti uspeh. Spoljašnji prečnik upotrebljenog komada dužine $\lambda/4$ mora opet odgovarati spoljašnjem prečniku koaksijalnog kabla.



Sl. 7.3. Mehanička varijanta Pozijevog elementa za simetriranje



Sl. 7.4. EMI-petlja

7.3. *EMI* petlja

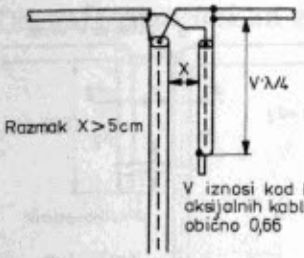
Na sl. 7.4 prikazana je tzv. *EMI* petlja, u kojoj će pažljivi čitalac odmah prepoznati normalni *Pozijev* element za simetriranje. Kod EMI petlje poboljšana je samo mehanička konstrukcija (*EMI* naziv engleske firme).

Sa koaksijalnog kabla za napajanje skida se odgovarajuća dužina (nešto više od $\lambda/4$) izolacionog spoljašnjeg zaštitnog omotača i ogoljeni kraj ugura u levu cev R_1. Na taj način spoljašnji provodnik napojnog kabla dolazi u kontakt sa cevi R_1. Unutrašnji provodnik kabla ne sme doći u dodir sa spoljašnjim provodnikom, ni sa cevi R_1. On se u tački P izvuče kroz izolovani otvor i zalemi na cev R_2. Radi tačnog podešavanja, kratkospojnik na dnu EMI petlje izvede se tako da se može pomerati. Taj pomični klizni kratkospojnik, u određenim granicama omogućava i kompenzaciju reaktivnih komponenti antenske impedance.

7.4. Simetriranje kratkospojenim kablom

Na sl. 7.5 prikazan je veoma jednostavan način simetriranja, koji se može dobro izvesti i u kratkotalasnom području.

To je komad koaksijalnog kabla, koji je na svom donjem kraju kratko spojen (unutrašnji provodnik je zalemljen na spoljašnji) i čija je električna dužina $\lambda/4$. Treba uzeti u obzir faktor skraćenja; on iznosi kod komercijalnih koaksijalnih kablova prosečno 0,66. Geometrijska dužina komada kabla dobija se, kada se $\lambda/4$ pomnoži sa faktorom 0,66. Razmak čet-



Sl. 7.5. Simetriranje kratkospojenim kablom dužine λ/4

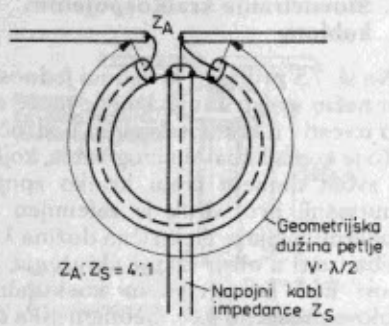
vrttalasnog komada kabla od napojnog kabla treba da bude najmanje 5 cm. Na priključku antene kabl za napajanje i provodnik za simetriranje spajaju se unakrsno paralelno (vidi sl. 7.5).

Do sada opisani elementi za simetriranje ne menjaju odnose između otpornosti u priključnoj tački antene. Oni su delimično poznati samo pod imenom bazuka (*Bazooka*). Ogranak za simetriranje pogodan je za kratkotalasne opsege; ali se ne preporučuje za VVF i UVF.

7.5. Polutalasna koaksijalna petlja za simetriranje

Polutalasna koaksijalna petlja za simetriranje ima karakteristike elementa za transformaciju (sl. 7.6).

Ovaj način simetriranja sastoji se od koaksijalne petlje, čija električna dužina iznosi λ/2. Da bi se dobila geometrijska dužina koja je ekvivalentna električnoj dužini od λ/2, mora se λ/2 pomnožiti faktorom skraćenja *V* upotrebljenog kabla.



Sl. 7.6. Element za simetriranje i transformaciju u vidu polutalasne koaksijalne petlje

Petlja za simetriranje može se napraviti od one vrste kabla koja se koristi i za napajanje, jer to pojednostavljuje postupak. Karakteristična impedanca voda nije od presudnog značaja, jer se radi o podešenom vodu, kod koga transformacija impedance ne zavisi od karakteristične impedance voda. Zbog toga se za izradu petlje mogu koristiti sve vrste koaksijalnih kablova.

Spoljašnji provodnik napojnog kabla spaja se sa spoljašnjim provodnikom petlje, kao što se vidi na sl. 7.6. Međutim, ne postoji spoj između spoljašnjih provodnika oba kabla i antene. Način spajanja unutrašnjih provodnika oba kabla sa antenom prikazan je, takođe, na sl. 7.6.

Odnos transformacije polutalasne petlje iznosi 1 : 4. To znači da se koaksijalni kabl karakteristične impedance Z_S od 60 Ω može priključiti uz pomoć polutalasne petlje na ulaznu otpornost antene Z_A od 240 Ω, pri čemu je ostvarena simetrija prema tlu, a zadovoljeni su i uslovi o priključivanju impedance. Ista koaksijalna petlja može se primeniti i za odnos impedanci 50/200 Ω ili 70/280 Ω, odnosno 73/300 Ω, a da se pri tome ne mora ništa promeniti na vodu.

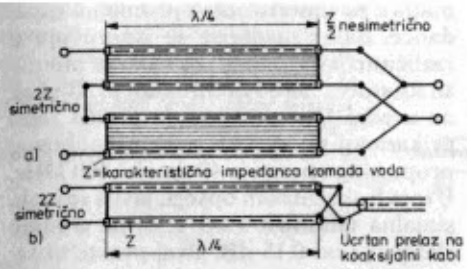
Ovakva petlja naziva se još i balun-transformator ili kratko samo balun (engleska skraćenica za balanced-unbalanced). Relativna širina opsega *b* iznosi oko 0,3, pa je pogodna za svaku praktičnu primenu u radio amaterstvu.

Petljasti oblik ovog zaobilaznog voda nije obavezan, pa se, prema zahtevima, deo kabla za simetriranje može saviti u više namotaja ili položiti u bilo kojoj drugoj formi.

Impedanca industrijski proizvedenih antena za VVF i UVF opseg skoro uvek je simetrična i ima vrednost od 240 Ω. Ove antene mogu se direktno priključiti na simetrični trakasti vod ili se na njih, preko polutalasne petlje za simetriranje, priključuje nesimetrični koaksijalni kabl od 60 Ω.

7.6. Balun-vod

Kada se dva komada provodnika iste vrste i iste dužine povežu paralelno na jednom kraju, a serijski na suprotnom



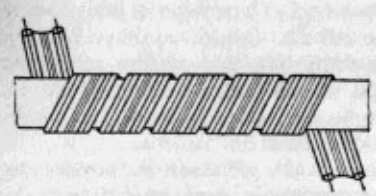
Sl. 7.7. Balun vod: a – za trakasti vod, b – za koaksijalni kabl

kraju, takođe dolazi do transformacije otpornosti povezane sa simetriranjem, kao kod polutalasne petlje. Kod balun-vodova (sl. 7.7), karakteristična impednca Z javlja se na paralelno vezanom kraju, i to sa vrednošću Z/2 nesimetrično. Na suprotnom kraju redno vezani kraj voda je simetričan i priključna impedanca jednaka je dvostrukoj karakterističnoj impedanci balun-voda (2Z). Odnos transformacije impedance koja je povezana sa transformisanjem simetričnosti iznosi 1 : 4.

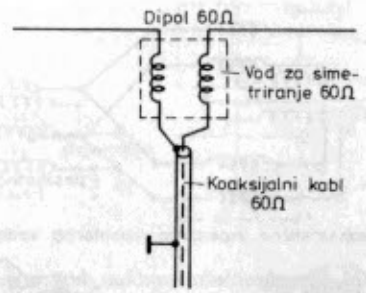
Dužina oba komada voda iznosi λ/4. Na sl. 7.7 prikazan je balun-vod za koaksijalni kabl i za UKT trakasti vod. Pravilnim korišćenjem balun-voda mogu se uspešno rešiti problemi prilagođenja koji u početku izgledaju teški.

7.7. Namotani dvožični vod kao transformator za simetriranje

Ako se dvožični vod namota u zavojnicu sa odgovarajućim brojem namotaja, ona će u veoma velikom frekventnom opsegu pokazivati sledeće karakteristike: delovaće kao prigušnica nesimetričnih struja, ali će samo neznatno prigušivati simetrične struje. To znači da namotani



Sl. 7.8. Traksti UKT vod namotan u zavojnicu



Sl. 7.9. Namotani vod kao element za simetriranje

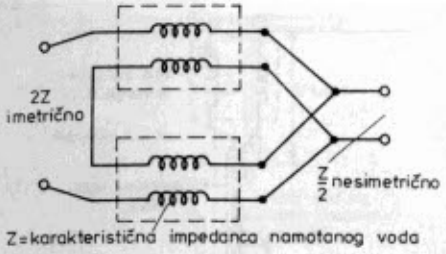
dvožični vod predstavlja transformator za simetriranje koji je skoro nezavisan od frekvencije. Na sl. 7.8 prikazano je kako se komad UKT trakastog voda odgovarajuće karakteristične impedance namotava u zavojnicu. Postupak je jednostavan, a zavojnica ne zauzima mnogo prostora. Dužina namotnog dvožičnog voda nije kritična; optimalno je da bude λ/4, ali ona se može menjati između λ/10 i λ/8. Priključak ovakvog voda za simetriranje na dipol prikazan je na sl. 7.9.

Karakteristična impedanca namotanog voda mora biti jednaka priključnoj impedanci, jer se kod prikazanog oblika transformatora za simetriranje ne javlja pretvaranje impedance.

Postoje raznovrsne mogućnost za korišćenje ovog aperiodičnog transformatora za simetriranje. Na primer, ako se između priključka antene i napojnog kabla priključi namotani trakasti vod od 60 Ω (sl. 7.9), simetrični dipol čija je otpornost na priključku 60 Ω, može se napajati nesimetričnim koaksijalnim kablom čija je karakteristična impedanca 60 Ω. Nesimetrični jednotaktni izlazni stepen ili Kolinsov filtar mogu se, takođe, priključiti na simetrični dvožičan vod, ako se između njih uključi namotani dvožični vod.

7.7.1. Namotani dvožični vod kao transformator za simetriranje i promenu impedance

Ako se upotrebe dva namotana dvožična voda u istom serijsko-paralelnom spoju kao balun-vod (7.6), onda će taj sklop

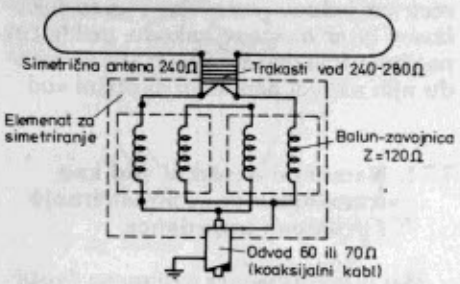


Sl. 7.10. Namotani balun-vod kao element za prilagođenje i simetriranje

imati iste električne osobine: pretvaraće impedancu 4 : 1 i obezbeđivaće prelaz sa simetričnog na nesimetrični sistem, odnosno obrnuto. Osim toga, balun-zavojnica odlikuje se još velikim frekventnim opsegom, a ne zauzima mnogo prostora (sl. 7.10). I u ovom slučaju važi isto pravilo kao kod balun-voda: Karakteristična impedanca Z namotanog voda javlja se na paralelno spojenoj strani kao nesimetrično $Z/2$, a na drugom, serijski spojenom kraju kao simetrično 2 Z.

Takav balun-spoj zavojnica može se primeniti za međusobno spajanje savijenog dipola od 240 Ω na koaksijalni napojni vod od 60 Ω i da pri tom impedance budu pravilno priključene (sl. 7.11). Karakteristična impedanca balun-zavojnica, u ovom slučaju, mora biti 120 Ω ($Z/2$ = 60 Ω, 2Z = 240 Ω.

Ako amater upotrebi simetrični trakasti vod od 120 Ω (2 × 0,4 Cu), nije teško da sam izradi balun-zavojnice, koje se preporučuju za korišćenje u kratkotalasnom području. Međutim, kod korišćenja balun-zavojnica za VVF i UVF antene, jednostavnije i jeftinije je kada amater upotrebi industrijski proizvedene transfor-



Sl. 7.11. Praktičan primer korišćenja balun-zavojnice

matore za simetriranje i promenu impedance. Balun-zavojnice se isporučuju u različitim izvedbama, i to kako za montažu na stubu, tako i za direktan priključak na uređaj. One se izrađuju prema šemi prikazanoj na sl. 7.11, a širina njihovog propusnog opsega je 40 do oko 800 MHz. U tom frekventnom opsegu javlja se maksimalna talasnost s od 1,35, uz srednje slabljenje od 0,15 dB. Ovaj praktični sastavni deo razvijen je radi ispravnog priključivanja simetričnih antena sa standardizovanom otpornošću na priključku od 200 do 300 Ω na koaksijalni kabl karakteristične impedance 50 do 75 Ω.

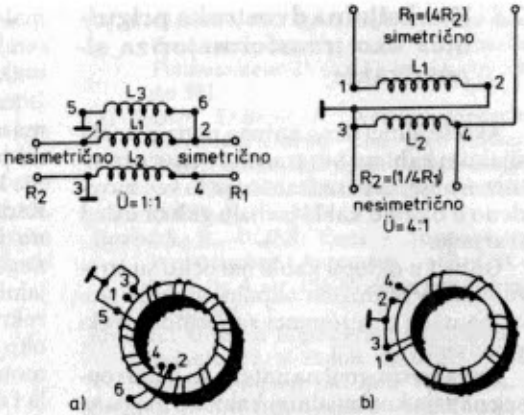
7.7.2. Balun-transformator sa prstenastim jezgrom

Namotavanjem balun-zavojnica na prstenasto feritno jezgro dobije se transformator za simetriranje u kratkotalasnom području. On je lagan i omogućava uštedu materijala. Širina opsega prstenastih balun-transformatora je velika i, kada se upotrebi pogodan ferit, iznosi od oko 3 MHz do 30 MHz (1 : 10). Oni su naročito pogodni za kratkotalasne antene sa više opsega.

Prema potrebi, transformatori za simetriranje mogu se izraditi sa odnosima transformacije 1 : 1, 4 : 1 i 5 : 1 do 10 : 1. Zavojnice L_1 i L_2 izvode se kao bifilarni namotaji, koji se rasporede po obimu prstenastog jezgra, kao što je prikazano na sl. 7.12. Potrebno je 6 do 10 namotaja, već prema permeabilitetu prstenastog jezgra. Za zavojnice mogu da se upotrebe lakirana bakarna žica, izolovana bakarna pletenica ili dvožilni provodnik preseka žile ≧ 1 mm^2. Na sl. 7.12a prikazana je principijelna šema i način izrade namotaja za široko pojasni transformator za simetriranje sa prenosnim odnosom 1 : 1. Zavojnice L_1, L_2 i L_3 imaju isti broj namotaja (6 do 10). L_1 i L_2 namotane su bifilarno i zauzimaju oko 2/3 obima prstenastog jezgra; na slobodnu trećinu smeštena je zavojnica L_3 koja je namotana jednim provodnikom.

Na sl. 7.12b prikazan je transformator za simetriranje koji istovremeno vrši transformaciju u odnosu 4 : 1. Potreban

Sl. 7.12. Širokopojasni balun-transformator sa prstenastim jezgrom: a – principijelna šema i način motanja namotaja za prenosni odnos Ü = 1 : 1; b – principijelna šema i način motanja za Ü = 4 : 1; c – principijelna šema i način motanja za Ü = 5 : 1 do 10 : 1



je samo jedan bifilarni namotaj, koji se sastoji od L_1 i L_2 i koji je raspoređen po obimu prstenastog jezgra. Spajanjem krajeva 2 i 3 nastaje serijsko-paralelna veza; zahvaljujući toj vezi impedanca simetričnog priključka R_1 (1 – 4) transformiše se u odnosu 4 : 1 na nesimetričnom priključku (3 – 4), tj. $R_2 = \frac{1}{4} R_1$.

Ako se na zavojnici L_2 naprave izvodi, mogu se u zavisnosti od položaja izvoda 5, postići prenosni odnosi od 5 : 1 do 10 : 1 (sl. 7.12c, literatura pod [1]. Položaj izvoda 5 izračunava se iz odnosa

$$R_1 = 4 \cdot \frac{R_2}{K^2} \qquad (7.1)$$

U tabeli 7.1 date su izračunate vrednosti za položaj izvoda 5, izražene u decimalnim brojevima ($K_n : n$) i kao broj namotaja između izvoda 3 – 5 za n = 8 namotaja i n = 7 namotaja.

Kao materijal za izradu prstenastog jezgra pogodni su, pre svega, Ni–Zn feriti (npr., *MANIFER* iz grupe *MF 300* odnosno *FERROXCUBE 4*), a mogu se upotrebiti i Mn-Zn feriti (npr., *MANIFER* iz grupe *MF 100* odnosno *FERROXCUBE 3*). Za snage koje su dozvoljene za amaterske predajnike uvek je dovoljan spoljašnji prečnik D prstenastog jezgra od 60 mm. Za VF snage do 20 W dovoljan je D od 25 mm (literatura pod [2]); Za D = 40 mm snaga predajnika može biti do 200 W. Ako nema prstenastih feritnih jezgara mogu se upotrebiti i antenski feritni štapovi kao nosači namotaja.

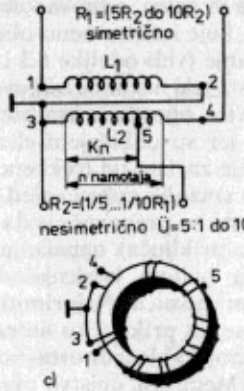


Tabela 7.1

POLOŽAJ IZVODA 5 U ZAVISNOSTI OD PRENOSNOG ODNOSA $R_1 : R_2$ ZA BALUN-TRANSFORMATORE PREMA sl. 7.12c

Prenosni odnos ($R_1 : R_2$)	Izvod 5 ($K_n : n$)	Broj namotaja K_n za $n = 8$ namotaja	Broj namotaja K_n za $n = 7$ namotaja
5 : 1	0,9	7,2	6,3
6 : 1	0,82	6,5	5,7
7 : 1	0,76	6,1	5,3
8 : 1	0,71	5,6	5,0
9 : 1	0,67	5,3	4,7
10 : 1	0,64	5,1	4,5

Ostala uputstva o izradi širokopojasnih transformatora za simetriranje i promenu impedance data su u literaturi pod [2], a pod [3] navode se opšti podaci o feritnim sastavnim delovima i o njihovoj primeni.

7.8. Koaksijalna dvostruka prigušnica kao transformator za simetriranje

Ako se simetrična antena napaja koaksijalnim kablom bez transformatora za simetriranje, tada se, kao što je to već navedeno u oklopu kabla javljaju gubici usled zračenja.

Gubici u oklopu kabla naročito su izraženi kada se dužina napojnog kabla slučajno nađe u rezonanci sa radnom frekvencijom.

Kada se simetrična antena za jedan opseg napaja koaksijalnim kablom, mogu se koristiti napred opisani elementi za simetriranje ili gama, odnosno omega-prilagođenje, koje istovremeno obezbeđuje i simetriranje (vidi odeljke 6.3 i 6.4).

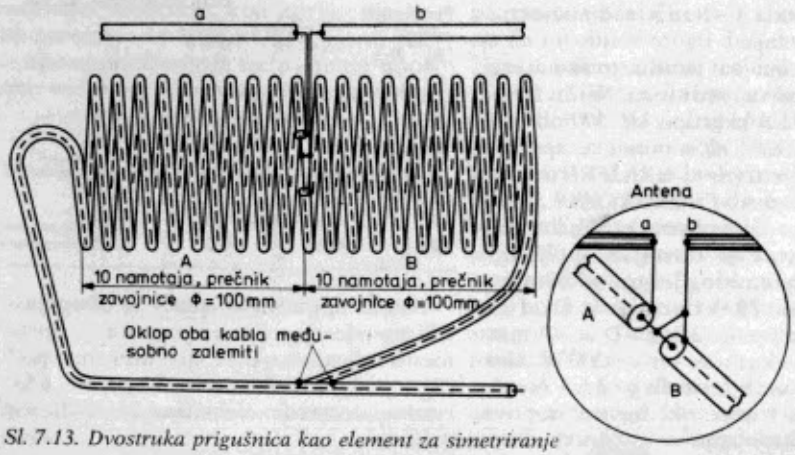
Na žalost, ovaj način ne odgovara antenama za više opsega u kratkotalasnom području, jer su uobičajeni elementi za simetriranje zavisni od frekvencije.

Da bi se smanjili gubici usled zračenja oklopa, često se preporučuje da se između tačke za priključak napajanja antene i spoljašnjeg oklopa koaksijalnog kabla priključi prigušnica. Najprimitivniji način je da se na priključku antene jedan deo napojnog kabla jednostavno namota u svežanj. Međutim, dejstvo ove mere je malo. Nešto je povoljnije kada se kraj koaksijalnog kabla do antene namota u pravilnu zavojnicu sa 10 do 12 namotaja, čiji je prečnik 120 mm, i to bez razmaka među namotajima. Na taj način može se malo više smanjiti nesimetričnost u amaterskom opsegu od 10, 15 i 20 m, ali to je, ipak, nepotpuno, pomoćno rešenje.

Koaksijalna dvostruka prigušnica prema sl. 7.13 predstavlja efikasniji i električno povoljniji transformator za simetriranje kratkotalasnih antena sa više opsega. Kada se koristi takva prigušnica potrebno je oko 8 m koaksijalnog kabla više nego kod direktnog priključka. Koaksijalni napojni kabl se ne prekida, jer on direktno prelazi u dvostruku prigušnicu na oko 8 m od kraja kod antene. Posle 10 namotaja skine se spoljašnji provodnik kabla i dielektrik na dužini od 2 do 5 cm, pri čemu se ne sme povrediti unutrašnji provodnik. Kasnije se na to mesto priključi antena kao što je prikazano na detalju. Zatim se u istom smeru namota 10 namotaja (*B*). Preostali rep kabla kratko se spoji na kraju (poveže se unutrašnji provodnik sa spoljašnjim), pa se zalemi na spoljašnji provodnik dovodnog kabla. Tačku spajanja odabrati tako da dužina B (između kraja zavojnice i priključne tačke antene) bude jednaka dužini A (između početka zavojnice i priključne tačke antene).

Sistem je širokopojasan i može se koristiti za tri amaterska kratkotalasna opsega. Dvostruka prigušnica za simetriranje u velikoj meri otklanja gubitke usled zračenja oklopa.

Dodatni gubici u vodu iznose najviše 0,5 dB i uopšte nisu značajni, jer je poboljšan stepen korisnog dejstva antene.



Sl. 7.13. Dvostruka prigušnica kao element za simetriranje

Koaksijalna dvostruka prigušnica je relativno teška za napojnu tačku antene i na koaksijalnom kablu ima više priključnih mesta, koja moraju biti dobro zaptivena od prodora vlage. Balun-transformator sa prstenastim jezgrom je lakši i ima manje dimenzije, a kao što je rečeno u tački 7.7.2, odlikuje se širim opsegom. Koaksijalna dvostruka prigušnica često se koristi kada nema odgovarajućeg feritnog prestenastog jezgra.

LITERATURA ZA POGLAVLJE 7

[1] . . . The ARRL Antenna Book, 13. izdanje 1974, str. 103, Newington, Conn.

[2] *Rohlaender, W.*: Symmetriewandler und Breitbanduebertrager fuer Kurzwelle, Funkamateur 25 (1976), br. 11, str. 550 do 551

[3] *Becker, E/Beyer, P.*: Weichmagnetische Ferritbauelemente und ihre Anwendung, amaterska serija »electronica«, vol. 124 i 125, Militaerverlag der DDR (VEB), Berlin 1974.

Auerbach, R., DLIFK: Coax – Speisung symmetrischer Antennen, »DL-QTC«, 1961, br. 4, str. 156, W. Koerner-Verlag, Stuttgart

Jasik, H.: Antenna Engineering Handbook, 1. izdanje, 31. 6. Balun, McGraw – Hill Book Company Inc. New York 1961.

Orr, W.I. W6SAI Beam Antenna Handbook, 2. izdanje, str. 58, Radio Publications Inc., Wilton, Conn.