

SESTAVLJANJE KROŽNE POLARIZACIJE

Matjaž Vidmar, S53MV

1. Polarizacija radijskih valov

Radijski valovi, svetloba in še nekatere druge vrste valovanj so elektromagnetna valovanja. Elektromagnetno valovanje spada v družino prečnih (transverzalnih) valovanj. Medtem ko je lega vzdolžnih (longitudinalnih) valovanj v prostoru (na primer zvočnega valovanja) natančno opisana s smerjo razširjanja valovanja, potrebujemo za vsa transverzalna valovanja še dodaten podatek za opis lege in orientacije valovanja v prostoru. Ta dodatni podatek imenujemo polarizacija valovanja.

Pojma polarizacije radijskih valov radioamaterji pogosto ne razumejo in potem iščejo čudne in komplicirane rešitve za svoje antene oziroma se v najslabšem slučaju odločijo za napačno rešitev. Zato sem se odločil napisati tale članek o krožno polariziranih antenah, saj je krožna polarizacija radioamaterjem verjetno najmanj znana.

Kratkovalovni radioamaterji se s polarizacijo svojih anten skoraj nikoli ne ukvarjajo. Razlog je preprost. Na kratkih valovih naredimo večino zvez s pomočjo ionosfere, v ionosferi pa se polarizacija radijskih valov skoraj naključno spreminja zaradi Faraday-evega sukanja in drugih pojavov v ioniziranih plinih (ionosfera) v enosmernem (zemeljskem) magnetnem polju. Ker se ionosfera stalno spreminja, se stalno spreminja tudi polarizacija valovanja, ki pride do sprejemne antene, in rezultat je nihanje jakosti sprejetega signala ne glede na to, če sta polarizaciji sprejemne in oddajne antene usklajeni ali ne.

Na UKV in mikrovalovnih frekvenčnih področjih se zemeljska atmosfera obnaša skoraj kot recipročna snov. Sukanje polarizacije opazimo le še pri satelitskih in EME zvezah, ki prebadajo ionosfero, in še to le na nižjih UKV področjih, na mikrovalovih pa tudi ta pojav povsem izgine. Na UKV in višjih frekvencah je zato potrebno uskladiti polarizaciji sprejemne in oddajne antene, če želimo doseči kar največji domet radijske zveze.

Polarizacijo elektromagnetnega valovanja običajno opisujemo s smerjo pripadajočega električnega polja. Najenostavnejša polarizacija je linearna polarizacija. Pri linearni polarizaciji ohranja električno polje vedno isto smer v prostoru. Najbolj znana primera linearne polarizacije sta pokončna (vertikalna) polarizacija in vodoravna (horizontalna) polarizacija.

Seveda obstajajo še druge vrste polarizacij. Če se električno polje v prostoru vrti, pojav imenujemo krožna polarizacija. Obstajata dve vrsti krožne polarizacije, leva in desna, glede na smer vrtenja električnega polja. Najbolj splošni primer je eliptična polarizacija. V bolj skromnih besedah je to vmesni slučaj med povsem krožno in povsem linearno polarizacijo: električno polje se sicer vrti, vendar hkrati njegova jakost tudi niha, tako da imamo v določeni smeri močnejše polje, v nanjo pravokotni smeri pa šibkejša polje.

Čeprav obstaja neskončno mnogo različnih polarizacij za vsako prečno valovanje, lahko poljubno polarizacijo vedno sestavimo kot uteženo vsoto dveh izbranih pravokotnih

(ortogonalnih) polarizacij. Po drugi strani pa lahko za poljubno polarizacijo vedno najdemo njej pravokotno polarizacijo, na primer pokončna/vodoravna linearna polarizacija (tu ima izraz pravokotnost svoj geometrijski pomen) ali pa leva-krožna/desna-krožna polarizacija. Zadnja ugotovitev pomeni, da univerzalna antena, ki bi znala sprejemati poljubno polarizacijo, ne obstaja, saj vedno lahko najdemo njej pravokotno polarizacijo. Prav tako ne obstaja nobena vrsta polarizacije, ki bi bila v vseh pogledih boljša od drugih za radijsko zvezo. Polarizacijo radijskih valov zato prilagodimo vrsti uporabe.

Večina radioamaterjev uporablja vodoravno linearno polarizacijo na UKV področjih za dolge SSB/CW zveze ter pokončno linearno polarizacijo za FM zveze na kratke razdalje. Vzrok je verjetno v enostavnosti izdelave ustreznih anten. Pri zvezah na majhne razdalje uporabljamo neusmerjene antene in te je lažje izdelati s pokončno polarizacijo. Usmerjene antene za zveze na večje razdalje pa je lažje izdelati z vodoravno polarizacijo.

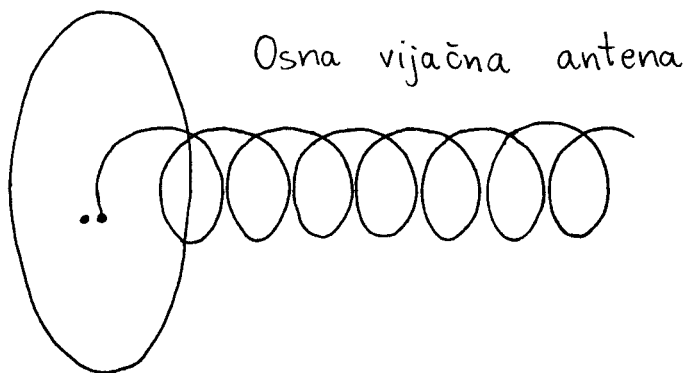
Za satelitske in EME zveze je v večini slučajev najprimernejša krožna polarizacija iz več razlogov. Z uporabo krožne polarizacije ni treba več razmišljati, kako je glede na nas zasukan satelit oziroma naš sogovornik na drugi polobli. Tudi Faraday-evo sukanje ravnine polarizacije nima na krožno polarizacijo nobenega vpliva. Končno lahko z uporabo krožne polarizacije oslabimo neželjene odbite valove glede na željeni direktni val s satelita.

Slaba lastnost krožne polarizacije so predvsem bolj komplicirane in nerodne antene. Razen tega se da linearno polarizacijo "izdelati" zelo "čisto" in natančno, saj so smeri tokov v anteni enostavno določene s položajem vodnikov. Čeprav obstajajo antene, ki so že v svoji osnovi krožno polarizirane (vijačnice in spirale), pa dobljena polarizacija običajno ni popolnoma krožna zaradi raznih motilnih vplivov.

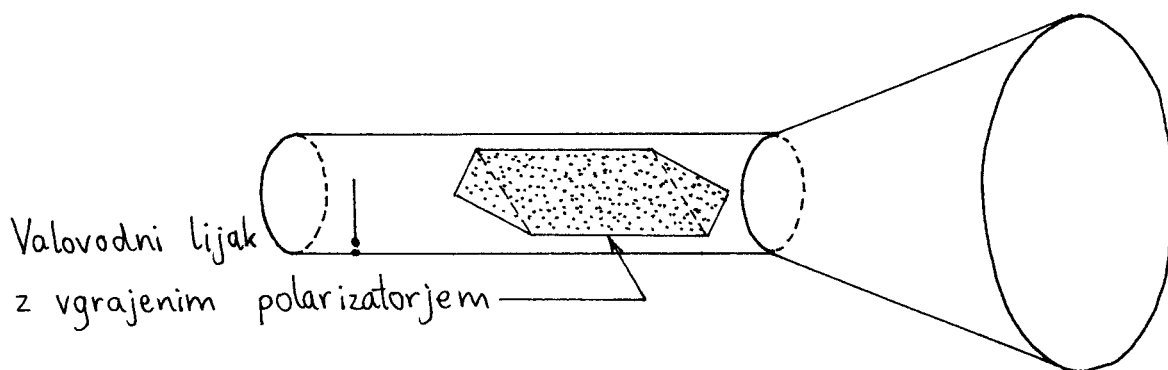
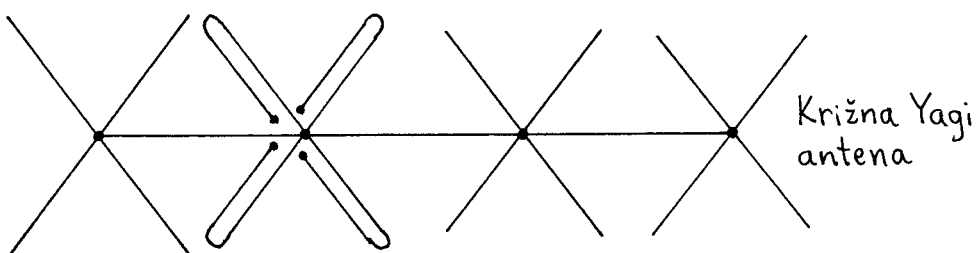
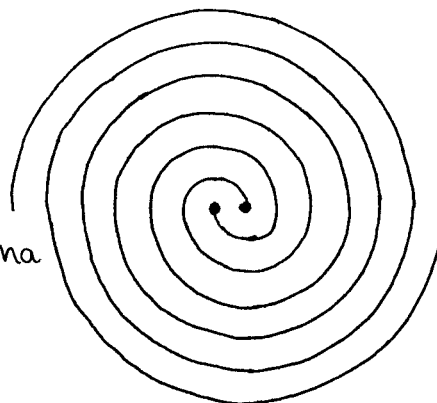
Desno-krožno polarizirana antena torej seva tudi malenkost levo-krožno polariziranega valovanja in obratno. Eliptičnost neidealne krožne polarizacije v tem primeru opišemo z osnim razmerjem elipse. Osno razmerje krožno polariziranega valovanja enostavno izmerimo z linearno polarizirano antenico, ki jo zavrtimo okoli svoje osi ter izračunamo razmerje med minimumom in maksimumom sprejetega signala. Osno razmerje 1 torej pomeni idealno krožno polarizacijo, osno razmerje neskončno pa povsem linearno polarizirano valovanje.

2. Krožno polarizirane antene

Krožno polarizacijo lahko dosežemo na več načinov. Nekatere vrste anten že same po sebi sevajo krožno polarizirano valovanje, na primer različne vrste vijačnih anten ali različne vrste spiralnih anten. Nekaj najbolj znanih krožno polariziranih anten je prikazanih na sliki 1.



Ravninska
špiralna antena



Slika 1. - Nekatere krožno polarizirane antene.

Krožno polarizacijo lahko tudi sestavimo z dvema linearno polariziranimi antenama, postavljenima pod pravim kotom in ustrezno napajanima. Najbolj pogost slučaj so križni dipoli oziroma križne Yagi antene. Pri križni Yagi anteni enostavno postavimo na isti nosilec dve skupini palčk pod pravim kotom.

Nekatere vrste Yagi anten so sicer že same po sebi primerne za poljubno polarizacijo, če palčke zamenjamo z zankami (loop, quad) ali polnimi diski. Polarizacija takšnih anten je potem izključno odvisna od vrste napajanja sevalca. Pri tem naj takoj opozorim, da je večina zankastih Yagi anten (loop, quad) linearno polarizirana, pa čeprav v reklami za takšno anteno piše drugače. Krožna polarizacija zahteva bolj kompliciran sevalec, predvsem pa krožno-simetrično namestitev zank glede na kakršenkoli kovinski nosilec. Ta zadnji pogoj je ponavadi nerodno izpolniti, saj mora biti kovinski nosilec v osi zank, zato pa potrebujemo dodatne prečne nosilne palčke iz izolirne snovi.

Končno lahko pretvorimo linearno polarizacijo v krožno in obratno s kosom dvolomne snovi pred anteno. Ta zadnja rešitev se obnese predvsem pri zelo kratkih valovnih dolžinah. Na primer, za pretvorbo polarizacije svetlobe zadošča že tanek, primerno zasukan listek sljude. V radijskem mikrovalovnem področju rajši vgradimo dvolomnost v valovod, da prihranimo pri količini potrebne snovi. Okrogli valovod postane na primer dvolomen, če v steno vgradimo podolžno vrsto vijakov ali pa vanj vstavimo podolžno ploščico iz dielektrika.

V mikrovalovnih področjih so najbolj pogoste antene valovodni lijaki, bodisi samostojne ali pa kot osvetljevalci zrcal. Valovodni lijak napajamo z valovodom, valovod sam pa z majhno linearno polarizirano antenico. Polarizacija lijaka povsem ustreza polarizaciji vzbujanja valovoda. Krožno polarizacijo najlažje dosežemo tako, da v valovod vgradimo ploščico iz dielektrika primerne dolžine in debeline ter pod kotom 45 stopinj glede na ravnino polarizacije vzbujevalca.

Osnova delovanja takšnega polarizatorja je naslednja: pokončno linearno polarizacijo vzbujevalca si lahko predstavljamo tudi kot vsoto dveh linearno polariziranih valov pod ± 45 stopinj. Dielektrična ploščica upočasni predvsem val s polarizacijo v smeri ploščice, na prečno polariziran val pa ima majhen vpliv. Ker valova pod ± 45 stopinj potujeta z različnima hitrostma po valovodu s prečno ploščico, na koncu nista več v enaki medsebojni fazi. Za pretvorbo linearne polarizacije v krožno in obratno izberemo ploščico tako, da znaša razlika v zamiku faze 90 stopinj.

Na koncu odstavka še par besed o praktičnih rešitvah. Vsaka od opisanih krožno polariziranih anten ima svoje dobre in slabe lastnosti, še posebno, ko je treba razmisliti tudi o praktični izdelavi antene. Vijačne in spiralne antene so za frekvence pod 300MHz že nerodno velike in jih običajno ne uporabljamo za frekvence nižje od 100MHz. Dielektrične ploščice v valovodih je smiselno uporabljati na frekvencah nad 3GHz, z vijaki pa je smiselno izdelati valovodni polarizator na frekvencah nad 1GHz. Za nižje frekvence je najbolj smiselna rešitev križ iz dveh linearno polariziranih anten s primernim vezjem za napajanje.

3. Napajalna vezja za krožno polarizacijo

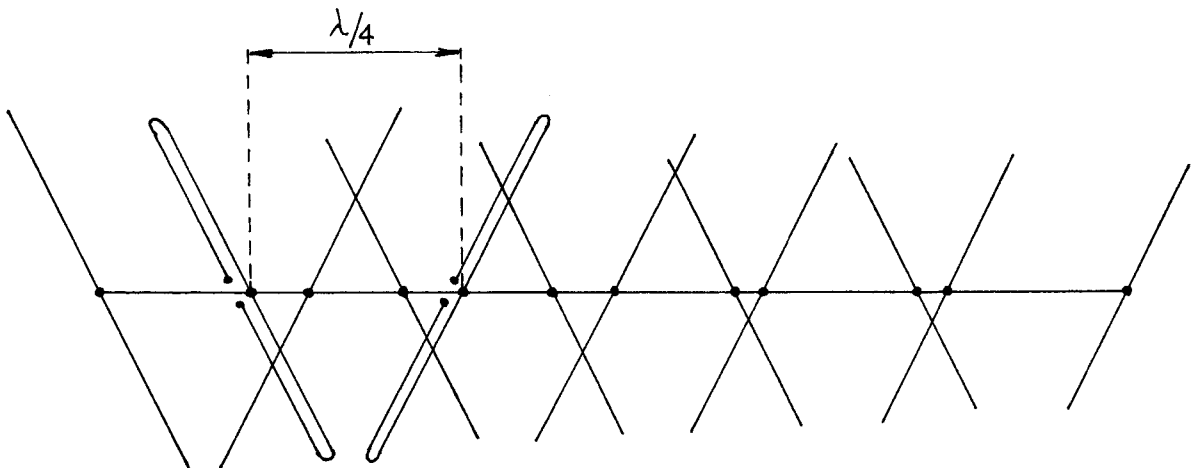
Če sestavljamo krožno polarizacijo z dvema linearno polariziranimi antenama,

moramo zagotoviti naslednje:

- (1) anteni morata biti postavljeni pod kotom 90 stopinj,
- (2) anteni je treba napajati z enako močnima signaloma in
- (3) med obema antenama je treba zagotoviti električni fazni zamik 90 stopinj.

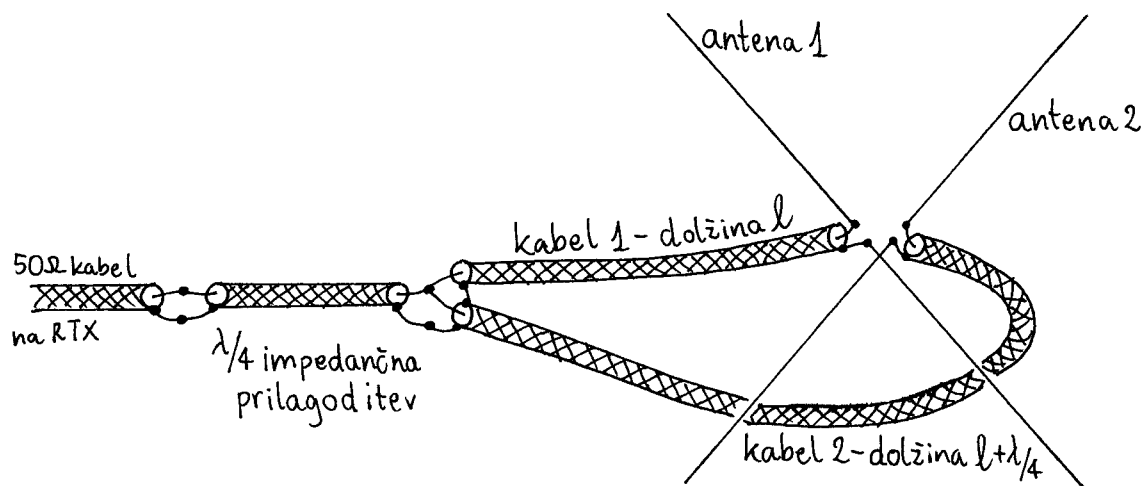
Prvi pogoj je verjetno najlažje izpolniti s samo mehansko konstrukcijo anten. Drugemu in tretjemu pogojju ni tako enostavno zadostiti, še posebno ne v širšem frekvenčnem pasu. Prav zato je dosti težje izdelati dobro krožno polarizirano anteno kot pa linearno polarizirano anteno. V nadaljevanju bom opisal nekaj praktičnih rešitev, kako izdelati takšno krožno polarizirano anteno.

Najenostavnejša rešitev je prikazana na sliki 2. Obe Yagi anteni zgradimo na istem nosilcu, vendar palčke ene antene vzdolžno premaknemo za četrtno valovne dolžine glede na drugo anteno, kar nam da fazni zasuk 90 stopinj v smeri sevanja Yagi anten. Sevalca enostavno napajamo vzporedno preko dveh napajalnih vodov enake dolžine. Čeprav se opisana rešitev pogosto uporablja pri tovarniško izdelanih antenah za radioamaterje, ima več pomanjkljivosti. Nosilec antene je po nepotrebnem daljši za četrtno valovne dolžine, nesimetrična konstrukcija povzroča mehanske preglavice in fazni zamik začne odstopati od idealne vrednosti 90 stopinj, ko antena ni točno usmerjena v sogovornika.



Slika 2. - Fazni zamik z vzdolžnim razmikom anten.

Fazni zamik lahko dosežemo tudi z napajalnimi kablji različnih dolžin, kot je to prikazano na sliki 3. Za fazni zamik 90 stopinj mora razlika v dolžini kablov ustrezati četrtni valovne dolžine. Pri praktični izvedbi ne smemo pozabiti, da potujejo električni signali po kablju počasneje kot pa po praznem prostoru in je treba določeno razliko dolžine kablov še pomnožiti z mnogokratnikom hitrosti kabla. Ta zadnja številka znaša okoli 0.66 za kable s polietilensko polno izolacijo in okoli 0.8 za kable s penasto izolacijo. Zaradi enostavnosti na sliki 3 niso prikazana simetrična vezja obeh anten!

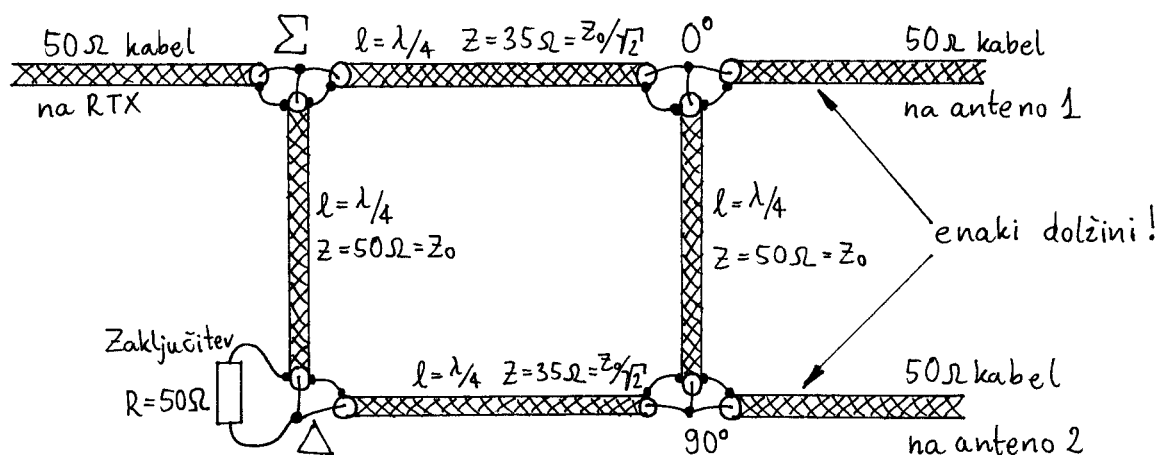


Slika 3. - Fazni zamik s kabli različnih dolžin.

Na papirju izgleda vse lepo in prav: z nekaj koščki kabla dosežemo željeni fazni zamik brez premikanja anten. V radioamaterskih "svetih knjigah" je takšna rešitev tudi opisana kot edino zveličavna in radioamaterji se ponavadi brezglavo zapodimo v lov za kable in konektorje. Žal končnega rezultata nihče ne preverja, prav tako nihče ne razmišlja o drugačnih rešitvah.

Veze na sliki 3 deluje povsem v redu, dokler sta impedanci anten dobro prilagojeni na impedance uporabljenih kablov. Če temu ni tako, se moč oddajnika ne deli več enako na obe anteni, pa tudi fazni zamik med antenama ni več 90 stopinj. Če premešamo ustrezne enačbe, ugotovimo, da bo osno razmerje dobljene eliptične polarizacije kar enako valovitosti (SWRju) neprilagoditve vsake posamične antene, če smatramo, da sta anteni med sabo skoraj enaki. Valovitost 2 je na primer za amatersko anteno povsem sprejemljiva številka, osno razmerje 2 pa pomeni, da smo se skoraj po nepotrebnem trudili z izdelavo krožno polarizirane antene, saj je elipsa že pošteno sploščena.

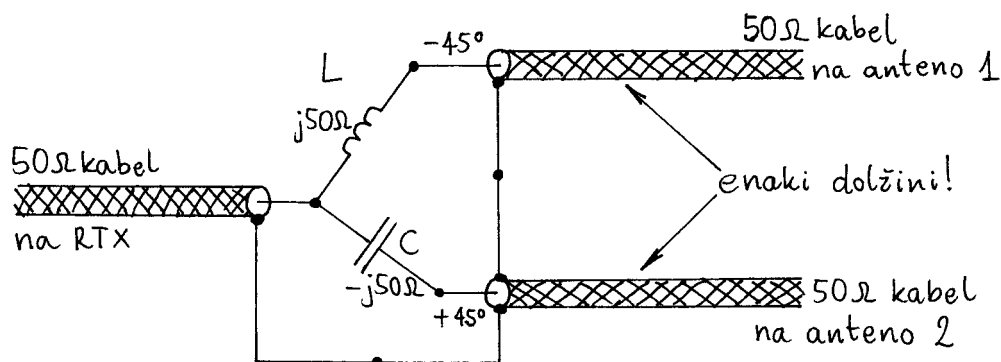
Profiji rešijo opisani problem z 90-stopinjskim delilnikom moči (hibridom). 90-stopinjski hibrid se da izdelati na več načinov, izvedba s koaksialnimi kabli pa je prikazana na sliki 4. Če imata obe uporabljeni anteni enako impedanco, čeprav sta neprilagojeni na 50-ohmski kabel, potem opisani 90-stopinjski delilnik zagotavlja pravilen fazni zasuk in enakomerno porazdelitev signala na obe anteni. Delilnik moči to zagotavlja tako, da odbito moč troši na 50-ohmskem zaključitvenem uporu.



Slika 4. - Fazni zamik z 90° delilnikom moči.

90-stopinjski hibrid je sicer komplicirano vezje z mnogimi kablji in še več dragimi konektorji, težko pridobljene moči našega oddajnika pa tudi rajši ne bi trošili na zaključitvenih uporih. Ker delajo radioamaterske antene v razmeroma ozkih frekvenčnih območjih, se jih običajno da natančno uglasti na željeni frekvenci. Še ugodnejša rešitev pa je prilagoditev in umerjanje napajalnega vezja na naše resnične antene.

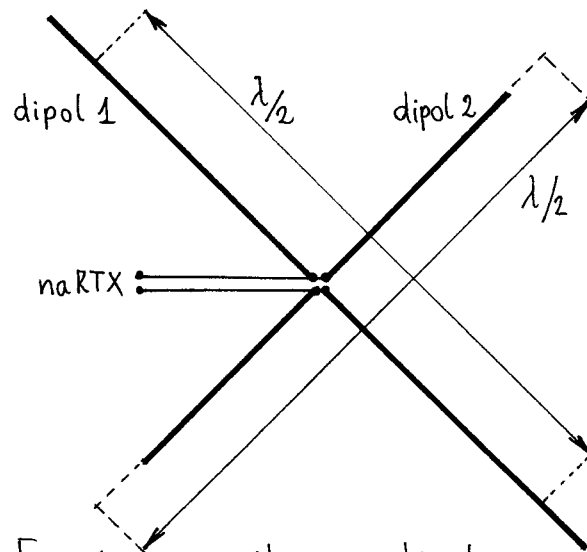
Najprej se je treba spomniti, da se da doseči fazni zamik tudi na bolj enostavne načine in ne samo s kablji oziroma premikanjem celih anten, kot to piše v radioamaterskih "svetih knjigah". Fazni zamik lahko dosežemo tudi s koncentriranimi sestavnimi deli, na primer s tuljavo in kondenzatorjem, kot je to prikazano na sliki 5. Takšno vezje lahko vgradimo v neposredni bližini napajalne točke antene in v tem slučaju ne potrebujemo nobenih dodatnih kablov.



Slika 5. - Fazni zamik s tuljavo in kondenzatorjem.

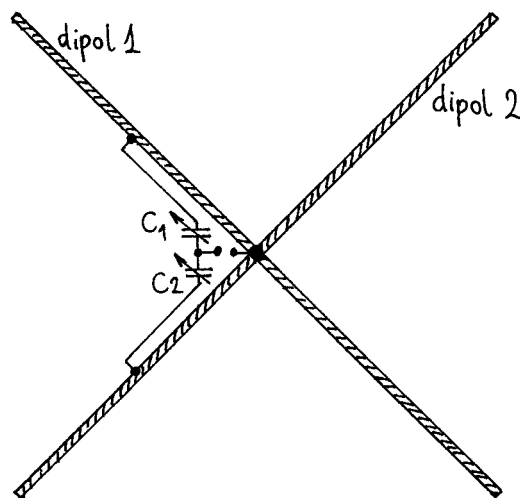
Še enostavnejša rešitev je prikazana na sliki 6. Fazni zamik lahko dosežemo tudi s spreminjanjem impedance obeh anten. Če odprti dipol nekoliko podaljšamo, se njegove sevalne lastnosti bistveno ne spremenijo, le impedanca pridobi induktivno komponento, ker takšen dipol ni več rezonančen na delovni frekvenci. Induktivna komponenta v impedanci pa povsem ustreza zaporedni tuljavi z vezja na sliki 5. Obratno, če odprti dipol nekoliko skrajšamo, impedanca pridobi kapacitivno komponento, kar ustreza zaporednemu kondenzatorju s Slike 5. Krožno polarizacijo lahko z torej dosežemo z dvema dipoloma v

ožjem frekvenčnem področju brez vsakršnih dodatnih sestavnih delov, če se le malo poigramo z dolžinama dipolov!



Slika 6. - Fazni zamik z dipoloma različnih dolžin.

Na podoben način lahko dosežemo krožno polarizacijo z gama prilagoditvama dipolov, kot je to prikazano na sliki 7. Gama prilagoditve je vsekakor lažje nastavljanje kot pa rezati ali pa daljšati celotne dipole.



Slika 7. - Fazni zamik z dvema gama prilagoditvama.

Postopek je naslednji:

(1) Najprej umerimo vsak dipol sam zase, drugi dipol odklopimo, z nastavljanjem dolžine gama prilagoditve in spremenljivega kondenzatorja poiščemo valovitost 1 na željeni frekvenci, kar ustreza povsem realni impedanci 50ohm.

(2) Če naj dipol 1 dobi zakasnen signal, potem kondenzator C1 POVEČUJEMO vse do točke, ko valovitost naraste do 2.62, kar ustreza impedanci $(50+j50)$ ohm na priključku

antene. Pri tem je seveda dipol 2 odklopljen, gama prilagoditve dipola 1 pa ne smemo med tem nič premikati! Če valovitosti 2.62 ne moremo doseči, potem izdelamo nove gama prilagoditve iz tanjše žice za oba dipola in ponovimo točko (1) za oba dipola.

(3) Potem priključimo samo dipol 2 in kondenzator C2 ZMANJŠUJEMO vse do točke, ko valovitost naraste do 2.62, kar ustreza impedanci (50-j50)ohm. Gama prilagoditve nič ne premikamo!

(4) Priključimo obe anteni in preverimo, da je valovitost vzporedne vezave blizu 1. S tem je uglaševanje antene zaključeno!

Krožno polarizacijo se verjetno da izvleči iz dveh anten še na tisoč in en način, v tem odstavku pa sem hotel prikazati, kako se da to pravilno narediti na enostaven način. Iz vsega omenjenega sledi, da je pri sestavljanju krožne polarizacije nujno pomeriti impedance ali prilagoditve anten, torej pri delu potrebujemo zanesljiv reflektometer.

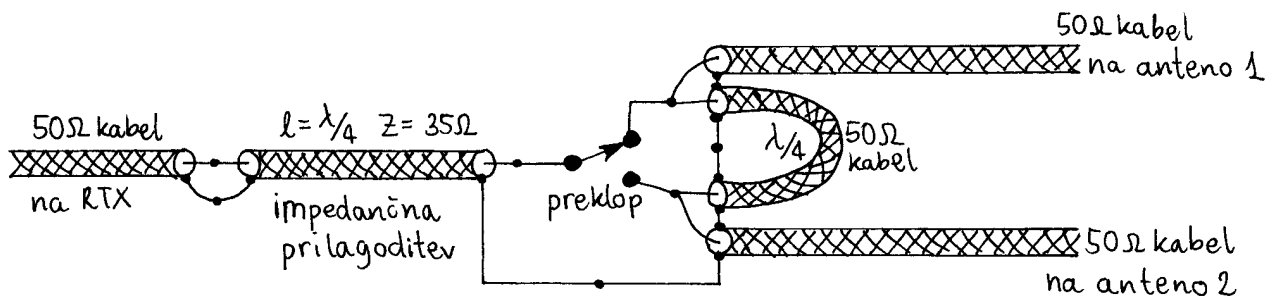
4. Preklop leva/desna krožna polarizacija

V prejšnjem odstavku smo si ogledali, kako doseči pravilno napajanje dveh anten, da dobimo čim boljše krožno polarizacijo, nič pa o tem, če je to desna-krožna (RHCP) ali leva-krožna (LHCP)? Ta zadnji podatek je vsekakor zelo pomemben, saj z napačno izbiro vnesemo v teoriji neskončno veliko, v praksi pa vsaj 20dB slabljenja v radijsko zvezo. Predvsem moramo razlikovati dva slučaja: anteno izdelamo samo za eno polarizacijo oziroma anteno izdelamo tako, da jo lahko preklapljammo med obema možnostma oziroma uporabljamo obe polarizaciji hkrati.

Antene, ki že same po sebi dajejo krožno polarizacijo, na primer vijačne antene ali pa spirale, je običajno nemogoče ali zelo težko predelati za obratno krožno polarizacijo. Pri izdelavi vijačne antene je treba zato paziti, da vijačnico navijemo v pravo smer. Pri osni vijačni anteni dobimo v glavnem snopu v smeri osi desno krožno polarizacijo, če je vijačnica navita v obliki desnega vijaka.

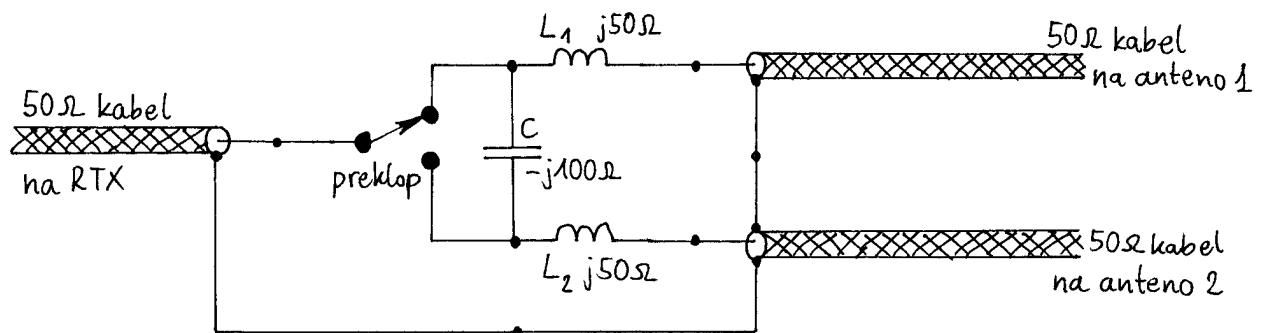
Smer krožne polarizacije je lažje zamenjati, če dobimo krožno polarizacijo s sestavljanjem dveh linearno polariziranih anten. Smer krožne polarizacije seveda zavisi od faze napajanja posameznih anten. Križna antena na sliki 3. na primer seva desno-krožno polarizirano valovanje v smeri notri v sliko in levo-krožno polarizirano valovanje v smeri iz slike ven. Smer krožne polarizacije v tem slučaju obrnemo tako, da zamenjamo polariteto priključkov na eni od obeh anten, ali pa da med sabo zamenjamo kable, ki vodijo do obeh anten.

Če želimo preklapljati med obema polarizacijama, potem to storimo najbolj enostavno tako, kot je to prikazano na sliki 8. Za preklop leva/desna-krožna zadošča en sam preklopni kontakt. Če pa bi radi imeli na razpolago obe polarizaciji hkrati, potem uporabimo 90-stopinjski delilnik moči s slike 4., kjer na mesto zaključitvenega upora priključimo drugo radijsko postajo. Pri tem je treba z dodatnim vezjem preprečiti, da oddajnik ene radijske postaje ne poškoduje sprejemnika druge postaje.

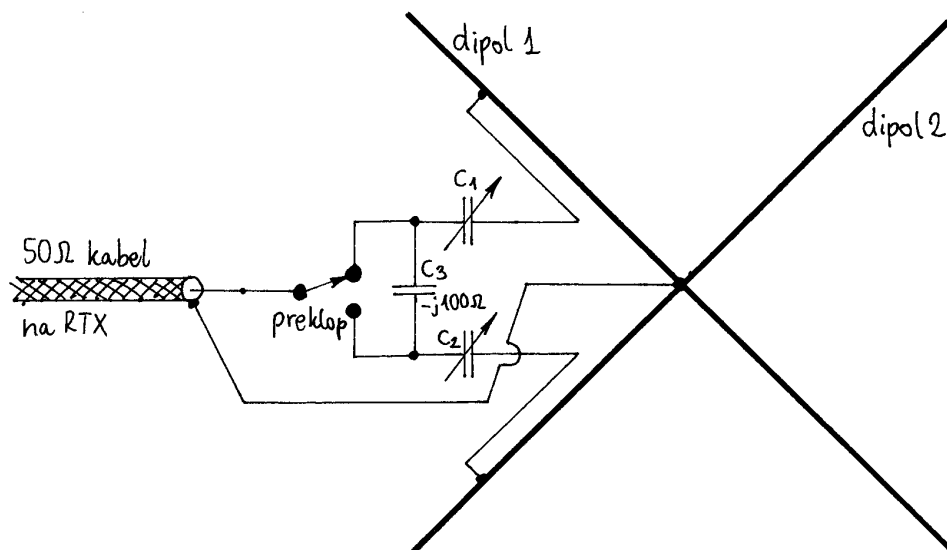


Slika 8. - Preklop smeri krožne polarizacije s kabli.

Podobno izvedemo preklop smeri krožne polarizacije z LC vezjem, kot je to prikazano na sliki 9. Vezje za preklop postane še posebno enostavno, če vse sestavne dele vključno z relejem vgradimo v bližini napajalne točke antene, kot je to prikazano na sliki 10. z uporabo gama prilagoditev. Kondenzator C3 mora imeti reaktivno impedanco $-j100\Omega$, na 145MHz je to 11pF (oziroma kondenzator 10pF plus parazitna kapacitivnost med odprtima kontaktoma releja...)



Slika 9. - Preklop smeri krožne polarizacije z LC vezjem.



Slika 10. – Preklop smeri krožne polarizacije z gama prilagoditvama.

Končno, na tržišču dobimo že izdelane škatlice s preklopnikom na 6 položajev in tremi vtičnicami: za postajo in za dve križno postavljeni anteni. S preklopnikom potem izbiramo med pokončno, vodoravno, obema poševnima ter desno in levo krožno polarizacijo. Škatlica seveda ni zastoj in zahteva dva enaka antenska kablja, ob pravilni uporabi pa pomaga pridobiti še nekaj dB pri signalu. Mogoče se to komu zdi malo, je pa bolj smiselno kot praskanje za zadnjo desetinko decibela pri šumnem številu predojačevalnika oziroma zadnji watt moči iz izmučenih elektronk v močnostnem ojačevalniku...

* * * * *