

Proiectarea și calculul antenelor magnetice.

YO4UQ – Cristian COLONATI

Restricțiile majore apărute în ultimul timp în legătură cu instalarea unor antene pentru emisiunile de radioamator, în mod special în aglomerările urbane și pe terasele superioare ale locuințelor din ansamblurile de blocuri face oportună realizarea unei soluții alternative pentru continuarea activității.

Situația nu este nouă în YO și nici pe “mapamond”. În unele comunități, firele, catargele, pilonii sau alte asemenea construcții nu sunt agreeate (autorizate) din motive care țin de ambientul pisagistic. În aceste cazuri antenele trebuie să fie „discrete” și să nu deranjeze ambientul vizual și nici pe cel electromagnetic (BCI, TVI) de nici un fel.

Interesantă este remarca lui WR1B Larry în articolul din QST July 2013 pag. 51 privind revenirea interesului pentru antenele magnetice în State. De asemeni în QST Nov 2013 pag. 35 este prezentată și realizarea lui Cristian Păun WV6N pentru două antene magnetice pentru puteri mari. Ambele materiale sunt anexate prezentei expunerii. Fericiți cei care dispun de un perimetru privat în urban sau în rural în care pot construi, testa și utiliza antene.

În acest context de împrejurări excelenta lucrare a lui Florin (YO8CRZ – VA7CRZ), un „manual elevat” cu multiple mențiuni teoretice și ale fenomenului fizic, cu realizări practice proprii remarcabile în domeniul antenelor, m-a îndemnat să reamintesc “cizadinilor” o posibilă soluție alternativă rezonabilă de a putea să-și continue activitatea în traficul de radioamator.

Cu o preocupare relativ îndelungată pentru antenele magnetice și analizând o mică parte din bogatul material existent pe Internet am crezut că este bine să fac o expunere asupra proiectării corecte a unei astfel de antene și de ce nu la înțelegerea funcționării și a fenomenului fizic. Pentru cei interesați am anexat și o bibliografie minimală.

La fel ca o fată frumoasă o antenă trebuie să fie elegantă, ușoară, eficientă și în special economică. Dacă este și “bogată” poate fi chiar “directivă”.

Am încercat să aduc în aceeași matcă, într-un program de proiectare foarte ușor de utilizat (în două variante ale pachetului Excel_2003 și Excel_2007) antenele realizate din țevă de cupru sau de aluminiu cu posibilitatea de comparație imediată a parametrilor funcționali. De asemeni este asigurată posibilitatea de efectuare a calculelor de proiectare pentru formele geometrice cele mai convenabile unei amplasări și instalări comode: patrat, hexagon, octogon, cerc. De asemeni pentru benzile inferioare se prezintă soluția unor antene magnetice cu mai mult de o spiră și posibilitatea de a analiza eficiența și oportunitatea lor.

Combinăția multidisciplinară între calculatoare, programe de comunicații digitale și telegrafice, transceivere folosite la puteri modeste 30 – 50 watt și antenele magnetice, mi-au permis să rămân activ în benzile superioare 10 – 28 MHz, să lucrez în multiple concursuri și chiar să realizez DX-uri interesante.

Chiar dacă pentru unii expunerea mea detaliată li se va părea prea complicată (din punct de vedere al formulelor) sau chiar neinteresantă, probabil vor fi tineri preocupați de înțelegerea unor fenomene fizice și surprinderea lor cantitativă în programe de calcul.

Din punctul meu de vedere o antenă magnetică este un adevărat “laborator” de înțelegere practică și la îndemână a fenomenelor electromagnetice caracteristice funcționării antenelor. Nu trebuie spațiu mare, nu sunt necesari piloni sau catarge, se pot face ușor măsurători și reglaje în casă sau pe balcon pentru soluțiile constructive obișnuite. Cele câteva materiale sunt: câțiva metri de țevă de cupru sau de aluminiu, un condensator variabil și de asemeni câțiva metri de cablu coaxial. Pentru benzile superioare este suficient un cerc de 60 ÷ 100 cm și aparatura clasică a unui radioamator, un transceiver și un reflectometru (SWR) pentru controlul raportului de unde staționare și regajul adaptării. Cu puțină bunăvoință, utilizarea programului de proiectare și interpretarea corectă a rezultatelor vă vor ajuta la alegerea celei mai convenabile soluții.

O antenă magnetică poate deveni o excelentă lucrare de laborator pentru studenții și tehnicienii din specialitățile de radiocomunicații. Din punct de vedere teoretic și matematic, la nivel superior și mediu, antena magnetică este foarte bine documentată. Antena magnetică circulară a fost simulată și cu programul 4NEC2 de către KP4MD Carol (YL) cu concluzii foarte bine documentate (vezi bibliografie 14).

Poate într-o expunere viitoare vom face o analiză a programelor de proiectare pentru antene magnetice disponibile pe Internet. Putem semnală încă de pe acum principalele programe de proiectare accesibile precum și autorii lor: OH2SV, AA5TB, 66pacific.com, DG0KW menționați și în bibliografie. Fiecare dintre acestea cuprind un număr mai mare sau mai mic de parametri de funcționare relevanți și unele dintre ele au chiar anomalii de interpretare inexplicabile pe care eventual le vom comenta într-un viitor articol.

Și acum cu permisiunea voastră putem trece la treabă urându-vă succes la testarea programelor.

Simboluri, unități de măsură, constante universale și de material:

L	[μH]	Inductanța
D	[m]	Diametrul antenei circulare sau diametrul cercului circumscris al antenei poligonale
D _e	[m]	Diametrul echivalent al poligonului $D_e = p/\pi$
d	[m, cm]	Diametrul conductorului (tub, țevă)
b	[cm]	$b = d$ diametrul conductorului în formulele din Antenna Book Ed. 18 pag. 5-4
p	[m]	Perimetrul antenei notație generală
p _p	[m]	Perimetrul patratului
p _h	[m]	Perimetrul hexagonului
p _o	[m]	perimetrul octogonului
p _c	[m]	Perimetrul cercului
a	[m,cm]	Latura poligonului
r	[m]	Raza conductorului $r = d/2$
q	[mm,m]	Perimetrul circular al conductorului $q = \pi \cdot d$
s	[m]	Lungimea inductanței în cazul muti spire
N	[nr]	Numărul de spire
A	[m ²]	Aria antenei
C	[pF]	Capacitatea totală
C _d	[pF]	Capacitatea distribuită
C _a	[pF]	Capacitatea de acord
f	[Hz, MHz]	Frecvența
λ	[m]	Lungimea de undă $\lambda = 300/f$ unde f [MHz]
X _l	[Ω]	Reactanța inductivă
X _c	[Ω]	Reactanța capacitivă
R _r	[Ω]	Rezistența de radiație
R _s	[Ω]	Rezistența specifică
R _p	[Ω]	Rezistența de pierderi
δ	[mm]	Adâncimea de pătrundere în material a curentului de HF
η	[%]	Randamentul, eficiența antenei în punctul de alimentare
K	[dB]	Coeficient de comparație cu antena ideală
Q	[-]	Factorul de calitate pentru X/2 din X la rezonanță
BW	[kHz]	Lărgimea de bandă, banda de trecere la -3dB
U _{ef}	[V]	Tensiunea eficace pe condensator la rezonanță
U _{vv}	[V]	Teniunea la vârf pe condensator la rezonanță
I	[A]	Curentul prin bucla principală
P	[W]	Puterea de RF la intrarea în antenă

Transformarea principalelor unități de măsură întâlnită în aplicarea formulelor de calcul.

$$[\mu H] = [H] \cdot 10^{-6}$$

$$[pF] = [F] \cdot 10^{-12}$$

$$[cm] = [m] \cdot 10^{-2}$$

$$[mm] = [m] \cdot 10^{-3}$$

$$[Hz] = [MHz] \cdot 10^6$$

$$[Mm] = [m] \cdot 10^6$$

$$[S] = [\Omega]^{-1}$$

Constante universale și de material

$$c = \text{viteza luminii} = 300 [Mm/s] = 299.792.458 [m/s]$$

$$\mu_0 = \text{permeabilitatea vidului (aer)} = 4\pi \cdot 10^{-7} [H/m]$$

$$\epsilon_0 = \text{permitivitatea vidului (aer)} = 8,854 \cdot 10^{-12} [F/m]$$

$$\eta_0 = \text{impedanța caracteristică a spațiului liber} = 120 \cdot \pi = 376,8 [\Omega]$$

$$\sigma_{cu} = 5,8 \cdot 10^7 [\Omega \cdot m]^{-1}$$

$$\sigma_{al} = 3,5 \cdot 10^7 [\Omega \cdot m]^{-1}$$

Formule:

1. Inductanța cerc mono spiră.

1.1. formula folosită de OH2SV unde:

$$L = 62,2 \cdot 10^{-9} \cdot p \cdot (7,353 \cdot \log \frac{8 \cdot p}{\pi \cdot d} - 6,386) \text{ } [\mu\text{H}]$$

p = perimetrul antenei [m]

d = diametrul conductorului (tub, țevă) [m]=[mm].10⁻³

1.2. formula folosită de prof. Nicolova (**aleasă în programul de calcul**) unde:

$$L = \mu_0 \cdot \frac{D}{2} \cdot \left[\ln \left(\frac{8 \cdot D}{d} \right) - 2 \right] \text{ } [\mu\text{H}]$$

D = diametrul cercului [m]

d = diametrul conductorului (tub, țevă) [m]=[mm].10⁻³

μ_0 = permeabilitatea aerului $4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$ [H/m]

1.3. formula folosită de AA5TB cu valorile parametrilor exprimate în unități anglo-saxone (feet, inches) unde:

$$L = (1,9 \cdot 10^{-8}) \cdot s \cdot \left[7,353 \cdot \log \left(\frac{96 \cdot s}{\pi \cdot d} \right) - 6,386 \right] \text{ } [\mu\text{H}]$$

s = lungimea conductorului în [feet]

d = diametrul conductorului în [inches]

2. Inductanța poligoanelor mono spiră.

2.1. Inductanța patratului.

$$L = 2\mu_0 \frac{a}{\pi} \left[\ln \left(\frac{a}{r} \right) - 0,774 \right] \cdot 10^{-6} \text{ } [\mu\text{H}]$$

unde:

a = latura patratului [m]

r = raza conductorului (tubului, țevii) = d/2 [m]

μ_0 = $4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$ [H/m]

sau formula recomandată de Antenna Book și folosită în programul de calcul:

$$L = 0,008 \cdot a \cdot \left[\ln \left(\frac{1,4142 \cdot a}{2 \cdot d} \right) + 0,37942 + \frac{0,6666 \cdot a}{d} \right] \text{ } [\mu\text{H}]$$

unde:

a = latura patratului [cm]

d = diametrul conductorului (tubului, țevii) [cm]

2.2. Inductanțele hexagonului și octogonului ambele folosite în programul de calcul.

$$L = 0,012 \cdot N^2 \cdot a \cdot \left[\ln \left(\frac{2 \cdot a \cdot N}{(N+1) \cdot b} \right) + 0,65533 + \frac{0,1348 \cdot (N+1) \cdot b}{a \cdot N} \right] \text{ } [\mu\text{H}] \text{ hexagon}$$

$$L = 0,016 \cdot N^2 \cdot a \cdot \left[\ln \left(\frac{2,613 \cdot a \cdot N}{(N+1) \cdot b} \right) + 0,75143 + \frac{0,07153 \cdot (N+1) \cdot b}{a \cdot N} \right] \text{ } [\mu\text{H}] \text{ octogon}$$

unde:

a = latura poligonului [cm]

b = d = diametrul conductorului (tubului, țevii) pentru inductanța cu o singură spiră [cm]

N = 1 pentru o spiră

3. Inductanța multi spiră.

$$L = \frac{D^2 \cdot N^2}{s + 0,45 \cdot D} \text{ } [\mu\text{H}] \text{ pentru cerc sau } L = \frac{D_e^2 \cdot N^2}{s + 0,45 \cdot D} \text{ } [\mu\text{H}] \text{ pentru poligoane}$$

ambele folosite în programul de calcul, unde:

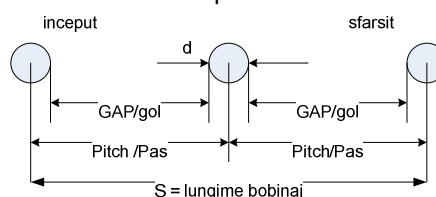
D = diametrul cercului [m]

D_e = diametrul cercului echivalent al unui poligon [m]. $D_e = p / \pi$ [m]

p = perimetrul poligonului [m]

N = numărul de spire, pentru antenele magnetice acest număr este practic la valoarea de 2 spire

s = lungimea inductanței măsurată între centrele spirelor din extremități [m]



Alte formule:

4. Capacitatea la rezonanță.

$$C = \frac{25330}{f^2 L} \text{ [pF]} \text{ unde: } f = \text{[MHz]} \text{ iar } L = \text{[}\mu\text{H]}$$

5. Capacitatea distribuită.

$$C_d = 2,69 \cdot p \text{ [pF]} \text{ unde } p \text{ este perimetrul antenei în [m]}$$

6. Capacitatea de acord.

$$C_a = C - C_d \text{ [pF]}$$

7. Reactanța $X_l = X_c$ la rezonanță.

$$X_l = X_c = \frac{10^6}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} \text{ [\Omega]} \text{ unde } f = \text{[MHz]} \text{ iar } C = \text{[pF]}$$

8. Rezistența de radiație.

- Pentru antenele mono spiră:

$$R_r = \eta \frac{8}{3} \pi^3 \left(\frac{A}{\lambda^2} \right)^2 \text{ [\Omega]}$$

unde în spațiul liber $\eta = 120\pi$ și formula de calcul devine:

$$R_r = 31171 \left(\frac{A}{\lambda^2} \right)^2 \text{ [\Omega]}$$

- Pentru antenele multi spiră:

La antenele cu mai multe spire (practic 2 spire pentru o eficiență rezonabilă) rezistența de radiație este:

$$R_r = \eta \frac{8}{3} \pi^3 \left(N \frac{A}{\lambda^2} \right)^2 \text{ [\Omega]} \text{ sau pentru calcul:}$$

$$R_r = 31171 \left(N \frac{A}{\lambda^2} \right)^2 \text{ [\Omega]}$$

unde:

A = aria buclei antenei [m²]

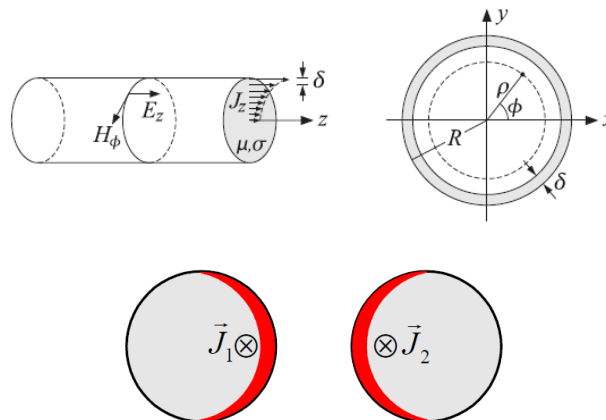
N = numărul de spire

λ = lungimea de undă pentru frecvența la care se face calculul antenei $\lambda = 300/f$ în [m] iar f în [MHz]

9. Rezistența de pierderi.

Mărimea rezistenței de pierderi, de care depinde în mare măsură randamentul antenei, este determinată de următorii factori:

- De constanta conductivității materialului, care pentru cele două materiale utilizate este:
Cupru $\sigma = 5,8 \cdot 10^7 \text{ [\Omega} \cdot \text{m}]^{-1}$
Aluminiu $\sigma = 3,5 \cdot 10^7 \text{ [\Omega} \cdot \text{m}]^{-1}$
- De efectul pelicular (skin) la frecvențe înalte, care se concretizează prin adâncimea de pătrundere a curentului în conductorul antenei.



Pentru antenele multi spiră rezistența de pierderi este afectată și de efectul de proximitate. Efectul poate fi neglijat dacă distanța între spire este de $4 \div 5$ ori diametrul d al conductorului.

De execuția îngrijită a buclei principale. Atât pentru cupru cât și pentru aluminiu se recomandă lipiturile cu compoziție de cositor argintat sau sudură. Se vor evita (pe cât este posibil) conexiunile prin înșurubare. Conexiunile pe două metale diferite produce pe contact o micro pilă galvanică care corodează, crește rezistența de radiație și în plus introduce zgomot alb la recepție.

Formulele de calcul intermediare sunt:

Adâncimea de pătrundere pentru cupru:

$$\delta = \frac{1}{\alpha} = \sqrt{\frac{2}{\omega\mu\sigma}} = \frac{1}{\sqrt{\pi f\mu\sigma}} = \frac{1}{\sqrt{\pi \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 5,8 \cdot 10^7}} \times f^{-\frac{1}{2}} = 0,0661 \times f^{-\frac{1}{2}} = \frac{0,0661}{\sqrt{f}} [\text{mm}]$$

Adâncimea de pătrundere pentru aluminiu:

$$\delta = \frac{0,0864}{\sqrt{f}} [\text{mm}]$$

Rezistența specifică de pierderi:

$$R_s = \frac{1}{\sigma \cdot \delta} = \sqrt{\frac{\pi \cdot f \cdot \mu_0}{\sigma}}$$

Rezistența de pierderi a antenei:

$$R_p = \frac{p}{q} R_s = \frac{p}{q} \sqrt{\frac{\pi \cdot f \cdot \mu_0}{\sigma}} = \frac{\pi \cdot D}{\pi \cdot d} \sqrt{\frac{\pi \cdot f \cdot \mu_0}{\sigma}} = \frac{D}{d} \sqrt{\frac{\pi \cdot f \cdot \mu_0}{\sigma}} [\Omega]$$

unde:

p = perimetrul antenei, lungimea conductorului (tub, țevă) [m]

q = perimetrul circular în secțiunea conductorului (țevii) din care este construită antena și care este egal cu q = π · d unde d este diametrul conductorului [m]

f = frecvența de calcul în [Hz]

σ = conductivitatea Cu sau Al după caz în [Ω · m]⁻¹

μ₀ = 4 · π · 10⁷ [H/m]

D = diametrul în cazul antenei circulare sau D_e diametrul echivalent în cazul antenelor poligonale [m]

d = diametrul conductorului [m]

În cazul antenelor poligonale, hexagonale sau octogonale, diametrul D se transformă într-un diametru echivalent D_e din cunoașterea perimetrului acestor antene.

Perimetrul hexagonului care are 6 laturi egale de lungime a cunoscută este p_h = 6 · a = π · D_h

Perimetrul octogonului care are 8 laturi egale de lungime a cunoscută este p_o = 8 · a = π · D_o

de unde rezultă imediat valorile pentru diametrele echivalente ale poligoanelor care pot fi introduse în formula generală de calcul a rezistenței de pierderi.

Făcând toate calculele din formulă, ținând cont de valoarea constantelor care intervin inclusiv conductivitățile pentru cupru și aluminiu și de soluția constructivă a antenei cu o singură sau mai multe spire formulele de calcul pentru rezistența de pierderi devin:

$$R_p = \frac{N \cdot p_e}{1,2 \cdot d} \sqrt{f} \cdot 10^{-4} [\Omega] \text{ pentru cupru}$$

$$R_p = \frac{N \cdot p_e}{0,935 \cdot d} \sqrt{f} \cdot 10^{-4} [\Omega] \text{ pentru aluminiu}$$

unde:

N = 1 sau 2 pentru antena mono spirală respectiv multi spirală

p_e = p_p, p_c; p_h; p_o respectiv unul din perimetrele antenei alese: patrat, cerc, hexagon, octogon [m]

d = diametrul conductorului [m]

f = frecvența [MHz]

10. Randamentul antenei, eficiența la punctul de alimentare.

Se referă strict la ceea ce se întâmplă cu puterea aplicată la punctul de alimentare al antenei și cât din acesta este radiată.

$$\eta = \frac{P_r}{P_r + P_p} = \frac{I^2 R_r}{I^2 (R_r + R_p)} = \frac{R_r}{R_r + R_p} [\%]$$

unde:

R_r = rezistența de radiație iar R_p = rezistența de pierderi, care la rezonanță și o adaptare perfectă depinde numai de pierderile în materialul antenei și anomaliile de execuție: suduri slabe, lipituri, îmbinări defectoase.

11. Comparație cu antena ideală.

$$K = 10 \cdot \log \left(\frac{\eta}{100} \right) [dB]$$

Niciodată o antenă nu poate atinge un randament de 100%. Orice antenă are pierderi de material.

12. Factorul de calitate.

Reactanța la rezonanță a fost prezentată anterior (pct.7). Deoarece Q-ul antenei nu se poate determina la frecvența de rezonanță acolo unde reactanța este nulă se ia în calcul 50% din valoarea reactanței acolo unde apar componentele reactive.

$$Q = \frac{X_{rez}}{2(R_r + R_p)}$$

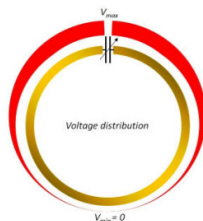
Pentru antenele magnetice valoarea lui Q este foarte mare, de obicei peste 500.

13. Banda de trecere la -3dB.

$$B_w = 1000 \frac{f}{Q} \text{ [kHz]} \text{ unde } f \text{ [MHz]}$$

14. Tensiunea pe capacitatea de acord.

La o antenă magnetică tensiunea de RF este distribuită în perimetru conform figurii anexate. Punctul de vis-s-vis de CV este punct de tensiune nulă și se poate pune la masă. Poate fi locul unde se pune masa unei adaptări Γ .



Tensiunea eficace:

$$U_{ef} = \sqrt{P \cdot X_c \cdot Q} \text{ [V]}$$

Tensiunea la vârf:

$$U_{vv} = U_{ef} \cdot \sqrt{2} \text{ [V]}$$

Pentru calculul distanței între plăcile condensatorului variabil cu aer se consideră tensiunea eficace de străpungere la 20 grade C și umiditate standard de 0,8kV la 1kV pe mm. La condensatoarele split stator sau fluture distanța calculată se împarte la 2 fiind de fapt două condensatoare variabile în serie.

La condensatoarele în vid tensiunea maxim admisibilă este indicată de fabricant pe obiect.

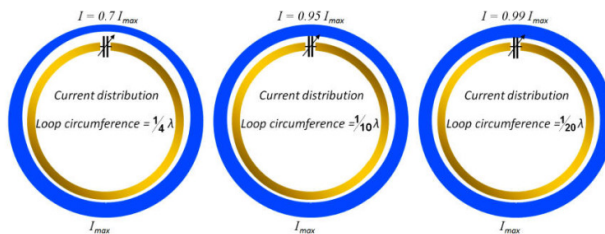
15. Curentul prin bucla principală.

$$I = \sqrt{\frac{P \cdot Q}{X_l}} \text{ [A]} \text{ unde: } P \text{ [W]} \text{ iar } X_l \text{ [\Omega]}$$

Nota exemplu: Datorită efectului pelicular curentul de RF circulă la suprafața conductorului. Ținând cont de adâncimea de pătrundere calculată la detreminarea rezistenței de pierderi funcție de dimensiunile conductorului (diametru, perimetru, material) se poate calcula secțiunea efectivă prin care trece curentul și densitatea de curent Δ pe mm patrat. Exemplu: Pentru țevă de Cu $d=22\text{mm}$ de conductivitate $\sigma=5,8 \cdot 10^7 \text{ [S/m]}$ la frecvența de 14 MHz care are perimetrul de $q=\pi \cdot 22 \text{ [mm]}$, secțiunea prin care circulă curentul este de $\epsilon=\delta \cdot q \text{ [mm}^2\text{]}$ iar densitatea de curent ajunge la $\Delta=I/\epsilon$. Făcând calculele pentru un curent calculat, de valoare normală pentru 100 watt de 19A, adâncimea de pătrundere este $\delta=0,018\text{mm}$, în secțiune rezultă de $1,24 \text{ mm}^2$ iar densitatea de curent este de 15A/mm^2 distribuită pe suprafața conductorului.

16. Recomandare dimensiunală, limite de perimetru.

Pentru a păstra caracterul preponderent magnetic în câmpul reactiv apropiat, datorită curentului mare care circulă prin conductor, dimensiunile perimetrului antenei trebuie să se încadreze între niște limite.



În figura alăturată se vede valoarea și distribuția curentului pe circumferința antenei funcție de dimensiunile acesteia în fracțiuni ale lungimii de undă λ . Din punct de vedere practic limitele de perimetru se vor situa astfel: $\frac{1}{8} \lambda < p < \frac{1}{4} \lambda$ unde $\lambda=300/f \text{ [m]}$ iar $f \text{ [MHz]}$. Pentru valori mai mici de $1/8\lambda$ randamentul scade foarte mult odată cu scăderea ariei A și implicit a rezistenței de radiație R_r . Pentru valori mai mari de $1/4\lambda$ capacitatea de acord devine foarte mică, mai mică chiar decât capacitatea distribuită și nu mai poate fi atinsă din punct de vedere parctic. De asemeni antena își pierde caracterul de antenă magnetică și migrează către o antenă electrică $\lambda/4$. În acest sens se atenționează faptul că o singură antenă magnetică nu poate acoperii tot spectrul benzilor de unde scurte de la 80m la 10m. Unele programe de calcul atenționează asupra acestui aspect printr-un mesaj iar altele afișând o valoare negativă pentru capacitatea de acord C_a .

17. Formule geometrice.

Deoarece antenele magnetice pot avea din punct de vedere al realizării practice câteva forme geometrice specifice, utile din punct de vedere constructiv, se consideră pentru ajutor prezentarea formulelor geometrice de calcul pentru formele: patrat, hexagon, octogon și cerc.

- Patrat

D = diametrul cercului circumscris, diagonala patratului

a = latura patratului = $D \cdot \sqrt{2}$

p = perimetrul patratului = $4 \cdot a = 4D/\sqrt{2}$

A = aria = $a \cdot a = a^2 = D^2/2$

- Hexagon

D = diametrul cercului circumscris = $2 \cdot r$

r = raza = $D/2$

a = latura hexagonului = $r = D/2$

p = perimetrul hexagonului = $6 \cdot a = 6 \cdot r = 3D$

A = aria hexagonului = $\frac{3\sqrt{3}}{2} r^2 = \frac{3\sqrt{3}}{8} D^2 = 0,649 \cdot D^2 = 2,598 \cdot r^2 = 2,598 \cdot a^2$

- Octogon

D = diametrul cercului circumscris = $2 \cdot r$

r = raza = $D/2$

a = latura octogonului = $\frac{D}{2} \sqrt{2 - \sqrt{2}} = 0,3827 \cdot D$

p = perimetrul octogonului = $8 \cdot a = 3,0616 \cdot D$

A = aria octogonului = $\frac{\sqrt{2}}{2} D^2 = 0,7071 D^2$

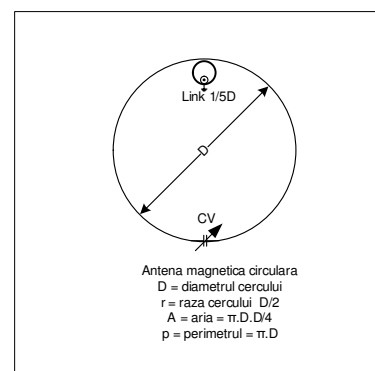
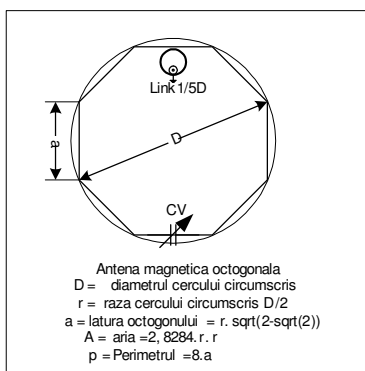
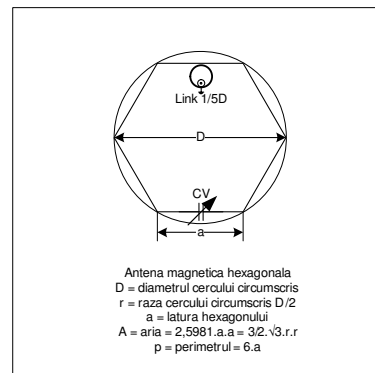
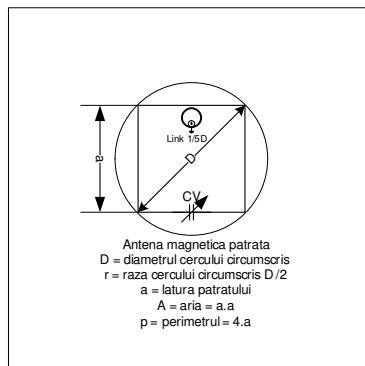
- Cerc

D = diametrul cercului

$p = \pi \cdot D$

$A = \pi \cdot D^2/4$

Principalele forme constructive ale antenelor magnetice de emisie in ordinea crescatoare a eficientei pentru un acelasi diametru al cercului circumscris: Patrat, Hexagon, Octogon, Cerc.



Bibliografie.

- [1] R. Dengler – Self inductance of a wire loop as a curve integral.
<http://arxiv.org/pdf/1204.1486.pdf>
<http://en.wikipedia.org/wiki/inductance>
- [2] ARRL ARRL Antenna BOOK Ed.18 cap. 5-4
- [3] Florin Crețu Radiotehnica – Teoretică și practică. Ed. PIM 2013 (YO8CRZ – VA7CRZ)
- [4] C. Colonati Aproape totul despre antena magnetică – Revista FRR R&R Nr.6/1997 pag. 5-15
- [5] David K Knight The self resonance and self capacitance of solenoid coil. (G3YNH)
- [6] Matti Ohtola OH7SV – <http://www.saunalahti.fi/hohtola/ham/ham-projects.html>
<http://www.saunalahti.fi/hohtola/ham/magnetic-loop-for-80m/magnetic-loop-for-80m.htm>
- [7] Steve Yates Small Transmitting Loop Antennas. <http://www.aa5tb.com/loop.html>
- [8] Larry D Wolfgang WR1B – Magnetic Loop Antennas. - QST july 2013
- [9] ARRL site asociat <http://www.66pacific.com/calculators/default.aspx>
- [10] Klaus Warson Magnet – Loopantennen Rechner (DG0KW)
<http://www.i1wqrlinkradio.com/antype/ch9/chiave143.htm>
- [11] Prof. N. Nicolova Loop Antennas – <http://www.antentop.org/004/files/tr004.pdf>
- [12] Lionel Loudet SID Monitoring Station – <http://sidstation.loudet.org/antenna-theory-en.xhtml>
- [13] S. Orphanidis Electromagnetic Waves and Antennas – cap. 2.8 and 2.9 Propagation in good conductor and skin effect in cylindrical wires.
- [14] Carol Milazzo KP4MD (YL) – A universal HF Magnetic Loop Antenna – NEC Model
<http://www.gsl.net/kp4md/magloop.htm>
- [15] Serge Stoorbandt ON4AA – Single Layer Helical Round Wire Inductor Calculator
<http://hamwaves.com/antennas/inductance.html>
- [16] Claudio Girardi IN3OTD – Computing the inductance of single layer coils.
One-turn loop inductance calculation <http://www.gsl.net/in3otd>
- [17] Cristian Păun WV6N – An Antenna Idea for Antenna Restricted Communities – QST nov 2011 pag. 35
- [18] N. Laurențiu YO8AXP – Antena magnetica Revista FRR R&R Nr.4/2009 pag. 3-5

Câteva note finale.

1. Foile EXCEL din programele de calcul sunt protejate în zona de formule și calcule. Sunt disponibile doar câmpurile pentru introducerea datelor de intrare.
2. Unele programe de calcul disponibile (vezi AA5TB și DG0KW) adaugă la rezistența de pierderi calculată în mod forțat o rezistență suplimentară datorată contactelor imperfecte. Această suplimentare este justificată numai în cazul unor realizări practice mai puțin corecte dar valoarea adăugată nu are nici o justificare obiectivă.
3. Justificarea distanței între spire la antenele multispire este demonstrată teoretic în materialul [11] al prof. Nicolova la pag. 18, 19.
4. Nu am folosit formulele pentru calculul inductanțelor multispire, pentru antenele poligonale, propuse de Antenna BOOK, adică pentru $N > 1$, deoarece la calculele realizate „off-line”, manual, cu un calculator de birou pentru parametrii constructivi ai unor astfel de antene valorile obținute pentru inductanțe mi s-au părut neverosimile. Am făcut verificarea cu programul „on-line” din Internet de la <http://hamwaves.com/antennas/inductance.html> care mi-a confirmat această suspiciune. Se pare că formulele din Antenna BOOK care pentru monospire sunt bune nu mai funcționează corect pentru mai multe spire.
5. Pentru cititorii care nu au programul EXCEL în calculator am adăugat un exemplu de calcul realizabil cu ajutorul unui banal calculator de birou pentru o antenă magnetică pentru banda de 14MHz și superioare sub forma unor pagini .pdf. Se poate calcula asemănător pentru orice frecvență și oricare din cele două materiale precizând datele de intrare și folosind cu atenție formulele, respectând unitățile de măsură.