

Directivitatea și polarizarea antenelor magnetice.

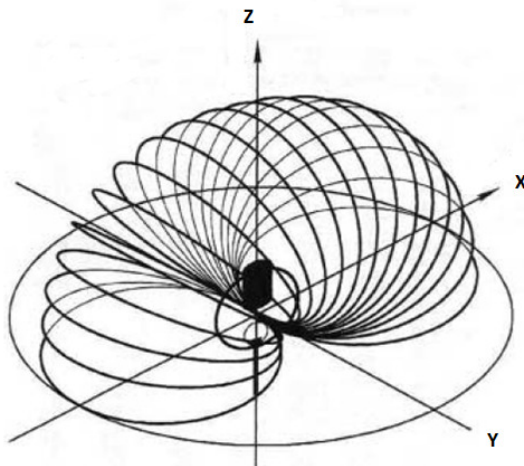
YO4UQ - Cristian Colonati

Abstract.

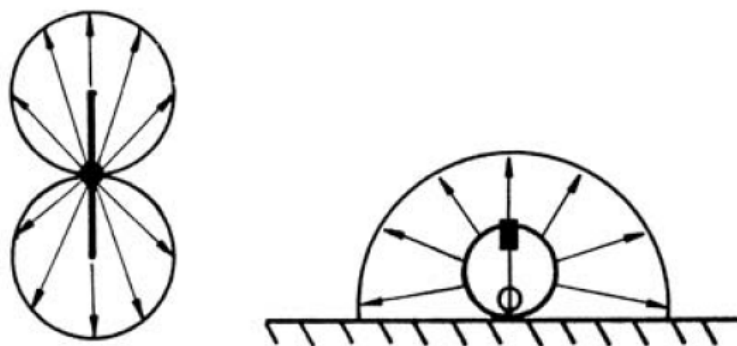
În ciclul de articole dedicate antenelor magnetice pentru benzile de US ale radioamatorilor se încearcă o descriere pentru principalele caracteristici funcționale și performanțe ale antenelor magnetice: „pattern”-ul și lobii de radiație, directivitatea, polarizarea, amplasarea și ambientul, unele comparații cu antenele electrice dipol și verticale, recepția și raportul S/N, efectul solului asupra performanțelor. În condițiile citadine de astăzi și ale restricțiilor de instalare antena magnetică poate fi o soluție excelentă pentru continuarea activităților de hobby și experimentări.

“Pattern”-ul antenei magnetice.

Pentru o antenă magnetică așezată în plan vertical directivitatea se manifestă în planul buclei de-a lungul axei X și este complet simetrică în raport cu axa Y (vezi figura). Lobii de radiație sunt egali în cele două părți, pozitivă sau negativă ale axei X și din acest motiv antena nu are pozițiile de față sau spate. Atenuarea maximă se manifestă în lungul axei Y pe direcția perpendiculară pe planul buclei. În figură se observă bucla principală a antenei precum și mai mic link-ul inductiv de alimentare așezat tot în planul buclei. O rotație de numai 180 de grade în jurul axei Z asigură acoperirea întregului orizont de 360 grade. Eventualele semnale perturbatoare pot fi atenuate atunci când planul antenei va fi perpendicular pe direcția semnalului perturbator.

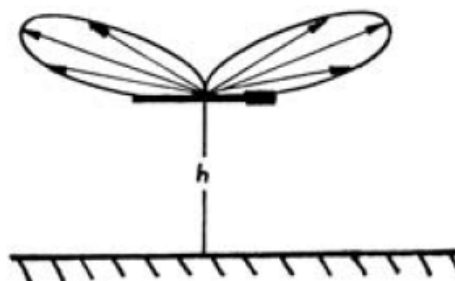
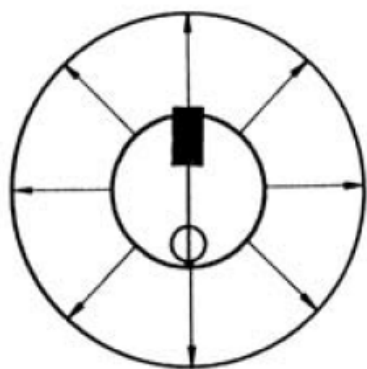


O „secțiune” prin lobii de radiație în plan orizontal ne arată o figură în forma cifrei 8 în care planul buclei este perpendicular pe sol. De asemeni o „secțiune” în planul buclei arată uniformitatea câmpului în raport cu spira activă.



La o amplasare orizontală a „buclei” la o înălțime $h=(1\div 2)\times D$ față de sol radiația este omnidirecțională.

După cum vom vedea în continuare din expunere, această amplasare are influență asupra polarizării și din această cauză crește influența solului și a calității acestuia asupra eficienței de radiație.

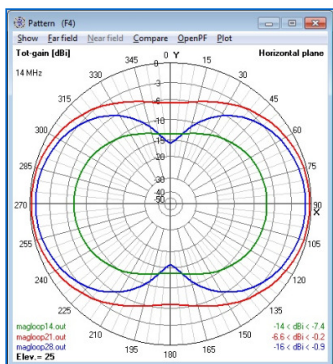


Vom încerca să prezentăm parametri funcționali calitativi ai antenelor magnetice și să facem câteva comparații cu antenele filare dipol și verticale simple. Antena magnetică este analizată din ce în ce mai amănunțit cu programele de simulare 4NEC2 iar comunitatea de radioamatori aduce permanent date noi privind funcționarea și soluțiile tehnice de realizare practică. Menționăm încă de la început două site-uri interesante care se ocupă de aceste două aspecte.

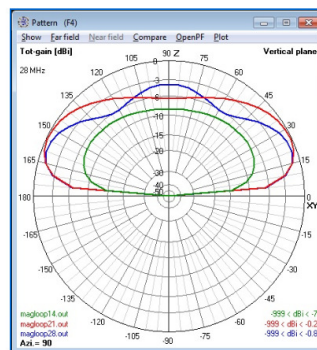
Primul aparține lui KP4MD dr. Carol Milazzo (YL) <http://www.gsl.net/kp4md/> care aduce modelarea cu programul 4NEC2 pentru o antenă magnetică universală <http://www.gsl.net/kp4md/magloop.htm>. Fișierele de simulare se pot descărca din:

1. [Vertical Magnetic Loop Antenna NEC file using GH command](#)
2. [Horizontal Magnetic Loop Antenna NEC file using GH command](#)

care importate se pot deschide cu programul de simulare 4NEC2 pentru determinarea parametrilor de funcționare. Carol ne mai descrie cu detalii și o antenă magnetică portabilă pentru benzile de 14 – 28 MHz. Secțiuni prin lobii de radiație, „pattern”-ul acestei antene cu montaj vertical, sunt prezentate alăturat.



16. Azimuth Radiation Patterns for Magnetic Loop Antenna modeled for 14, 21 and 28 MHz at 5 feet above Average Ground (4nec2 model).



17. Elevation Radiation Patterns for Magnetic Loop Antenna modeled for 14, 21 and 28 MHz at 5 feet above Average Ground (4nec2 model).

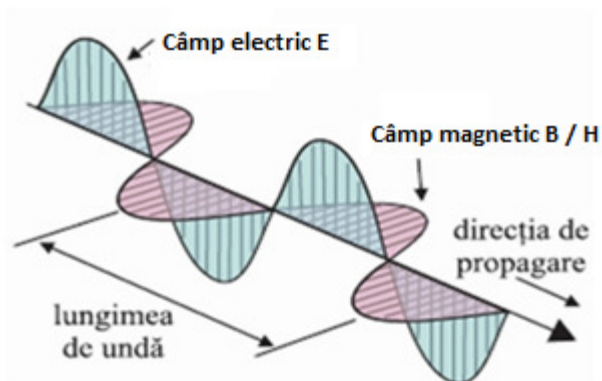
Un site interesant pentru o varietate de realizări practice ale unor antene magnetice fixe sau portabile este prezentat de către <http://www.alexloop.com/> PY1AHD Alex. Internetul este puternic documentat cu aspectele teoretice și nenumărate realizări practice ale „Magnetic LOOP”, de la cele industriale la multiple variante constructive ale radioamatorilor.

Polarizarea radiației antenei magnetice.

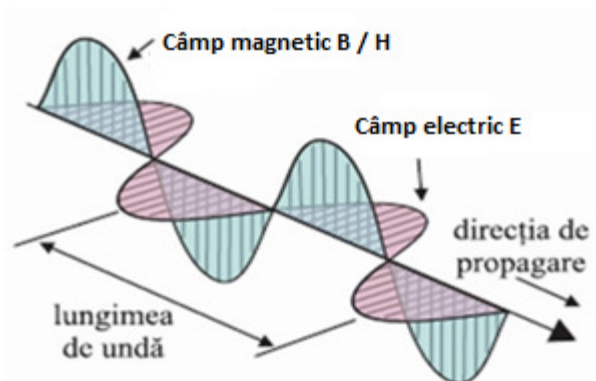
Un alt parametru interesant care are influență asupra eficienței și caracteristicilor de funcționare este polarizarea. Radiația în zona de câmp radiant depărtat este zona în care lobii de radiație sunt complet formați iar polarizarea este bine definită. Componentele E și H ale câmpului sunt în fază iar raportul lor rămâne constant, impedanța undei este de 377 ohmi în vid sau aer. Prin definiție polarizarea este dată de componenta electrică a câmpului E. Într-un sistem de reprezentare cartezian (x, y, z) dacă vectorul E este perpendicular pe planul (x,y) în direcția verticală z atunci polarizarea este verticală. Dacă vectorul E este în planul (x,y) polarizarea este orizontală.

În figurile alăturate sunt prezentate pozițiile câmpurilor electric E și magnetic H (B) în polarizarea verticală și în cea orizontală. Imediat alăturat sunt prezentate și pozițiile buclei magnetice, verticală și orizontală, în consonanță cu câmpurile magnetic și electric generate de de ea.

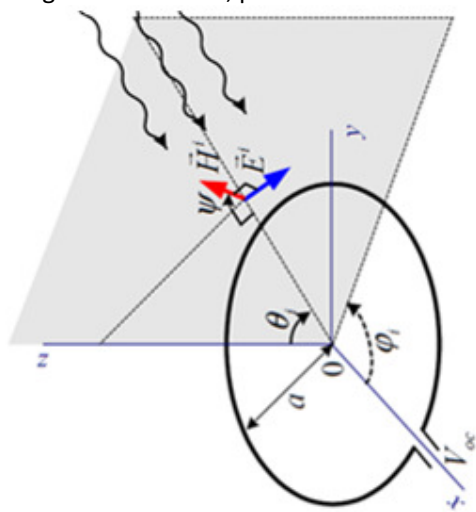
Polarizare verticală



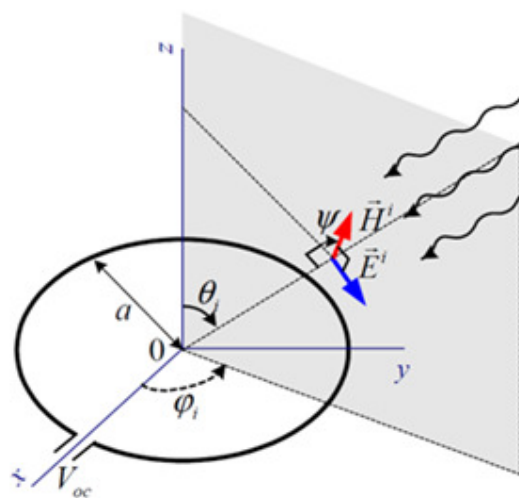
Polarizare orizontală



Antenă magnetică verticală, polarizare verticală



Antenă magnetică orizontală, polarizare orizontală



Amplasarea antenei magnetice.

Pentru antena magnetică care este o buclă circulară sau poligonală convexă închisă, dacă este așezată în poziție verticală polarizarea determinată de vectorul E este verticală. O așezare a planului buclei paralel cu solul conduce la o polarizare orizontală.

Polarizarea verticală, adică poziția în plan vertical pentru antena magnetică, este avantajoasă din cauza pierderilor minime în sol chiar dacă instalarea se face relativ aproape de nivelul acestuia. Din practica realizatorilor de „MagLOOP” o înălțare de $1 \div 2$ ori diametrul antenei peste nivelul solului este practic satisfăcătoare. Pentru a diminua pierderile în sol condensatorul de acord este bine să fie amplasat în partea superioară a antenei. La acest mod de amplasare se câștigă factorul de directivitate precum și nulurile laterale pentru diminuarea eventualelor interferențe. Dacă se poate, este recomandat un sistem de rotire simplu de numai 180 grade pentru a putea acoperi toate punctele cardinale. Antena magnetică este foarte ușoară și nu impune sisteme de rotire complicate și puternice ca cele pentru antenele Yagi directive.

La o amplasare orizontală antena magnetică devine omnidirecțională. În acest caz pierderile în sol devin semnificative și este recomandabil un montaj la o înălțime de cel puțin $\lambda/2$ din lungimea de undă cea mai mare pentru care funcționează antena.

După această scurtă introducere, care a avut scopul de a prezenta o succintă privire asupra caracteristicilor principale de radiație pentru antenele magnetice, să încercăm să detaliem unele aspecte de funcționare.

Cracteristici de radiație, câștig și comparații.

O antenă magnetică de tip buclă, spiră circulară sau poligonală convexă, are două moduri de radiație: un mod magnetic și un mod electric ca al unui dipol electric pliat, puternic scurtat. O antenă magnetică are lobii de radiație de forma unei gogoase care presupune un câștig tipic de 1,5dBi la un sol mediu. Unele documentații menționează posibilitatea de creștere a câștigului de până la 5dBi când sunt instalate câteva radiale ($4 \div 16$) la care lungimea fiecăruia să fie de numai de 2 ori diametrul antenei. Din păcate în condițiile citadine nu este posibil așa ceva și nici nu sunt disponibile verificări și confirmări serioase în acest sens.

Aproape toate documentațiile consemnează faptul că antenele magnetice nu au nevoie de radiale.

Bucla magnetică are un avantaj semnificativ față de alte antene datorită modului specific al lobilor de radiație. Dacă este așezată în plan vertical secțiunea orizontală în lobul de radiație are forma cifrei 8 iar lobul are un maxim la toate unghiurile, orizontal și vertical, de la ambele orizonturi și până la zenit. Fiindcă „bucla” radiază atât la unghiurile joase cât și la cele înalte o singură buclă poate înlocui atât un dipol orizontal cât și unul vertical.

Pentru benzile inferioare antena asigură o acoperire atât locală cât și regională, suplinind cu succes verticalele în $\lambda/4$ pentru contactele DX. Energia radiată de antenele magnetice este polarizată vertical către orizont și polarizată orizontal către zenit. Se poate spune că antena are proprietăți specifice ale radiației atât la emisie cât și la recepție atât pentru distanțe lungi cât și pentru distanțe medii și scurte. Se obține un unghi mic de radiație / recepție pentru polarizarea verticală și răspunde la o incidență oblică de propagare pentru polarizarea orizontală. Vom folosi în continuare pentru antena magnetică denumirea generică de „buclă”.

În contrast cu aceasta un monopol vertical este utilizat numai pentru unghiuri mici de propagare polarizate vertical deoarece are un răspuns slab la radiațiile care depășesc 45 grade. „Bucla” poate fi folosită pentru comunicațiile la mare distanță prin radiația la unghiuri mici și propagarea ionosferică în unul sau mai multe „skip”-uri și pentru distanțe scurte prin unda directă și de suprafață.

În contrast cu „bucla” un dipol orizontal $\lambda/2$ sau un „beam” care cuprinde elemente dipol, situate la o înălțime egală cu o fracțiune mică din lungimea de undă au o directivitate aproape direct în sus (bună pentru NVIS) iar radiația la unghiuri mici, la nivelul orizontului se apropie de zero. Printre cele mai populare antene de acest gen, aproape omniprezente și de multe ori instalate clandestin din cauza conflictelor cu vecinii, cum ar fi G5RV, dipole, inerted V, etc. sunt de fapt utilizate pentru distanțe scurte și medii în porțiunea spectrului de HF unde este posibilă propagarea pe incidența oblică.

Vom încerca să comparăm o „buclă” cu o antenă Yagi pentru 20m care trebuie ridicată la 20m față de sol, la cel puțin o lungime de undă, pentru a funcționa corect și a atinge un unghi convenabil de atac către orizont pentru realizarea unei deschideri convenabile pentru pentru legături DX la mare distanță. Din păcate un turn așa de înalt este greu sau chiar imposibil de realizat în zonele urbane din multe motive și de altfel este și foarte costisitor. Dacă antena Yagi este instalată la mai puțin de 10m față de sol ea își iese aproape complet din performanțe.

Prin comparație o „buclă” instalată vertical are nevoie de o distanță de $1 \div 2$ diametre față de sol. De exemplu o antenă „buclă” de 1m diametru poate fi ușor ridicată la 1,5m față de planșeul blocului sau terasei prin montarea pe un suport scurt deasupra acoperișului. Pentru a asigura rezultate excelente este necesar a fi îndepărtată de obiectele metalice din imediata apropiere: stâlpi metalici, ancore, etc. precum și o orientare liberă de obstacole pe direcția de radiație.

Este un lucru bine știut că o antenă bună pentru lucrul la DX trebuie să emită majoritatea puterii la un unghi mic de radiație. Acest lucru poate fi realizat de o „buclă” verticală corect instalată sau de un „beam” pe un turn de înălțime corespunzătoare. Dsigur o antenă „beam” corect instalată are avantajul unui câștig mai mare ca o „buclă” dar aceasta din urmă ne poate ajuta la recepția unor semnale slabe din cauza unui raport foarte bun semnal / zgomot (S/N) asigurat de caracterul magnetic și o lărgime de bandă (BW) foarte îngustă.

O excelentă prezentare pentru aspectele lobilor de radiație generați de antenele dipol și Yagi instalate la diverse înălțimi față de sol (0,5; 0,75 ; 1 ; 1,5 și 2λ) este făcută de către Florin YO8CRZ în cartea sa [1] la paginile 28 ÷ 30 pentru dipoli și 125 ÷ 127 pentru Yagi. Pentru cei care nu și-au procurat încă cartea, încerc să prezint alăturat prin scanarea din carte figurile care sintetizează aceste aspecte.

Acum se poate face o comparație între „pattern”-ul antenei magnetice și lobii de radiație ai antenelor dipol și Yagi și se pot constata unele avantaje ale unei „buclă” corect instalate, fără lobi de radiație secundari și cu un unghi mic, convenabil pentru radiația și legăturile la mare distanță.

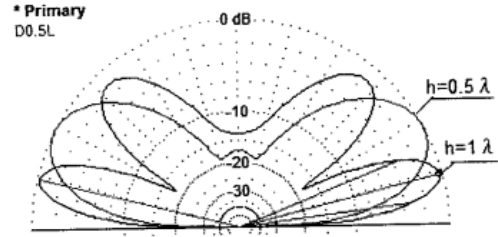
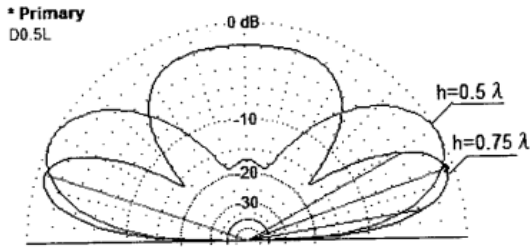


Fig.6 Dipol la înălțime de $\frac{3}{4}$ lambda comparativ cu $\frac{1}{2}$ lambda $T=19^\circ$

Fig.7 Dipol la înălțime de 1 lambda comparativ cu $\frac{1}{2}$ lambda. $T=14^\circ$

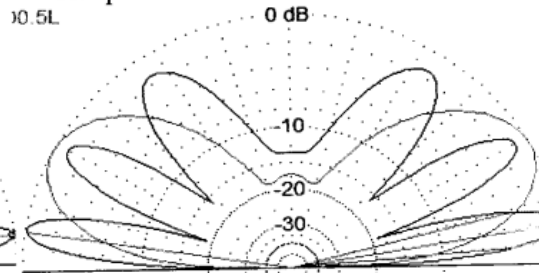
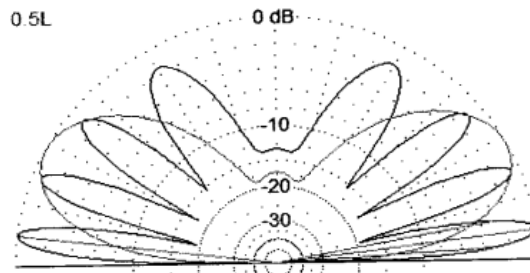
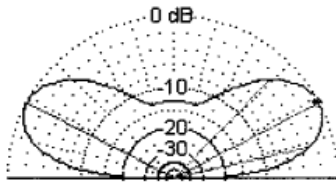
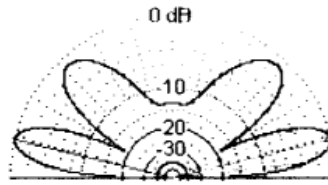


Fig.8 Dipol la înălțime de 2 lambda de sol $T=7^\circ$

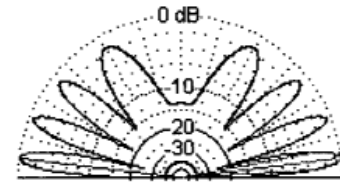
Fig.9 Dipol la înălțime de 1.5 lambda de sol $T=9^\circ$



Ht: 0.5 wl

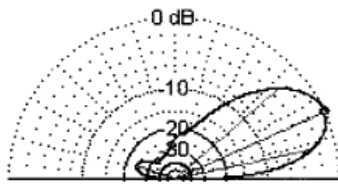


Ht: 1.0 wl

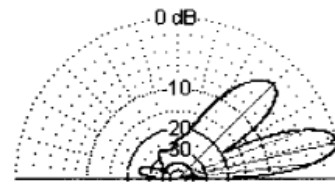


Ht: 2.0 wl

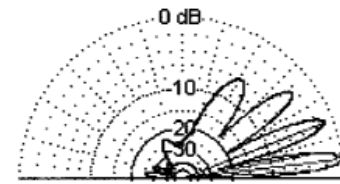
Antena dipol



Ht: 0.5 wl

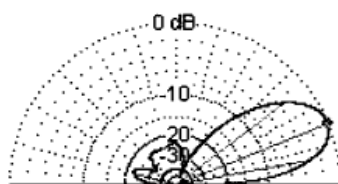


Ht: 1.0 wl

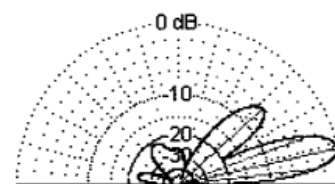


Ht: 2.0 wl

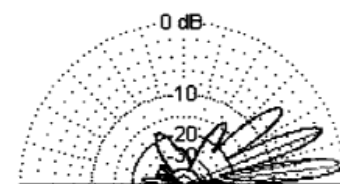
Antena Yagi cu 3 elemente



Ht: 0.5 wl



Ht: 1.0 wl



Ht: 2.0 wl

Antena Yagi cu 5 elemente:

Tab.1

Tip antena	Câștig	Unghi radiație în plan vertical, θ
Dipol la $1/2\lambda$	7.2dBi	27.5°
Yagi 3 elemente la $1/2\lambda$	12.3dBi	24.5°
Yagi 5 elemente la $1/2\lambda$	13.9dBi	22.3°
Dipol la 1λ	7.6dBi	13.8°
Yagi 3 elemente la 1λ	13.4dBi	13.4°
Yagi 5 elemente la 1λ	15.5dBi	13.1°
Dipol la 2λ	7.8dBi	6.9°
Yagi 3 elemente la 2λ	13.8dBi	7°
Yagi 5 elemente la 2λ	16dBi	7°

Proprietățile antenei magnetice la recepție.

În ambianța tipică de zgomot electric și paraziți din zona urbană o „buclă” poate recepționa mai bine decât un “beam” în benzile de US. O buclă magnetică, dacă este și bine echilibrată, răspunde majoritar la componenta magnetică a câmpului incident chiar dacă este în același timp în apropierea unor importante componente electrice ale câmpului. Aceasta este una din proprietățile de bază pentru care “buclă” are o recepție liniștită importantă.

În aceste condiții se pot recepționa semnalele slabe dintr-un ambient zgomotos, stații slabe care nu pot fi auzite niciodată cu o antenă dipol sau verticală decât dacă ar fi montate în afara orașului. Datorită proprietății de selectivitate magnetică a „buclei” componenta E a radiației câmpului electromagnetic, care este de 120π sau cu 26dB mai mare decât amplitudinea H a vectorului magnetic, este puternic rejectată. Diferența dintre cei doi vectori este datorată valorii de 377 ohmi a impedanței spațiului liber.

În altă ordine de idei se știe că majoritatea perturbațiilor sunt generate de componentele electrice E ale radiațiilor electromagnetice. Antenele dipol sau verticale sunt sensibile la ambele componente E și H ale undelor câmpului EM, pe când „buclă” este sensibilă practic numai la componenta H a câmpului și este practic “oarbă” la vectorul E. Se oferă astfel un înalt grad de rejectie la “spik”-urile electrice produse în gospodărie, mediul citadin și la perturbațiile atmosferice.

Prin urmare când utilizăm termenul de “buclă magnetică” pentru antenă aceasta înseamnă că se face o deosebire netă între componentele E și H ale undelor EM incidente. Teoria antenelor tratează “buclă” ca perechea magnetică a “dipolului electric” și se numește în consecință “dipol magnetic”.

În cazul unui sol cu o bună conductivitate și a unei polarizări verticale semnalul din câmpul radiant îndepărtat se combină cu semnalul pe care îl amplifică în unghiul de elevație scăzut. O “buclă” orientată vertical poate întări până la de două ori tăria semnalului în condițiile în care se operează în apropierea unei suprafețe de sol înalt reflectiv sau a apei sărate. Acesta este motivul pentru care “buclă” este foarte specială și nu are dezavantajele antenelor cu lobii segmentați de “nului” în structura de radiație.

Efectul solului asupra performanțelor antenei magnetice.

Când un dipol orizontal este plasat în apropierea solului, imaginea sa electrică din sol este în opoziție de fază (antifază). În consecință, dacă înălțimea față de sol a unui dipol orizontal se reduce la mai puțin de $1/4\lambda$, pierderile destul de mari în sol determină o rapidă scădere a rezistenței de radiație simultan cu o rapidă creștere a rezistenței de pierderi rezultată din disipația puterii într-un sol imperfect cu pierderi sporite. Acest lucru conduce la deteriorarea performanțelor pentru un dipol plasat la distanță insuficientă față de sol, situație întâlnită destul de des la antenele radioamatorilor.

În contrast, radiațiile de RF determinate de curenții din antena magnetică asociate cu imaginea acestora din sol pentru o „buclă” instalată vertical, situată deasupra solului, sunt în fază și practic se adună. Efectul solului asupra unei „bucle” este relativ mic și acest lucru are drept cauză componenta dominantă magnetică H a radiațiilor EM care este maximă în imediata apropiere a “buclei”, între sol și marginea spirei.

Performanțele sunt în mod obișnuit cele mai bune când “buclă” este amplasată în apropierea solului la o distanță față de marginea spirei la care “buclă” închide practic tot câmpul de inducție. Această distanță față de sol este de unu până la două diametre ale spirei. Poate să fie și mai sus dar practic din pdv al câmpului H nu este nevoie. Totuși dacă amplasarea se face în apropierea unor obiecte metalice sau construcții: linii electrice,

casa liftului, închiderea metalică a balcoanelor, ancore, etc. este preferabil să optăm pentru o înălțime sau o distanță mai mare pentru a asigura un spațiu de vedere liber pe direcția semnalului, adică în planul „buclei”.

În comparație cu antenele verticale o „bucă” situată sus pe un acoperiș (terasa blocului) poate fi în mod clar superioară din punct de vedere al diagramei de radiație atât în plan vertical cât și în plan orizontal. Diagrama de radiație pentru antenele verticale montate pe bloc, în apropierea planșeului, este imprecizabilă din cauza multipelilor căi de curent care se creează între antenă și căile conductive ale terasei care conduc la formarea unor lobi și nuluri multiple. O antenă magnetică este imună la aceste probleme deoarece în planșeul de sub antenă nu se formează imaginea acesteia și nici curenții de retur ca în cazul antenelor verticale. Deci căile multiple de curent din sol sau planșeu sunt eliminate de către „bucă”.

Obiectele de metal având o dimensiune mai mare decât $1/3\lambda$ și o distanță mai mică de 2λ față de „bucă” pot produce unde staționare și nuluri în anumite direcții și la anumite frecvențe. Dacă antena este montată pe suprafața unui acoperiș metalic, fenomenul de difracție de la marginea acestuia pot crea interferențe și nuluri ale diagramei de radiație în unele direcții și la unele frecvențe. Pentru a evita acest lucru, amplasarea cea mai convenabilă a antenei se face cât mai aproape de margine în direcția preferată pentru emisie / recepție. În timp ce o „bucă” plasată vertical este mult mai eficientă pe un sol „sărac” față de un sol conductiv, o antenă verticală are nevoie de un pământ artificial bun conductor creat din cotragreutăți. La antenele verticale eficiența antenei este dependentă de planul de masă și implicit de radiale, uneori foarte multe de ordinul sutelor.

Din nou despre directivitate, radiație și raportul semnal / zgomot.

O antenă magnetică montată vertical are o diagramă de radiație bidirecțională cu recepție maximă în planul buclei. Pentru polarizarea verticală undele au un unghi de elevație foarte scăzut, de regulă sub 10 grade, favorabile pentru o propagare ionosferică. Pentru unghiuri de elevație în jurul a $30 \div 40$ de grade semnalele au o polarizare oblică și nu mai răspund corespunzător la o propagare ionosferică. Între 45 și 90 de grade „bucă” răspunde la o polarizare orizontală față de planul antenei și acest lucru favorizează legăturile la distanțe scurte în jurul a 500km.

Pentru legături la distanțe mai mici de 500km recepția cea mai bună se realizează cu „bucă” așezată orizontal, când planul buclei este practic perpendicular pe frontul undelor azimutale.

Pentru distanțele care depășesc 1000km cea mai bună orientare a palnului buclei este în direcția semnalului. Nulurile laterale prezentate în diagramele de radiație sunt eficiente pentru a reduce fading-ul determinat de undele de sol în semnalele care vin pe calea ionosferică când cele două propagări sunt simultane. Nulurile laterale nu mai sunt eficiente pentru distanțe medii și scurte.

O antenă magnetică verticală situată la înălțimea de $0,15\lambda$ deasupra solului prezintă o excelentă acoperire către orizont începând cu aproape 0 grade elevație și acoperind astfel aproape orice distanță. La unghiuri de elevație mai mari de $20 \div 30$ de grade antena devine aproape omnidirecțională când recepționează undele troposferice. Pentru „bucă” amplasată deasupra unui sol mediu, în comparație cu un sol de conductivitate perfectă (apă sărată), răspunsul la unghiuri foarte mici, mai mici decât 5 grade este în mod obișnuit diminuat cu până la 10db decât cel realizat deasupra unui sol perfect.

Este de notat că solul de sub antenă din imediata apropiere afectează răspunsul la unghiuri verticale mari, în timp ce solul la mare distanță de antenă are tendința să caracterizeze performanțele la unghiurile verticale mici.

Este semnificativ faptul că o „bucă” realizează un raport semnal / zgomot (S/N) cu până la $10 \div 20$ dB mai mare decât al unui dipol situat în mediul urban și o substanțială îmbunătățire a raportului S/N când se compară cu antenele verticale în mediul poluat cu câmpuri electrice polarizate vertical. Inteligibilitatea semnalelor este dată de raportul S/N și nu de tăria proprie a semnalului. Semnalele slabe pot fi auzite cu mai puțin zgomot cu ajutorul sistemelor AGC. Cel mai important criteriu pentru o bună recepție este raportul S/N și nu câștigul sau eficiența antenei. În benzile HF la frecvențele medii și joase, în afara zgomotului electric provocat de oameni, funcție de ciclul solar devine dominant zgomotul galactic și atmosferic.

În modul recepție antena magnetică mai are un avantaj practic. Antena magnetică are un factor de calitate Q foarte mare ceea ce îi conferă o lărgime de bandă de frecvențe BW foarte îngustă. Din acest motiv antena lucrează ca un filtru de bandă, ca un etaj „front-end” în fața receptorului. Un astfel de preselector cuprins în însuși antena asigură creșterea performanțelor la recepție în benzile de HF aglomerate, în fața stațiilor de radiodifuziune și a paraziților atmosferici și industriali. Perturbațiile sau interferențele generate de canale de emisie apropiate sunt rejectate sau substanțial atenuate. În consecință semnalele slabe vor putea fi auzite ceea ce ar fi fost imposibil cu alte tipuri de antene.

Aceiași proprietate, a unui factor de calitate Q ridicat, realizează și la emisie un filtru eficient atenuând în mod substanțial armonicile nedorite. Acest lucru ajută la eliminarea multor probleme de BCI și TVI.

Unele cuvinte despre eficiență și pierderi.

Când antena se apropie de diametrul maxim admis de $1/4\lambda$ ea atinge eficiența maximă. La această dimensiune se atinge și lărgimea BW de bandă maximă cu cea mai mică tensiune pe condensatorul variabil de acord și cu cea mai mare rezistență de radiație R_r . Ca orice antenă care radiază și antena magnetică induce curenți în obiectele înconjurătoare. Pierderile atribuite solului și obiectelor sunt foarte greu de apreciat. Cu toate acestea curentul de mod comun care apare la suprafața cablului coaxial de alimentare poate fi determinat în mod obiectiv. Această măsurătoare va face probabil obiectul unei viitoare expuneri.

Bibliografie și Anexe

1. Florin Crețu YO8CRZ – “RADIOTEHNICĂ Teoretică și Practică” Ed. PIM Iași 2013
2. BERKELEY - vol II Electricitate și Magnetism și vol. III Unde.
3. dr. Carol Milazzo (YL) KP4MD <http://www.qsl.net/kp4md/>
4. Leigh Turner VK5KLT – Magnetic Loop HF Antenna
5. DL2FA – Hans Wurtz “DX-Antennen mit spiegelnden Flächen” cq-DL nr.2, 3, 4, 5 / 1983

Anexe:

1. Materialul prezentat în format .pdf pentru a putea fi tipărit