

ANTENELE SI BALUN-URILE LOR

*Adrian Florescu
YO3HJV
Martie 2009*





Incerc in cele ce urmeaza sa adun la un loc o serie de informatii despre cum alegem un balun pentru o anumita antena. Nu am pretentia ca epuizez domeniul, ci doar ca exista un punct de plecare. Materialul este o sinteza a rezultatelor experimentelor. Atat ale mele cat si ale altora, impartasite prin diferite pagini web.

Balun reprezinta acronimul pentru BALanced to UNbalanced, ce defineste un circuit cu un anumit comportament la introducerea sa intr-o linie de transmisie. La modul general, majoritatea circuitelor de radiofrecventa presupun medii de transfer si sarcini prin si spre care energia de radiofrecventa se transmite prin doua fire. In aceasta categorie sunt incluse liniile coaxiale si simetrice, sarcinile (rezistive sau cu reactanta capacitiva ori inductiva precum si antenele de orice fel, inclusiv cele care functioneaza avand ca referinta solul.

Nu orice balun se potriveste la o anumita antena. Reciproc, este bine sa avem in vedere balun-ul atunci cand ne proiectam sistemul de antene.

Necesitatea acestor dispozitive a aparut din doua ratiuni principale:

- -Radiatia parazitica pe exteriorul liniilor de transmisie coaxiale;
- -Adaptarea de impedanta intre antena si linia de transmisie.

Radiatia parazitica pe exteriorul liniei coaxiale este produsa de caracteristica curentilor de radiofrecventa de a se stabili la suprafata conductorului, cu atat mai superficial cu cat frecventa este mai ridicata. Astfel, pe un cablu coaxial, avem un circuit stabilit pe trei conductoare si nu doar pe doua, asa cum am fi tentati sa credem. Este evident ca cele doua circuite sunt pe firul central si pe camasa cablului coaxial. Bun, dar unde este al treilea? Pe **exteriorul** camasii coaxialului, circuit diferit de cel stabilit pe **interior**. Acest al treilea circuit produce un dezechilibru al curentului de RF al curentului cu care se alimenteaza antena provocand o radiatie parazita a liniei coaxiale. Acest fenomen este de nedorit intrucat altereaza indicatiile SWR-metrelor de la iesirea TRX-ului dar reprezinta si o pierdere, o fractiune de energie care nu este radiata de antena si nu serveste la realizarea legaturii radio. Este, deci, de dorit inlaturarea acestui fenomen.

Adaptarea de impedanta caracteristica a antenei este necesara pentru a realiza transferul maxim de energie dintre TRX si antena, exprimat ca randament de transmisie. Evident, energia care nu este transferata catre antena reprezinta o pierdere, fiind evidenta necesitatea reducerii ei. Antenele, in special cele mai scurte decat frecventa de emisie, tind sa prezinte impedante crescute; adaptarea se poate face prin doua metode: circuit acordat sau transformator de banda larga. In trecut, metoda cea mai comoda si ieftina era utilizarea unui circuit acordat. In prezent, ca





urmare a noilor materiale feromagnetice, a devenit mai ieftina adaptarea cu transformatoare de banda larga, impropriu incluse in categoria balun-urilor.

Balun-urile sunt de doua tipuri: de curent si de tensiune.

S-a scris mult despre aceste dispozitive, cantitatea uriasa de informatie existenta fiind de natura sa aduca confuzia in randul radioamatorilor mai putin familiarizati cu aspectele pur teoretice. incerc, in cele ce urmeaza, sa fac o legatura intre antena pe care urmeaza sa o utilizam si tipul potrivit de balun. Deseori am intalnit o serie de preconceptii despre balun-uri. De multe ori ele sunt privite ca un "panaceu" pentru cresterea randamentului unui sistem TRX-linie de transmisie-antena. Deseori insa, se intampla ca radioamatorul sa nu aleaga corect tipul potrivit de balun, ajungand la concluzia gresita ca antena sau linia de transmisie nu sunt bune.

In cele ce urmeaza, trebuie sa retineti ca orice referire la tensiune sau curent are in vedere referinta ideala a solului.

Balun-urile de curent.

Balun-urile de curent servesc la mentinerea curentilor egali pe fiecare din conductorii liniei de transmisie; respectand Legea lui Ohm, tensiunea pe cele doua linii variaza in raport de sarcina si fata de referinta "pamant". Aceste balun-uri se folosesc ori de cate ori dorim sa realizam o separare intre cele doua echipamente conectate la linia de transmisie. Balun-urile de curent sunt dispozitive cu care putem alimenta atat liniile de alimentare (cu RF) simetrice cat si pe cele asimetrice. Pot fi utilizate atat pentru inversarea fazei semnalului cat si ca adaptoare simetric-asimetric sau asimetric-asimetric.

Balun-uri de tensiune

Balun-urile de tensiune au drept scop mentinerea constanta a tensiunii (egalizarea fortata) la iesirea lor. Drept consecinta, curentii pot si vor prezenta variatii majore. Desi se pretinde de catre producatori, un balun de tensiune nu va reusi niciodata sa inlature complet fenomenul radiatiei parazitice pe linia de transmisie coaxiala datorita faptului ca este greu de realizat o sarcina (antena) perfect simetrica!

Recomandare:

Este de preferat utilizarea balun-urilor de curent, mai ales in cazul liniilor coaxiale; acest tip de balun asigura echilibrarea corecta a semnalelor de RF pe linia de transmisie (chiar si pe liniile simetrice) si au pierderi mai mici decat balun-urile de tensiune.





Haideti sa vedem ce se intampla in diferitele tipuri de sisteme radiante (antene) folosite de radioamatori

Sisteme ce includ un ATU (Antenna Tuner)

Sistemele de antene ce folosesc ATU pot prezenta valori mari ale curentilor si tensiunilor pe liniile de transmisie, chiar si la puteri mici.

In cele mai multe dintre cazuri, am observat ca ATU este conectat la antena prin intermediul unui cablu coaxial. Introducerea unui ATU in acest mod, determina o serie de dezadaptari de impedante ce au ca efect aparitia unor tensiuni si curenti destul de mari precum si, un efect mai important, producerea de pierderi, chiar si in cazul in care intrarea de la ATU este perfect acordata pe 50 Ohm.

In alte cazuri, mai rare, linia de transmisie dintre ATU si antena este o linie simetrica (balansata) iar ATU este succedat de un balun. Cele mai multe astfel de balun-uri sunt cu raport 1:4.

In alte cazuri, si mai rare, sunt folosite ATU simetrice, care opereaza asupra ambelor conductoare ale liniei simetrice. Cu toate ca sunt mult mai potrivite pentru puteri mari decat circuitele "T", simetrizarea acestui tip de ATU este dificila.

Iata cateva probleme ridicate de sistemele multiband cu ATU:

1. Antena prezinta o impedanta variabila in functie de banda utilizata. Odata cu variatia frecventei, la bornele de iesire ale balun-ului variaza de la cativa Ohm la mii de Ohm.
2. Majoritatea ATU se comporta mai bine la impedante mari decat la impedante mici. Majoritatea balun-urilor coboara impedanta antenei pentru a creste (artificial) gama de impedante in care lucreaza ATU;
3. De cele mai multe ori, balun-urile incorporate in ATU sunt de tensiune, avand pierderi mari in cazul in care sarcina prezinta impedante extreme. Balun-urile de curent 1:1 ar fi mai eficiente in aceste situatii, permitand operarea sistemului intr-o gama mai larga de impedante;
4. Gama de frecvente in care lucreaza un balun de tensiune este mai mica decat cea a unui balun de curent echivalent.

In considerarea celor de mai sus, un balun de tensiune (inclusiv cele 1:4) este o alegere gresita pentru utilizarea intr-un sistem multiband cu ATU. Majoritatea ATU au aceste balun-uri pentru ca este o solutie ieftina de crestere a gamei de acord a ATU precum si datorita unor preconceptii, cred eu, gresite.





Antene dipol rezonant

Un dipol este rezonant atunci când dimensiunile sale sunt calculate pentru o anumită frecvență (sau bandă) și este utilizat în respectiva bandă sau într-o altă bandă unde frecvența este armonică impară și unde SWR este în mod "natural" scăzut. Formula de calcul (în metri) pentru fiecare din bratele dipolului este $300/F/4$. Lungimea efectivă va fi ușor diferită de cea rezultată prin aplicarea formulei, în funcție de condițiile concrete (înălțime, tipul solului, vegetație etc) dar nu semnificativ.

Recomandare:

Pentru acest tip de antene se folosește un balun de curent, 1:1. Puteti folosi la alimentarea acestor tipuri de antene cablul coaxial, introducând balun-ul imediat la bornele dipolului. În acest fel, cele două brate ale dipolului vor fi alimentate cu aceeași valoare a curentului, balun-ul de curent blocând circulația curentului pe exteriorul tresei coaxialului.

Dipolul multiband (Antena Doublet)

Dipolul multiband este, în esență, un dipol calculat cu aceeași formulă ca mai sus, pentru cea mai joasă frecvență din cele pe care urmează să le folosim, dar alimentarea sa cu RF se realizează prin linie simetrică (scarită) cu izolație aer, care pleacă perpendicular pe bratele dipolului pe o anumită lungime.

Potrivit teoriei, cu cât micșorăm impedanța liniei de alimentare (simetrică!), cu atât variația de impedanță în lucrul multiband se diminuează. Liniile simetrice de 600 Ohm vor avea o excursie a impedanței funcție de frecvență mai mare decât o linie de 300 Ohm.

De ce nu am folosi un cablu coaxial de 50 de Ohm pentru alimentarea acestui tip de antena? Simplu, pentru că pierderile în cablu ar fi extrem de mari! La un SWR de 10:1, la fiecare 30m de cablu coaxial pierdem peste 50% din puterea livrată spre antena în timp ce pe o linie simetrică, pierderea este de maxim 10% la același SWR.

Recomandare:

Pentru acest tip de antena, este recomandat un balun de curent, 1:1. În literatura de specialitate se recomandă utilizarea unui balun de tensiune cu raport 1:4. Totuși, impedanța antenei variază în limite destul de largi și, atunci când antena rezonază, impedanța la borna asimetrică a transformatorului va fi de $50\text{Ohm}/4$, adică în jur de 12 Ohm. ATU va fi forțat să opereze la impedanța mică, generând pierderi inutile. Din acest motiv, un Balun de 1:1 este mai potrivit, ATU având un comportament mai bun la impedanțe mari.





Pentru acest tip de antena, nu este recomandat un balun realizat în aer ori un balun dedicat pentru antenele dipol rezonant. Caracteristica esențială a unui balun pentru acest tip de antena este capacitatea de a suporta curenți mari ca soc de RF (returul pe tresă).

Antenele tip Windom (derivate din Long Wire)

Antenele de tip Long Wire (LW) sunt antene simple ce constau, după cum sugerează și denumirea, într-un fir cât se poate de lung. Alimentarea cu RF este la unul din capete, formând un sistem rezonant împreună cu solul. Drept urmare, sunt antene asimetrice (nebalansate). Antenele de tip Windom, sunt, în esență, antene de tip Long Wire (LW), diferența fiind dată de poziția punctului de alimentare între cele două capete. Vom aborda și antenele LW, dar mai încolo.

Recomandare:

Antenele Windom sunt antene asimetrice, cu un singur element radiant. Cel mai potrivit balun pentru ele este balun-ul de curent 1:1, cu condiția realizării unei prize de pământ în imediată apropiere a locului de conectare a firului de alimentare a antenei. Aceasta împământare va servi strict pentru conectarea ieșirii balun-ului și nu trebuie să fie comună cu împământarea stației! Procedând astfel, se va reduce radiația parazită pe feeder concomitent cu TVI și BCI.

Dipolii Windom și antenele Dipol OCF (Off Center Fed)

Versiune a antenei Windom, dipolul Windom este, în esență, un dipol cu brațe de lungime diferită, alimentat printr-o linie simetrică. Sub rezerva realizării unei simetrizări la locul de conectare a liniei de alimentare, se poate folosi și cablul coaxial, antena devenind astfel un dipol OCF (Off Center Fed Dipole). Uneori mai este întâlnită în literatură sub denumirea de "Antena Fritzel".

Aceste antene prezintă impedanță în gama 450-600 Ohm în frecvențele în care rezonază. În funcție de locul unde este instalată, acest tip de antena poate rezona pe mai multe frecvențe armonice.

Recomandare:

Deși, deseori se recomandă balun-uri cu raport de 1:6, observațiile practice au arătat că cele mai bune rezultate se obțin cu rapoarte de 1:9 cu balun-uri de curent, sau cu balun-uri soc RF.





Antene verticale L/2

Unele antene cu alimentare la un capat, asimetrice, generează curenti pe linia de alimentare, chiar și atunci când se folosesc balun-uri care au un SWR mic. În această categorie se încadrează "dipolul" vertical, indiferent dacă este simetric sau asimetric, mai ales atunci când cablul coaxial (de regulă) care alimentează antena coboară în paralel cu elementele antenei verticale (trezând pe lângă zone de tensiune maximă). Acest fenomen se poate produce în special atunci când antenele nu au contragreutate suficiente de desfasurate sau când cablul coaxial însuși acționează ca o contragreutate.

În cazul acestor antene (GAP, MFJ, Cushcraft - modelele fără contragreutate sau cu contragreutate reduse), se recomandă montarea unui balun-soc RF pe cablul coaxial, la o distanță de aproximativ 8-9m de antena.

Ca o paranteză, există o serie de antene, în special log-periodic, cablul coaxial parcurge o aorecare distanță de-a lungul unor elemente pe care circulă tensiuni mari de RF. În această situație particulară, balunul-soc de RF trebuie montat în locul unde cablul parasete antena, înainte de a începe traseul paralel cu mast-ul.

Recomandare:

În cazul în care utilizați acest tip de antene, o includere a unui balun-soc de RF este imperios necesară pentru o bună funcționare a sistemului radiant!

Antene verticale L/4

Antenele în sfert de undă sunt foarte întâlnite printre radioamatori. Sunt antene simple de realizat și oferă mari satisfacții. Cu toate acestea, ele sunt dependente de un sistem de contragreutate. Atunci când contragreutările sunt corect realizate, impedanța acestei antene este de 36 Ohm la punctul de alimentare. De cele mai multe ori însă, contragreutările nu sunt corect realizate. Poate părea paradoxal dar, în cazul în care antena L/4 este incorect realizată, va prezenta o impedanță de 50 de Ohm, adaptarea realizându-se perfect cu emitorul.

În această situație, cu toate că SWR este de 1:1, antena nu funcționează la randamentul sau maxim, o bună parte din energia de RF se întoarce pe linia de alimentare. Acest fenomen este cu atât mai pronunțat cu cât înălțimea la care se găsește antena este mai mare.

Recomandare:

Antenele L/4 amplasate la sol pot fi decuplate cu un UnUn (asimetric-asimetric) 1:1 sau cu un Balun soc de RF.





Antenele L/4 amplasate la inaltime fata de sol (inclusiv cu sistemul de contragreutati!) pot fi alimentate printr-un Balun soc de RF.

Antene Loop horizontale si verticale

Antenele in bucla inchisa de lungime aproximativ egala cu o lungime de unda prezinta o impedanta redusa la frecventa de rezonanta. Spre deosebire de antenele dipol, antenele Loop manifesta scaderea de impedanta atat pe armonicile impare cat si pe cele pare.

Literatura si practica arata ca antenele Loop sunt antene de banda redusa, un SWR acceptabil putandu-se obtine doar intr-o zona restransa a unei benzi.

In utilizarea antenelor Loop putem sa ne confruntam cu una din urmatoarele situatii:

1. Antena este exploatata pe frecventa fundamentala (monobanda)

Antena Loop **orizontala sau verticala**, la rezonanta, prezinta o impedanta teoretica in jurul valorii de 100 Ohm. Totusi, in practica, datorita efectului solului, antena Loop orizontala va avea o impedanta ceva mai crescuta, in jurul valorii de 200 Ohm.

Recomandare:

Loop orizontal:

Balun 4:1 de curent, sau Balun 4:1 urmat de un Balun soc de RF (in cazul alimentarii prin cablu coaxial). Antena loop necesita un cablu coaxial de foarte buna calitate, cu pierderi cat mai mici. In zona de rezonanta SWR va fi in jurul valorii de 1,5:1, pentru acoperirea unei benzi in intregime, fiind necesar un ATU, in special in benzile joase.

Loop vertical:

Balun de 1:2, de curent sau 1:2 de tensiune urmat de balun soc RF.

2. Antena este exploatata in apropierea conditiei de rezonanta

Aceasta situatie o intalnim cand dorim sa exploatam antena intr-o banda intreaga, nu numai pe un segment al benzii precum si atunci cand o exploatam si pe prima armonica para, nu numai pe frecventa fundamentala (ex: Loop pentru 3,6 MHz exploatat si in 7,1 MHz). Antena Loop va prezenta pierderi moderate la frecventa fundamentala dar acestea vor creste pe frecventa armonica.





Recomandare:

Atat pentru amplasarea orizontala cat si pentru amplasarea verticala antena se poate alimenta prin linie coaxiala de foarte buna calitate, dar se recomanda utilizarea unui Balun 4:1 si, obligatoriu, un ATU. Inainte de a opera antena ar fi bine sa va asigurati ca, fara ATU dar cu Balun, SWR este mai mic de 5:1.

3. Antena este exploatata in afara frecventelor de rezonanta

Aceasta situatie survine atunci cand antena este exploatata pe frecvente in afara celor de rezonanta. Un bun exemplu ar fi operarea unei antene realizata pentru benzile "clasice" in benzile WARC.

Recomandare:

Este complet contraindicata utilizarea unei linii coaxiale in aceasta situatie; mai potrivita este o linie simetrica. Aceasta ar fi bine sa fie de impedanta minim posibila. Linia de 300 de Ohm izolata cu aer este cea mai la indemana, dar poate fi folosita si o linie simetrica artizanala realizata din doua fire izolate, rasucite intre ele. Aceasta linie va fi adusa cat mai aproape de ATU. Conectarea liniei la ATU se va face printr-un Balun 1:1 de curent.

Antenele Long-Wire

Antena Long Wire poate fi definita ca o antena orizontala, alimentata la capat in lungime de cel putin $L/2$ la frecventa de lucru. Impedanta unei astfel de antene variaza intre 200-450 Ohm in functie de lungimea radiantului, inaltimea fata de sol si tipul de sol pe deasupra caruia este intinsa.

Singura cale de a stabili impedanta sa este a o masura sau de a incerca modelarea ei intr-un program de modelare numerica (NEC)

Recomandare:

Pentru Long Wire este bine sa utilizam un Balun 1:4 si sa realizam o priza de impamantare exclusiv pentru antena, la locul unde este montat Balun-ul. In cazul in care nu avem posibilitatea de a realiza aceasta priza de impamantare, neaparat va fi necesar un balun soc RF plasat imediat dupa cel de tensiune.





Antene Log Periodic, Romb, V Beam si alte antene de banda larga

Exista o categorie de antene a caror impedanta se schimba foarte putin in functie de frecventa de lucru. Antena Log periodic este un bun exemplu in acest sens. In mod similar se comporta si celelalte antene din titlul de mai sus.

Interesant este ca impedanta acestor antene trebuie determinata prin utilizarea programelor de modelare (NEC) sau cea furnizata de producator (daca este o antena achizitionata).

In general, antenele comercializate sunt insotite de un balun adecvat, furnizat de producator.

Recomandare:

In cazul in care dorim sa utilizam un alt balun, e greu de spus care ar fi mai potrivit. In general, pentru aceste antene se folosesc balun-uri de tensiune, simetrizoare.

Antenele aperiodice

Aceste antene sunt antene care nu prezinta rezonanta in nici una din benzile utilizate de radioamatori. Cel mai bun exemplu sunt antenele BB7V sau BB6W, ambele avand aceeasi lungime a elementului radiant, de 6,4m. Modelarea acestor antene arata ca SWR este minim pentru o impedanta aflata in gama 400-500 Ohm.

Recomandare:

Pentru aceste antene este recomandat un UnUn cu raport de 9:1.





Scurta nota referitoare la anumiți termeni și situații:

"Balunul soc de RF" este, de fapt, un UnUn 1:1 care asigură blocarea curenților RF care circulă pe exteriorul camășii cablului coaxial. Nu întotdeauna este realizat ca un transformator clasic. Pentru blocarea curenților nedoriti pe tresa, în cazul în care avem antene monoband, putem folosi cu succes un segment $L/4$ din teava metalică, care se leagă electric la tresa cablului, în partea dinspre antena.

Un alt mod în care putem realiza același efect este să plasăm o serie de toruri din material feromagnetic. Alegerea materialului este destul de diferită față de alegerea materialului potrivit pentru construcția transformatoarelor de RF (balunuri). De exemplu, materialul F43 (ferită, amestec tip 43) servește realizării de transformatoare în gama 500kHz-30MHz dar poate bloca RF ca soc, doar de la 5MHz în sus.

În practică s-au obținut rezultate pozitive și cu așa-numitul "ugly-balun", în fapt, un balun soc de RF realizat din chiar cablul coaxial cu care se alimentează antena. Bobina trebuie să fie realizată în aer, cu "spirele" apropiate. Interesant este că numărul de spire este cel important și lungimea cablului cu care se realizează acest soc. O lungime de aproximativ 10m poate asigura blocarea semnalului parazitic de RF începând cu banda de 160m. Este o soluție prezentată ca ieftină; cred mai degrabă că este potrivită pentru lenesi sau ca improvizație. Un astfel de balun este greu și mai scump decât unul realizat "clasic".





ALTE INFORMATII UTILE:

a. Corelarea SWR cu pierderea in sistem si cu puterea efectiv radiata (pentru o putere de 4W la borna emiatorului; antena 0dbi)

SWR	% pierdere	%disponibil	WATI PAR
1.0:1	0.0%	100.0%	4.00
1.1:1	0.2%	99.8%	3.99
1.2:1	0.8%	99.2%	3.97
1.3:1	1.7%	98.3%	3.93
1.4:1	2.8%	97.2%	3.89
1.5:1	4.0%	96.0%	3.84
1.6:1	5.3%	94.7%	3.79
1.7:1	6.7%	93.3%	3.73
1.8:1	8.2%	91.8%	3.67
2.0:1	11.1%	88.9%	3.56
2.2:1	14.1%	85.9%	3.44
2.4:1	17.0%	83.0%	3.32
2.6:1	19.8%	80.2%	3.21
3.0:1	25.0%	75.0%	3.00
4.0:1	36.0%	64.0%	2.56
5.0:1	44.4%	55.6%	2.22
6.0:1	51.0%	49.0%	1.96
7.0:1	56.3%	43.8%	1.75
8.0:1	60.5%	39.5%	1.58
9.0:1	64.0%	36.0%	1.44
10.0:1	66.9%	33.1%	1.32

b. Scurte consideratii despre ATU (Antenna Tuner Unit)

In general, transceiverele moderne au incorporat un Automatic ATU . Aceste tunere pot acorda, de cele mai multe ori, dezacordari ce nu depasesc un SWR de 2:1. Ca regula de aur, atunci cand intentionati sa experimentati constructii de antene, este bine sa aveti la indemana un ATU separat. Cu exceptia ATU externe, construite cu precautii speciale, ATU trebuie instalate imediat dupa TRX. Cablul de legatura dintre ele nu ar trebui sa depaseasca 3-4m.

Uneori, introducerea unui UnUn cu raport 2:1 sau 4:1 serveste la realizarea unui acord facil al unor antene improvizate.. Atunci cand AATU nu reuseste sa efectueze acordul, desi antena ar fi in gama de acord, este un posibil simptom de curenti RF pe tresa. In acest caz, este util un balun soc RF.





c. Priza de pamant

Nu, nu este vorba despre cum se realizeaza o priza de pamant ci despre cum o folosim. Ideal ar fi sa avem o oriza de pamant imediat langa antena, la care sa conectam borna dedicata a balun-ului.

In cazul in care nu dispunem de o astfel de priza, in cele mai multe cazuri este util sa introducem un soc de RF pe "traseu".

Adrian Florescu

YO3HJV

Anexe:

- Anexa 1 – Bibliografie selectiva
- Anexa 2 – Scheme Balun-uri

Prezentul material este supus drepturilor de autor.

Este permisa tiparirea doar pentru uz popriu.

Multiplicarea si distribuirea fara acordul autorului este interzisa.

Reproducerea, integrala sau in parte a continutului, fara acordul prealabil al autorului este interzisa.





Anexa 1 – Bibliografie selectiva

<http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/login.jsp?url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fiel3%2F3160%2F8978%2F00396165.pdf%3Farnumber%3D396165&authDecision=-203>

<http://www.raes.ab.ca/AntennaTips/AntennaTips.htm>

<http://vk1od.net/antenna/multibandunloadedvertical/>

<http://www.g3tpw.co.uk/Page5OtherMulti-bandAntennas.htm>

http://en.wikipedia.org/wiki/Antenna_tuner

<http://www.g4nsj.co.uk/balance.shtml>

<http://www.tdars.org/library/TechTopics/tech9.html>

<http://www.astrosurf.com/luxorion/qsl-antenna2.htm>

http://en.wikipedia.org/wiki/Dipole_antenna

<http://www.radioelectronicschool.net/files/downloads/ocfdipole.pdf>

<http://www.dxzone.com/cgi-bin/dir/jump2.cgi?ID=5979>

<http://www.dxzone.com/cgi-bin/dir/jump2.cgi?ID=3666>

<http://www.xs4all.nl/~pa0fri/Ant/FD4/fd4eng.htm>

<http://www.arrl.org/qex/2005/qx9roos.pdf>

<http://www.geocities.com/grhm.geo/index.html>

<http://www.bloomington.in.us/~wh2t/loop.html>

http://yagi-uda.com/coaxial_balun.php

