

Mitologia radioelèctrica: El Balun.

Comencem pel principi:

Qui més qui menys, tothom qui està llegint aquest article sap que balun vol dir “BALanced to UNbalanced”, o dit clar i català, “dispositiu per a passar d’una línia de transmissió balancejada (simètrica) a una altra de no balancejada (asimètrica) i viceversa”.



Però a partir d’aquí he sentit múltiples interpretacions diferents: que si un balun millora les estacionàries, que si evita el retorn d’RF, que si incrementa el guany, que si transforma la impedància.... la majoria parcialment certes i alguna rotundament falsa. Per tant, mirarem de començar pels conceptes més bàsics: què és una línia de transmissió i la seva classificació.

D’entrada, intuïtivament, una línia de transmissió la pensem com algun tipus de cable que porta radiofreqüència des d’una antena a un transmissor o receptor. La pregunta del milió és: què fa diferent el cable que porta RF a una antena de fil del propi cable de l’antena? Si distingim entre “línia” i “antena” és que, malgrat que el material pugui ser el mateix, la seva funció i comportament no ho és.

Concretament, una línia ha de transportar el senyal però no ha de radiar (i per tant, ni rebre), mentre que una antena ideal ha de radiar (o rebre) completament tot el senyal que li arriba. Quan un corrent altern (i la RF ho és) circula per un cable sempre hi ha radiació, excepte en el cas que en la seva immediata proximitat hi circuli un corrent igual en freqüència però en sentit contrari. L’explicació teòrica és llarga i té a veure amb que el camp creat per un conductor anul·la el de l’altre. Si hi voleu aprofundir trobareu molts llibres.

A efectes pràctics per als aficionats, n’hi ha prou amb recordar un parell de coses:

- 1.- La radiació d’un conductor és proporcional al corrent (només al corrent, no a la tensió) que hi passa.
- 2.- Dos conductors molt propers que porten corrents iguals i de sentit contrari no radien (la suma dels dos corrents és zero).

Amb aquests dos conceptes clars i sense gaires matemàtiques es poden entendre la majoria de coses que tenen a veure amb antenes, acobladors i línies de transmissió.

Sorpresa! Els baluns són a llocs insospitats.

Els radioaficionats associem el balun immediatament amb les antenes dipol, i els més espavilats de la colla també amb les directives, però a la vida quotidiana es troben en d’altres llocs en els quals no pensem: les targetes de xarxa dels ordinadors, les càmeres de vídeo, dintre dels nostres transmissors i amplificadors lineals, les antenes de TV...

Amplificador Linial



En groc, els baluns

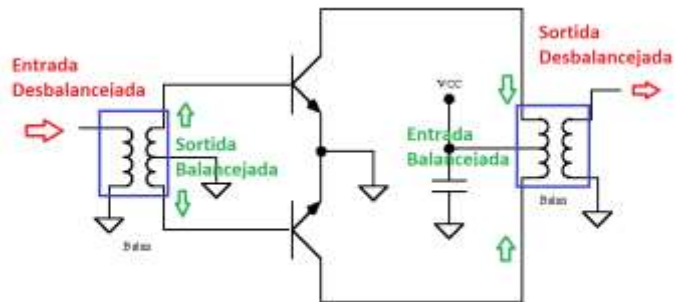


Balun per càmera CCTV

De totes aquestes aplicacions, la majoria són línies de transmissió encara que normalment no hi pensem: càmeres i ethernet van connectats per cable, i el mateix per l'antena de la TV, però dins d'un transmissor o linial?

Les etapes finals dels nostres transceptors i els amplificadors linials, per diverses raons d'ordre tècnic, porten els transistors (o mosfets) en una configuració que se'n diu "push-pull". Aquest circuit té una entrada i una sortida balancejada

mentre que habitualment tots els nostres equips es relacionen amb el món exterior amb connectors coaxials no balancejats. Per tant, cal un dispositiu per a connectar una sortida balancejada amb un connector no balancejat: això no us sona a la definició de balun que hem fet al principi?



Amplificador Push-Pull amb dos baluns.

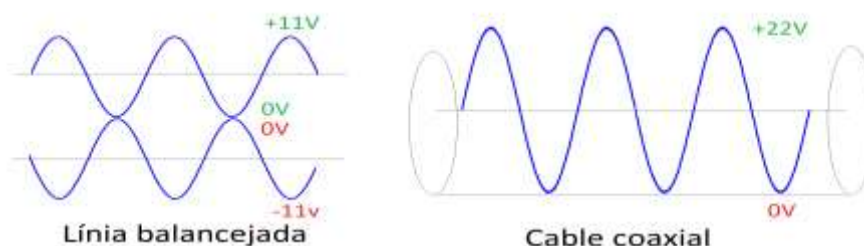
Línies (i circuits) balancejats i desbalancejats.

Fa estona que parlem de balancejat i desbalancejat però encara no hem dit què s'entén per tal cosa.

Quan pensem en una connexió al nostre quarto de ràdio, sigui d'RF o de BF, normalment pensem en alguna cosa que porta senyal respecte la massa comú de tots els nostres equips. Per exemple: el cable del micròfon porta un senyal de BF que oscil·la entre 0V quan estem en silenci i +0,3V als pics més forts de la nostra veu. I el mateix amb els coaxials d'RF, el senyal varia entre 0V i 22V (per 10W de sortida). Per tant, estem davant d'una línia desbalancejada respecte la massa: un conductor (la malla) està al potencial de massa i l'altre porta una tensió canviant.

Per contra, un circuit push-pull o una antena yagi requereix una entrada de corrent on a cada terminal hi hagi una tensió oposada a la de l'altre terminal. Per exemple: com la majoria sabeu, per funcionar una antena dipol no requereix que estigui connectada a massa en cap punt. De fet, molts muntatges de dipols rígids es fan sobre aïlladors per a que no toquin el màstil de suport. Una antena dipol només requereix que el corrent que li arriba per un terminal pugui retornar per l'altre.

En el mateix exemple del paràgraf anterior: una antena dipol per a radiar 10W necessita tenir +11V a un terminal i -11V a l'altre terminal. Els dos corrents són iguals i de signe contrari i presenten una tensió simètrica respecte de la massa. Cap dels dos terminals està a potencial de massa.



Línia balancejada

Cable coaxial

Si existeixen línies balancejades i desbalancejades, òbviament ha de ser perquè cadascuna presenta avantatges per a determinades aplicacions (només ens referirem a les aplicacions típiques de radioaficionat):

- Les línies desbalancejades, en general són més fàcils de manipular, ja que habitualment són cables coaxials i la seva pròpia estructura els fa resistents i fàcilment agrupables. L'efecte apantallament de la malla els fa insensibles a la proximitat d'altres cables o objectes com parets, bigues, torres... Per contra, presenten una atenuació del senyal considerable en funció del material de construcció i la freqüència de treball. Són habitualment més cars i requereixen de connectors especials per unir-los.
- Les línies balancejades, en les nostres aplicacions, habitualment són conductors de coure separats per aïlladors de plàstic o fusta tractada, i la seva instal·lació és més laboriosa a causa de que requereixen estar separades de superfícies conductores. Per contra, són més barates que els cables coaxials, presenten una atenuació de senyal imperceptible i poden funcionar perfectament bé amb nivells d'ones estacionàries que farien inviable emprar un cable coaxial.



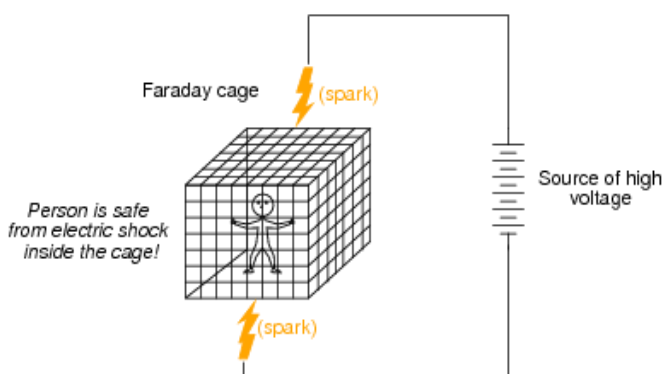
El coaxial: un cable, tres conductors.

Com tothom sap, un cable coaxial consisteix en un fil de coure recobert d'un aïllament i envoltat d'una camisa metàl·lica (full, malla o tub).

L'efecte pel·licular (skin effect) consisteix en que el corrent elèctric només circula per la superfície dels conductors i penetra molt poc al seu interior. A més, la penetració és menor com més alta sigui la freqüència.

Per exemple: a 50Hz (conductor de la llum normal) la penetració al cable és de 0,9 mm. A 30MHz

la penetració només és de 0,015mm. Per aquest motiu es fabriquen bobines i altres components d'RF amb tub de coure, ja que es comporta exactament igual que si fos una barra massissa. Com a conseqüència, per la malla del cable coaxial poden conviure dos fluxos de corrent independents sense interferir-se ni veure's entre ells: un que passa per la superfície interior i un que passa per la superfície exterior de la camisa conductora.



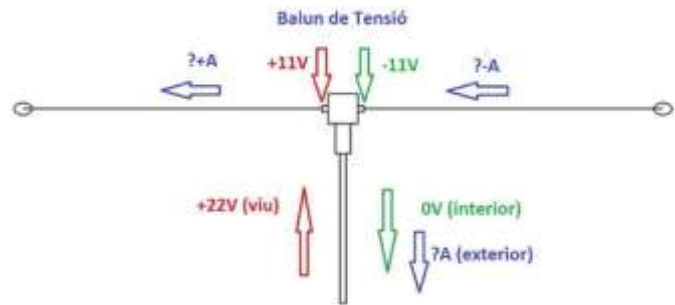
Si us costa de visualitzar com els corrents no s'interfereixen, penseu en l'exemple més extrem: la gàbia de Faraday. Aquest giny consisteix en una gàbia (com diu el seu nom) de material conductor on es dipositen al seu interior els productes a protegir del corrent elèctric.

Força vegades s'han fet demostracions de persones ubicades dins de la gàbia mentre pel seu exterior queien descàrregues d'alta tensió. Com queda palès dramàticament en aquest exemple, el corrent circula per l'exterior i no penetra a la gàbia. Això mateix passa amb l'apantallament del cable coaxial: la pròpia malla fa de gàbia de Farady blocant l'interior i l'exterior.

Tornem a secundària: la llei d'Ohm

Al principi hem definit el balun descrivint la seva funció, no la seva forma de funcionament ni de construcció.

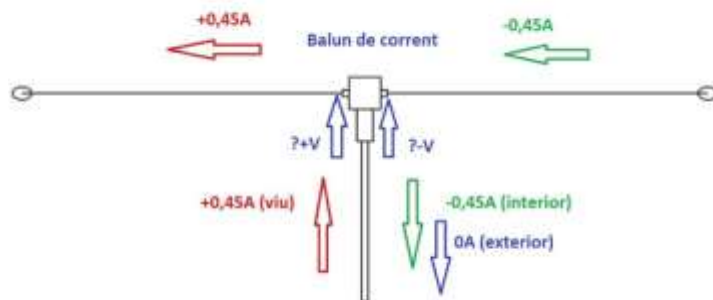
Com ens va explicar en Georg Simon Ohm al segle XIX, el corrent (ampers) la tensió (volts) i la resistència (Ohms) tenen un lligam molt íntim. En un circuit, qualsevol canvi en un d'ells modifica un o tots els altres dos. Això lliga amb el nostre balun ja que la seva funció és que per una línia passin dos corrents oposats i iguals i per l'altra només un i retorn per massa.



Considerant que la impedància (que als nostres efectes equival a la resistència en RF) no variï, això es pot fer de dues maneres: proporcionant una tensió igual i de signe contrari a la línia balancejada (balun de tensió) o bé impedit que el corrent pugui retornar per cap altre lloc que per l'interior de la línia desbalancejada (balun de corrent). El resultat és exactament el mateix.

Ho veiem en el mateix exemple pràctic d'abans: tenim un balun connectat per un costat a un transmissor de 10W per mitjà de cable coaxial i per l'altre costat als braços d'una antena dipol simètrica. El balun pot funcionar de dues maneres: agafant els +22V que li arriben pel "viu" del cable coaxial i repartint-los +11 i -11 a les branques del dipol, o bé només assegurant-se de que el corrent no pugui retornar per cap altre lloc que per l'interior del cable coaxial.

Per la llei de Kirchoff, si pel "viu" li arriben +0,45A i retornen -0,45A per l'interior de la malla, per les branques del dipol no queda altre remei que circular +0,45A i -0,45A ja que el corrent no pot anar enlloc més i, per tant, repartint el corrent de forma simètrica.

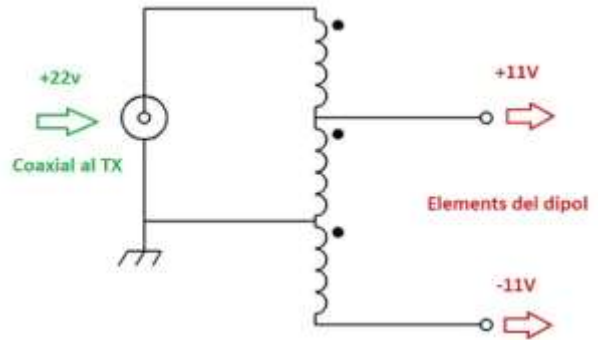


Amb això hem explicat els dos tipus bàsics de balun: el balun de tensió i el balun de corrent. Dins de cada grup hi ha diverses construccions pràctiques: amb ferrita, sense, amb un número de bobinats o un altre.

Els baluns de tensió (o de Ruthroff).

Els baluns de tensió sempre són alguna mena de transformador o autotransformador d'RF, segons la banda poden tenir nucli de ferrita o d'aire.

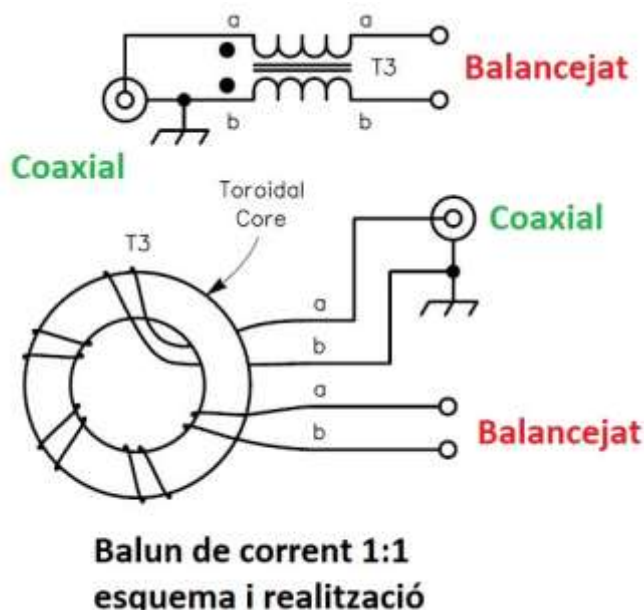
Els baluns de tensió funcionen molt bé quan la càrrega és perfectament simètrica, com per exemple en un amplificador o en una antena dipol elevada. Aquest tipus de balun, però, té problemes si la càrrega no és exactament igual, per exemple un dipol amb una branca més propera al terra que l'altra. Què vull dir amb tenir problemes?: que no sempre pot aconseguir la simetria de corrent (Recordeu que l'objectiu és aquest. El que proporciona la radiació és el corrent, no la tensió.).



Si la tensió a les dues branques de l'antena és igual però la seva impedància no ho és, passarà més corrent per l'una que per l'altra. Com hem dit abans, per les lleis de Kirchoff el corrent que entra en un punt del circuit ha de ser igual al que surt. On va el corrent que no va a una branca del dipol? Doncs retorna per l'exterior de la malla del cable coaxial. Tornant a l'inici: un conductor pel que passa corrent d'RF radia, per tant l'exterior de la malla del cable coaxial es comporta com part de l'antena.

Els baluns de corrent (o de Guanella).

L'objectiu d'un balun de corrent és impedir, pel mitjà que sigui, que circuli cap corrent per l'exterior de la malla del cable coaxial. Com a conseqüència d'aquest fet força l'increment de corrent a les branques del dipol (recordeu que el corrent que arriba pel coaxial ha de ser igual al que surt per l'antena, si no pot anar enlloc més.)



Hi ha diverses classes de baluns de corrent però tots tenen en comú aconseguir crear un punt d'alta impedància (alta resistència a la RF) a l'extrem exterior del cable coaxial.

I aquí torna a aparèixer el nostre amic Ohm: a igual tensió, el corrent que passa per un conductor és inversament proporcional a la seva resistència. Per tant, aconseguint una alta impedància a la malla del coaxial, aconseguim que hi passi molt poc corrent en comparació amb el que passa pel dipol.

Encara que hi ha diverses realitzacions mecàniques de cadascun, elèctricament hi ha dos sistemes principals: inserir ferrites per incrementar la inductància i les pèrdues de l'exterior de la malla (s'acostumen anomenar choke-balun) o aprofitar les propietats de les línies de $\frac{1}{4}$ d'ona per a crear un punt d'alta impedància. [Les línies de transmissió de $\frac{1}{4}$ d'ona actuen com un transformador d'impedància, presentant en un extrem la impedància conjugada de la que existeix a l'altre. En el nostre cas, una punta va a massa, presentant una impedància de $0 \text{ Ohms} + 0j$, per tant a l'altre extrem (el que va connectat a la malla) presenta una impedància teòrica infinita. $\infty \text{ Ohm} + 0j$]



Coses que pot fer un balun i coses que no.

Deixant de banda l'única cosa que ha de fer un balun, que és transformar una línia balancejada en desbalancejada i viceversa, segons la configuració pot tenir alguna altra funció addicional: separació galvànica, posada a terra, transformació d'impedàncies, prevenció de retorn d'RF...

Però també hi ha altres funcions que la mitologia radioelèctrica els atribueix però que només són això: mitologia.



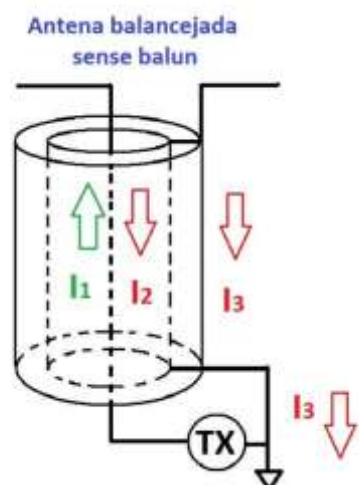
Un balun en cap cas influeix en el guany de l'antena. El guany d'una antena correctament instal·lada només depèn de la seva forma física i l'alçada sobre el terreny. Un balun en cap cas protegeix contra la caiguda del llamp. No té capacitat per suportar una descàrrega directa. El balun en cap cas millora la relació d'ones estacionàries que presenta una antena, això només depèn de la pròpia antena. (Vegeu l'article "Mitologia radioelèctrica: les estacionàries" http://qrp.cat/articulos/estacionarias_per_imprimir.pdf)

De les funcions addicionals que pot fer un balun, ens centrarem en una de molt útil: la prevenció del retorn d'RF. Aquesta és una funció bàsica dels baluns de corrent (el seu mateix funcionament consisteix en evitar el corrent de retorn) i una derivada en els baluns de tensió (només es dona si l'antena està equilibrada.)

I_3 , el nom de la bèstia.

El retorn d'RF per l'exterior del cable coaxial té un nom: I_3 (corrent $_3$). Aquesta nomenclatura procedeix de comptar els corrents del transmissor a l'antena: I_1 és el corrent "d'anada" que passa pel conductor central del cable coaxial, I_2 és el corrent "de tornada" de l'antena cap a al transmissor per l'interior coaxial. I fins aquí el funcionament normal d'una línia de transmissió coaxial. El corrent va i torna per l'interior, com s'ha de fer.

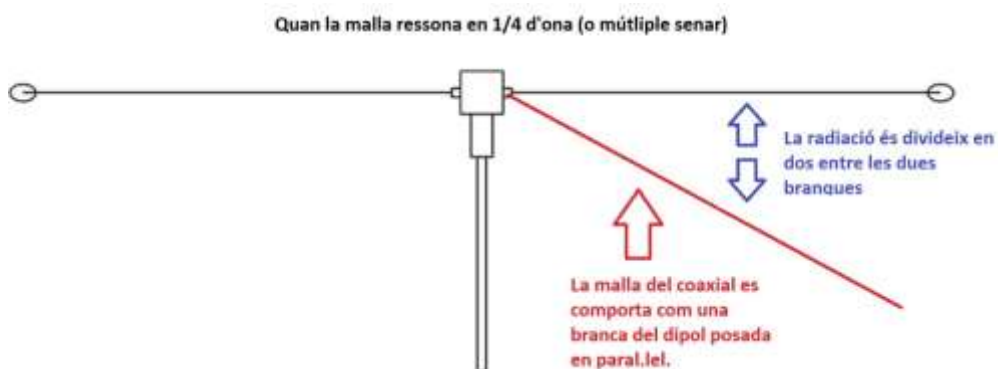
La nostra I_3 apareix quan una part del corrent de retorn no passa per l'interior del coaxial sinó pel seu exterior. I quin és el motiu de que això succeeixi?



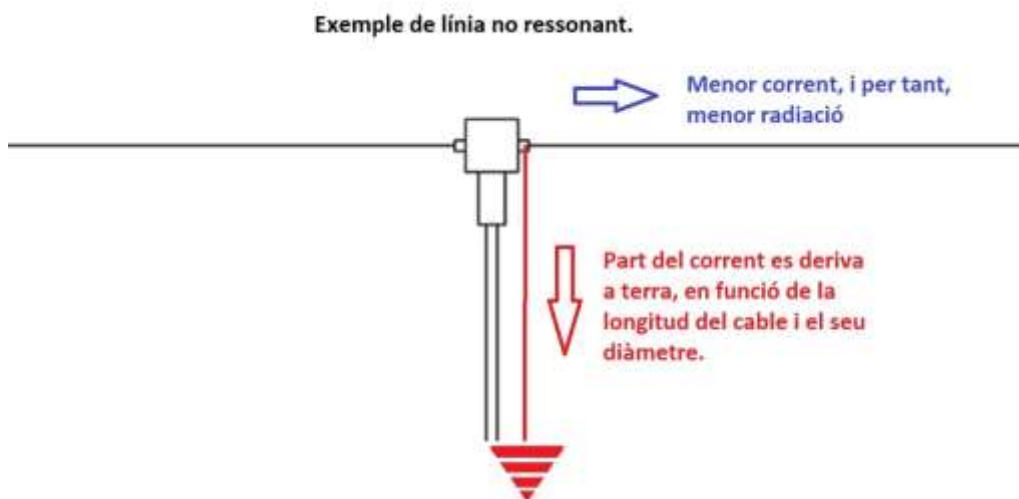
El corrent no decideix anar per l'exterior del coaxial així com així, circula per l'exterior quan la impedància exterior és comparable o menor que la interior. La impedància del cable coaxial ja la sabem, habitualment 50 Ohms.

L'exterior pot presentar una impedància menor si pot derivar part del corrent de l'antena, ja sigui conduint-lo a terra o radiant-lo:

- Si el cable ressona en $\frac{1}{4}$ d'ona (o múltiple senar) d'alguna o algunes de les bandes a utilitzar presentarà a l'exterior la mateixa impedància que una branca del dipol, és a dir, uns 37,5 Ohms. Això farà que la meitat part del corrent que hauria d'anar al dipol se'n vagi per l'exterior del coaxial. Efectivament hem creat un dipol amb tres branques.



- Pot passar que la línia de baixada no ressoni en cap banda i que tot i així tinguem problemes, ja que si l'estació té terra pot comportar-se com un cable de derivació de la RF a terra, que si no és ressonant, en funció de la longitud i el gruix, presentarà una impedància comparable o menor a la del dipol. Una altra raó per a no tenir presa de terra a l'estació de ràdio (vegeu l'article "Toquem de peus a terra" http://qrp.cat/articles/la_terra.pdf)



Per aquests motius és poc habitual tenir problemes de retorn en VHF o CB encara que no utilitzem balun, ja que normalment la longitud del coaxial serà superior a la longitud d'ona. Per contra, de 40m en avall sense la utilització de balun hi ha una alta probabilitat de tenir problemes de I_3 ja que la longitud de la línia serà d'una magnitud comparable a la de l'antena.

El retorn d'RF té diversos efectes indesitjables: la possibilitat d'electrocució de l'operador (el famós "cremar-se els bigotis amb el micro"), la generació d'interferències (i al mateix temps la captació d'interferències) i la distorsió del diagrama de radiació de l'antena. Tots tres efectes

deriven del fet que la malla del cable coaxial s'està comportant com una antena i, per tant està radiant RF en un lloc inadequat.

Com qualsevol antena, la malla té punts d'alta i baixa tensió al llarg del seu recorregut. Si l'operador entra en contacte amb un punt d'alta tensió es "picarà" en funció de la potència que estiguem utilitzant.

El fet de radiar per un lloc que no està fet per a això, pot posar la RF a les proximitats d'aparells que en circumstàncies normals estarien lluny de la nostra antena i, al mateix temps, facilita la captació de soroll elèctric. És com si tinguéssim una antena dins del celobert o a la façana del nostre edifici.

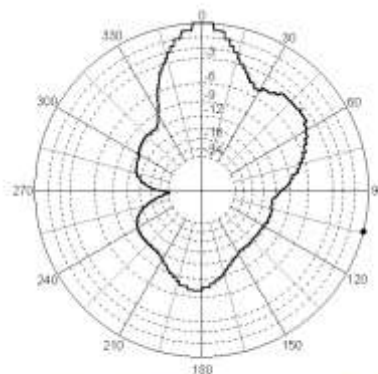
Finalment, en radiar el coaxial, aquesta radiació estarà fora de fase respecte de la de l'antena legítima, això farà que en alguns punts es sumi (incrementant el guany) i en d'altres es resti (disminuint el guany). El resultat final és que el diagrama de radiació es modifica (a pitjor) respecte del que hauria de ser.

El tractament per a tots aquests mals és el mateix: una dosi de balun, particularment balun de corrent.

Com hem explicat al principi, el funcionament dels baluns de corrent consisteix en fer que la malla del coaxial presenti una alta impedància, és a dir, el contrari del que vol la I₃i, per tant, eliminar el retorn d'RF no desitjat.

Sigueu bons i feu DX!

EA3T, Toni



Distorsió del diagrama de radiació d'una antena yagi