

## Câmpul electromagnetic al antenelor magnetice de unde scurte.

YO4UQ – Cristian Colonati

În prezenta expunere am încercat, pe cât a fost posibil, să se dea o prezentare simplă, inteligibilă pentru majoritatea radioamatorilor și o interpretare cât mai aproape de adevăr, să determinăm cu suficientă precizie ordinul de mărime pentru parametrii de radiație ai antenelor magnetice.

Cu acordul vostru vom încerca să tratăm împreună această problemă, dacă veți avea răbdarea să parcurgem câteva din elementele de bază ale funcționării antenelor, și să lămurim de asemeni împreună în spiritul mult trâmbițatei „transparențe” câteva elemente controversate și nu întotdeauna demonstrate sau măsurate.

Trebuie să recunosc că impulsul de a încerca să lămuresc acest aspect mi-a fost dat de comentariile colegilor din postările anterioare pe acest subiect. Mi-a fost de un neprețuit ajutor lucrarea lui Florin YO8CRZ în care am găsit informații și referințe pentru o încercare de determinare cantitativă teoretică a mărimilor fizice. Dacă cumva greșesc în această expunere vă rog să interveniți și să încercăm să construim împreună o imagine cât mai aproape de adevăr a fenomenelor fizice abordate.

### Ce ne propunem ca obiectiv?

Determinarea cantitativă a componentelor H și E respectiv câmpul magnetic și electric generate de o antenă magnetică. Ca verificare, variația impedanței de undă în câmpul reactiv al antenei.

### Condiții inițiale.

- Ne limităm la antene magnetice monospiră circulare funcționând în benzile de unde scurte de la 7 la 28 MHz construite din țevă de cupru care au rezistențe de pierderi minime și dau eficiența maximă la un același perimetru.
- Ne limităm la dimensiuni rezonabile cu diametre între  $0,8m < D < 2m$  pentru care se poate realiza un montaj mai ușor în condițiile citadine.
- Pentru calcule, puterea maximă furnizată de emițător la intrarea antenei va fi cea uzuală și modestă de 100 watt. Pentru alte puteri sau dimensiuni ale antenei magnetice cei interesați pot reface calculele.

### Ce știm din teorie, experiență și literatura de specialitate?

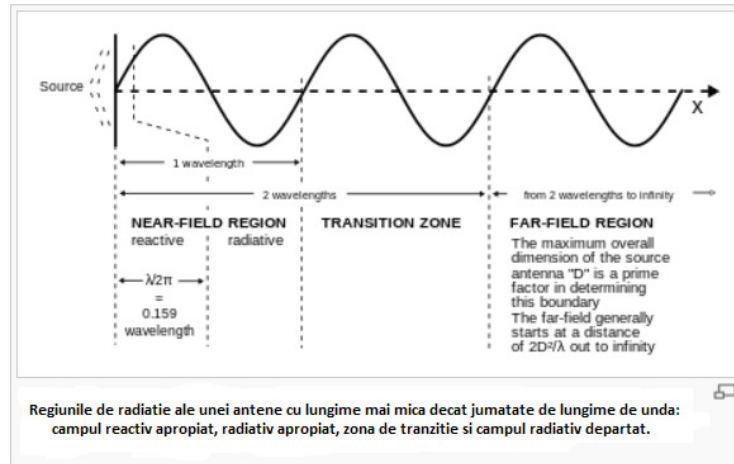
1. Știm să dimensionăm corect o antenă magnetică pentru un compromis rezonabil între eficiență, caracterul magnetic și dimensiuni astfel încât perimetru să fie  $1/8\lambda < p < 1/4\lambda$ .
2. În foaia de calcul EXCEL atașată au fost determinați toți parametrii unor antene magnetice între 7 și 28 MHz pentru compromisul optim: dimensiuni acceptabile versus eficiență maximă.
3. Din determinări se cunoaște eficiența (randamentul) antenei și implicit puterea radiată Pr care determină nemijlocit valorile parametrilor unde electromagnetice E, H și S. ( $P_{rad} = P_{tx} \cdot \eta\%$ ).
4. Este studiată și acceptată gruparea antenelor în cele două mari categorii: antene electromagnetice lungi cu dimensiuni  $L \geq \lambda/2$  și antene electromagnetice scurte  $L < \lambda/2$  la care fenomenele fizice în apropierea lor sunt diferite.
5. Sunt disponibile formulele și algoritmi pentru calculul câmpului electromagnetic la orice distanță față de emițător în regiunile de câmp EM apropiat sau depărtat.
6. În consecință putem să determinăm dimensiunile relative ale câmpurilor electromagnetice generate de antene așa cum sunt ele definite:
  - Câmpul reactiv apropiat.
  - Câmpul radiant apropiat și eventuala zonă de tranziție.
  - Câmpul radiant depărtat.
7. Din norme se cunosc valorile limită rezonabil admisibile pentru E, H și S din România, Europa, SUA și Canada pe care le putem compara cu cele calculate sau chiar măsurate... dacă avem cu ce.
8. Există aparatură industrială de măsură și control pentru determinarea valorilor câmpului electromagnetic.

### Tratarea subiectului.

În acest context începem analiza prin a defini constructiv și funcțional cele două mari categorii de antene:

- **Antene electromagnetice scurte** la care dimensiunile electrice sunt mai mici decât  $\lambda/2$  pentru frecvența pe care lucrează. La aceste antene limitele zonelor de radiație sunt determinate de relația între distanța de radiație față de sursă și lungimea de undă  $\lambda$ . La aceste antene, parametrii lungime,

diametru sau perimetru nu prezintă importanță și din această cauză ele mai sunt numite “antene punct ideal”. În toate aceste antene scurte curentul și tensiunea sunt practic aproape constante pe toată lungimea de radiație și nu au timp să se defazeze. O antenă magnetică la care lungimea de radiație este cuprinsă între  $1/8\lambda < p < 1/4\lambda$  se încadrează în această categorie. Pentru antenele electromagnetice scurte delimitarea regiunilor se face conform figurii alăturate.



Dimensiunile regiunilor funcție de  $\lambda$  este următoarea:

- Regiunea de câmp apropiat egală cu  $\lambda$  se compune din:
  - ✓ Câmpul reactiv apropiat egal cu  $\lambda/2\pi = 0,159\lambda$ .
  - ✓ Câmpul radiant apropiat diferența până la  $\lambda$  adică  $0,841\lambda$ .
- Zona de tranziție egală cu  $\lambda$  și
- Câmpul radiant depărtat începând de la  $2\lambda$ .
- **Antenele electromagnetice lungi** care au dimensiuni egale au mai mari decât  $\geq \lambda/2$ . La acestea dimensionarea regiunilor și comportamentul câmpului electromagnetic este diferit. Problema cunoșterii acestor antene este foarte bine dezvoltată atât teoretic cât și practic. Ele nu au relevanță pentru prezenta intervenție dar se găsesc suficiente informații și explicații în bibliografie.
  - [http://en.wikipedia.org/wiki/Near\\_and\\_far\\_field](http://en.wikipedia.org/wiki/Near_and_far_field)
- **Dezvoltarea teoretică** pentru regiunile de manifestare ale câmpului EM electromagnetic generat de antene a fost făcută pe două modele matematice: modelul cu două regiuni și modelul cu trei regiuni unde au fost determinați „parametrii dominanți” dezvoltați în fiecare regiune. Modelele matematice au fost dezvoltate pe baza ecuațiilor lui Maxwell pentru o buclă magnetică elementară și respectiv o antenă dipol elementară.

<http://www.edn.com/design/communications-networking/4340588/Near-field-or-far-field->

Articolul detaliat, semnalat în acest link este atașat în format pdf prezentului material în care găsiți descrierea matematică și considerații complementare asupra fenomenelor din regiunile adiacente.

	THREE-REGION MODEL			TWO-REGION MODEL	
DOMINANT TERMS IN THE REGION	$\frac{1}{r}$	$\frac{1}{r^2}$	$\frac{1}{r^3}$	$\frac{1}{r^2}, \frac{1}{r^3}$	$\frac{1}{r}$
	FAR FIELD	TRANSITION ZONE	NEAR FIELD	NEAR FIELD	FAR FIELD
	FRAUNHOFER ZONE	TRANSITION ZONE	FRENEL ZONE	FRENEL ZONE	FRAUNHOFER ZONE
	FAR FIELD	INDUCTION FIELD	STATIC FIELD	REACTIVE FIELD	FAR FIELD
	FAR RADIATION FIELD	NEAR RADIATION FIELD	REACTIVE FIELD	INDUCTION ZONE	RADIATION ZONE
	FAR FIELD	TRANSITION REGION	QUASISTATIONARY REGION	STATIC OR QUASISTATIC FIELD	FAR FIELD

Ceea ce este foarte important în toată această expunere este descrierea comportării câmpului electromagnetic, a componentelor H și E, în regiunea câmpului reactiv a unei antene magnetice adică în regiunea de până la distanța  $R = \lambda/2\pi = 0,159\lambda$ .

Ecuțiile complexe care descriu comportarea buclei dipol magnetic în regiunea câmpului reactiv sunt următoarele:

$$\vec{H} = \frac{1}{\mu} \nabla \times \vec{A}$$

$$\vec{E} = \frac{1}{j\omega\epsilon} \nabla \times \vec{H}$$

$$\begin{aligned} \vec{H}_r &= jk^3 \frac{I_o \Delta S}{2\pi} \cos\theta \left[ \frac{1}{(kR)^2} - \frac{j}{(kR)^3} \right] e^{-jkR} \\ \vec{H}_\theta &= jk^3 \frac{I_o \Delta S}{4\pi} \sin\theta \left[ \frac{j}{kR} + \frac{1}{(kR)^2} - \frac{j}{(kR)^3} \right] e^{-jkR} \quad \left( \begin{array}{l} \text{small loop} \\ \text{radiated fields} \end{array} \right) \\ \vec{E}_\phi &= -j\eta k^3 \frac{I_o \Delta S}{4\pi} \sin\theta \left( \frac{j}{kR} + \frac{1}{(kR)^2} \right) e^{-jkR} \end{aligned}$$

Pentru coerența demersului a fost prezentată baza teoretică a fenomenelor. Bine înțeles că nu vom folosi ecuațiile în toată complexitatea lor dar este **“ESEŢIAL”** de reținut pentru componentele câmpului electromagnetic E și H, în mod special a intensității magnetice Hr, că au termeni care conțin 1/R, 1/R<sup>2</sup> și 1/R<sup>3</sup>.

Literatura de specialitate, teoretică și practică, spune ferm că:

**În regiunea câmpului reactiv, pentru intensitatea H, termenul 1/R<sup>3</sup> este termenul dominant.**

Dacă distanța crește termenii 1/R<sup>2</sup> și 1/R<sup>3</sup> se atenuază rapid și ca rezultat ajungem la termenul 1/R care de vine dominant în câmpurile radiante. Atenuarea câmpului E în regiunea câmpului reactiv se face cu 1/R<sup>2</sup> până când și acesta ajunge la atenuarea de 1/R în regiunile câmpului radiant. Aceleași gen de atenuari are loc și la antenele electromagnetice lungi în regiunea reactivă.

<http://www.antenna-theory.com/basics/fieldRegions.php>

Studii teoretice și experimentale precum și documentația de specialitate confirmă cele două aspecte esențiale și anume:

- Intensitatea câmpului magnetic H scade cu 1/R<sup>3</sup> în regiunea câmpului reactiv.
- Intensitatea câmpului electric E scade cu 1/R<sup>2</sup> în regiunea câmpului reactiv.
- Ce mai putem spune despre câmpul reactiv apropiat?
- În câmpul reactiv unde sunt practic unde staționare.
- E și H sunt puternic defazate de unde apare și efectul reactiv.
- Încercările de măsurători în această zonă sunt practic influențate de existența aparatului de măsură, posibil a fi în mare măsură eronate.
- Câmpul reactiv rămâne în jurul antenei atâta timp cât aceasta este excitată, dar nu se propagă. Câmpul se stinge odată cu întreruperea sursei. Prin comparație, în regiunea radiativă unde unde E și H ajung să fie în fază și se propagă practic la infinit cu atenuarea normală de 1/R.
- Câmpul reactiv scade până aproape de zero în regiunea radiativă apropiată zonă în care domină câmpul radiant apropiat iar defazarea între E și H se reduce semnificativ.
- Obiectele de orice natură, dar în special cele metalice, influențează major câmpul reactiv dar și funcționarea de ansamblu a antenei.
- Câmpul reactiv apropiat este în cea mai mare proporție un câmp magnetic generat de curentul mare care circulă prin dipolul magnetic.
- Eventualele efectele nocive ale câmpului electromagnetic se manifestă numai în regiunea reactivă apropiată.

Lăsăm în grija „profesorilor de antene” utilizarea în demonstrații a formulelor complexe deduse din ecuațiile lui Maxwell și vom încerca să simplificăm explicațiile.

Folosind noțiunile și formulele elementare din electromagnetism precum și formule, explicații și aproximări rezonabile ale determinării componentelor H și E la distanță față de antenă în regiunile de câmp reactiv și radiant vom încerca să dăm o evaluare cantitativă a radiațiilor unor antene magnetice dimensionate pentru benzile de amator de unde scurte. Vom compara valorile obținute cu cele maxim recomandate de normele de protecție contra radiațiilor din România (RO), Europa (EU), SUA și Canada. Accesul integral la norme este dat în bibliografie.

#### Calcul.

Primul pas în evaluarea parametrilor „antelor electromagnetice scurte” este determinarea dimensiunilor pentru câmpurile care se generează în apropierea antenei. Funcție de lungimile de undă al benzilor de radioamator aceste regiuni se pot sistematiza astfel:

**Dimensiunile regiunilor de radiatie pentru  
antenele electromagnetice scurte**

F [MHz]	$\lambda$ [m]	Rcrea [m]	Rrada [m]	Rtr [m] $2\lambda$	Rrad > $2\lambda$ [m]
		$0,159\lambda$	$0,841\lambda$		
7	42,9	<b>6,81</b>	36,0	85,7	> 85,7
10	30,0	<b>4,77</b>	25,2	60,0	> 60
14	21,4	<b>3,41</b>	18,0	42,9	> 42,9
18	16,7	<b>2,65</b>	14,0	33,3	> 33,3
21	14,3	<b>2,27</b>	12,0	28,6	> 28,6
25	12,0	<b>1,91</b>	10,1	24,0	> 24
28	10,7	<b>1,70</b>	9,0	21,4	> 21,4

Rcrea - dimensiunea campului reactiv apropiat

Rrada - dimensiunea campului radiativ apropiat

Rtr - limita regiunii de tranzitie

Rrad - de unde incepe campul radiant departat

Să începem să evaluăm cu formulele simple și câteva ipoteze de lucru valorile parametrilor H și E în cea mai interesantă regiune, cea a câmpului reactiv apropiat.

1. Antena magnetică este un cerc (sau un poligon convex închis) la care inducția magnetică B și implicit intensitatea câmpului magnetic H pentru un curent I care circulă prin spirală este maximă în centrul spirei și este dată de:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2r} ; H = \frac{I}{2r}$$

r = raza spirei [m]

I = curentul [A] valoare eficace (RMS\*) care circulă prin spirală determinat prin programul de calcul al antenelor magnetice atunci când antena este alimentată cu puterea P [W] din emițător.

La rezonanță I are valoarea  $I = \sqrt{\frac{P \cdot Q}{X_{rez}}}$  și este dată de programele de calcul ale antenei magnetice.

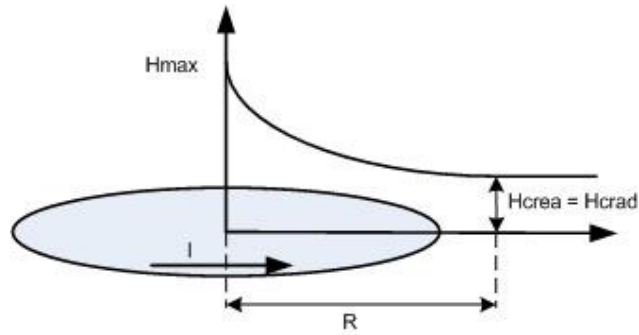
\*RMS = Root Mean Square – valoarea medie patrată, valoarea eficace.

2. Câmpul electromagnetic la o distanță dată de emițător în zona de câmp radiant este dată de formulele:

$$E = \frac{\sqrt{30 \cdot P}}{R} \text{ [V/m]} ; H = \frac{E}{Z_0} \text{ [A/m]} \text{ unde } Z_0 = 377 \text{ impedanța de undă}$$

Demonstrația formulelor o găsiți în cartea „Radiotehnică – Teoretică și practică” cap. 1.7 pag.18-19.

3. Din teoria antenelor, așa cum am mai comentat, rezultă comportarea câmpurilor H și E în regiunea de câmp reactiv unde cele două componente se atenuează cu  $1/R^3$  pentru H și cu  $1/R^2$  pentru E față de distanța de la emițător.
4. Am arătat că pentru antenele cu  $L < \lambda/4$  dimensiunea regiunii de câmp reactiv unde se produce acest fenomen se determină cu  $R_{crea} = \lambda/2\pi = 0,159\lambda$
5. În continuare avem două ipoteze de lucru:
  - 5.1. Să presupunem că mai departe de distanța Rcrea față de centrul spirei H și E scad numai cu  $1/R$  și funcție de aceasta să determinăm H și E pentru distanța Rcrea și apoi cu atenuarea  $1/R$  pentru orice distanță mai mare decât Rcrea.
  - 5.2. Să determinăm la ce distanță față de centrul spirei atenuarea câmpului H cu viteza de  $1/R^3$  se egalizează cu valoarea câmpului H calculată pentru zona de câmp radiant și care sunt valorile acestuia în intervalul determinat R față de centrul spirei.



R distanța în care Hcrea atinge valoarea lui H din câmpul radiant

Lucrăm în prima **ipoteză 5.1.** și calculăm valoarea lui H la limita teoretică a câmpului reactiv.

$$H_{crea} = \frac{I}{2R^3} = \frac{I}{2(0,159\lambda)^3}$$

unde  $I=18A$ , pentru 100 watt la Tx, la o spiră de 2m pentru banda de 7 MHz. Exemplu numeric imediat:  $H_{max}=I/2r=18/2.1=9A/m$ ,  $R_{crea}=0,159.42,9=6,81m$ ;  $R^3_{crea}=315,8$ ; rezultă  $H_{crea}=18/631=0,0285 A/m$  la distanța de 6,81m de emițător, în spațiu liber, la limita teoretică a regiunii câmpului reactiv.

Lucrăm în cea de **a doua ipoteză 5.2.** care ține cont de prelungirea câmpului reactiv la valori din ce în ce mai mici în zona câmpului radiant până ajunge la valoarea acestuia din urmă adică  $H_{crea}=H_{crad}$ .

$$H_{crea} = H_{crad} = \frac{I}{2R^3} = \frac{\sqrt{30 \cdot P_r}}{R \cdot 377}$$

unde R este distanța necunoscută de egalizare a celor două câmpuri. Pr este puterea radiată de spiră când ținem cont de eficiența (randamentul antenei). Datele sunt  $P_r=59$  watt,  $I=18A$  pentru aceeași spiră de 7MHz.

Făcând calculele rezultă  $R=8,98m \approx 9m$  iar  $H=0,012A/m$  la această distanță.

Cunoscând că la 9m am ieșit total din regiunea de câmp reactiv și am atins pentru H zona de câmp radiant apropiat unde componentele H și E sau stabilizat (fără însă a avea proprietățile din câmpul radiant depărtat) putem să aflăm cu ce valoare a pornit E la începutul regiunii de câmp reactiv știind faptul că atenuarea s-a făcut cu  $1/R^2$ . Conform formulei:  $E_{crea} = E_g \cdot R^2$

$$E_{crea} = E_{gm} \cdot R^2; E_{gm} = \frac{\sqrt{30 \cdot P_r}}{R} = \frac{\sqrt{30 \cdot 59}}{9} = 4,67 V/m$$

$$E_{crea} = 6,67 \cdot 9^2 = 378,3 V/m$$

Diminuarea valorilor celor două componente H și E din regiunea reactivă până la valorile H și E ale câmpului de radiație este prezentată în tabelul alăturat (unde  $H_{max}=9A/m$  pentru  $I_{max}=18A$  în buclă):

R[m]	I [A]	H [A/m]	E [V/m]	R <sup>2</sup>	R <sup>3</sup>	Z <sub>w</sub> [Ω]
1	18	9	378,3	1	1	42,03
1,5	18	2,667	168,1	2,25	3,38	63,03
2	18	1,125	94,6	4	8	84,09
2,5	18	0,576	60,5	6,25	15,63	105,03
3	18	0,333	42,0	9	27	126,13
3,5	18	0,210	30,9	12,25	42,88	147,14
4	18	0,141	23,6	16	64	167,38
4,5	18	0,099	18,7	20,25	91,13	188,89
5	18	0,072	15,1	25	125	209,72
5,5	18	0,054	12,5	30,25	166,4	231,48
6	18	0,042	10,5	36	216	250,00
6,5	18	0,033	9,0	42,25	274,63	272,73
7	18	0,026	7,7	49	343	296,15
7,5	18	0,021	6,7	56,25	421,88	319,05
8	18	0,018	5,9	64	512	327,78
8,5	18	0,015	5,2	72,25	614,13	346,67
9	18	0,012	4,7	81	729	391,67
Norma RO		0,23	87			
Norma EU		0,1	23			
Norma US		0,31	118			
Norma Canada		0,31	40			

Atenție, calculul câmpului E este făcut în zona radiantă apropiată (la distanța de 9m față de cei 6,81m ai zonei reactive) cu formula ce este corectă în zona de câmp radiant, în zona de câmp reactiv apar erori. Aproximarea este admisă deoarece erorile scad rapid pe măsura ce se iese din zona reactivă.

**Concluzia pentru acest prim exemplu:** Pentru banda de 7 MHz la o antenă magnetică cu diametrul de  $D=2m$ , din țevă de cupru de 22mm, pentru puterea unui Tx de 100 watt cu un randament de 59% deci o putere radiată de 59 watt și un curent maxim de 18A, la distanța de 4,5m în spațiu total liber componentele E și H se încadrează în limitele admise de radiație în toate standardele RO, EU, USA și Canada.

#### Verificare.

Verificarea și confirmarea celor expuse până în acest moment este făcută prin determinarea impedanței de undă pentru bucla magnetică analizată ca exemplu. Sunt de făcut câteva precizări:

1. Calculele în zona de câmp reactiv au de regulă erori mai mari decât în zona de câmp radiant depărtat unde câmpul este stabil.

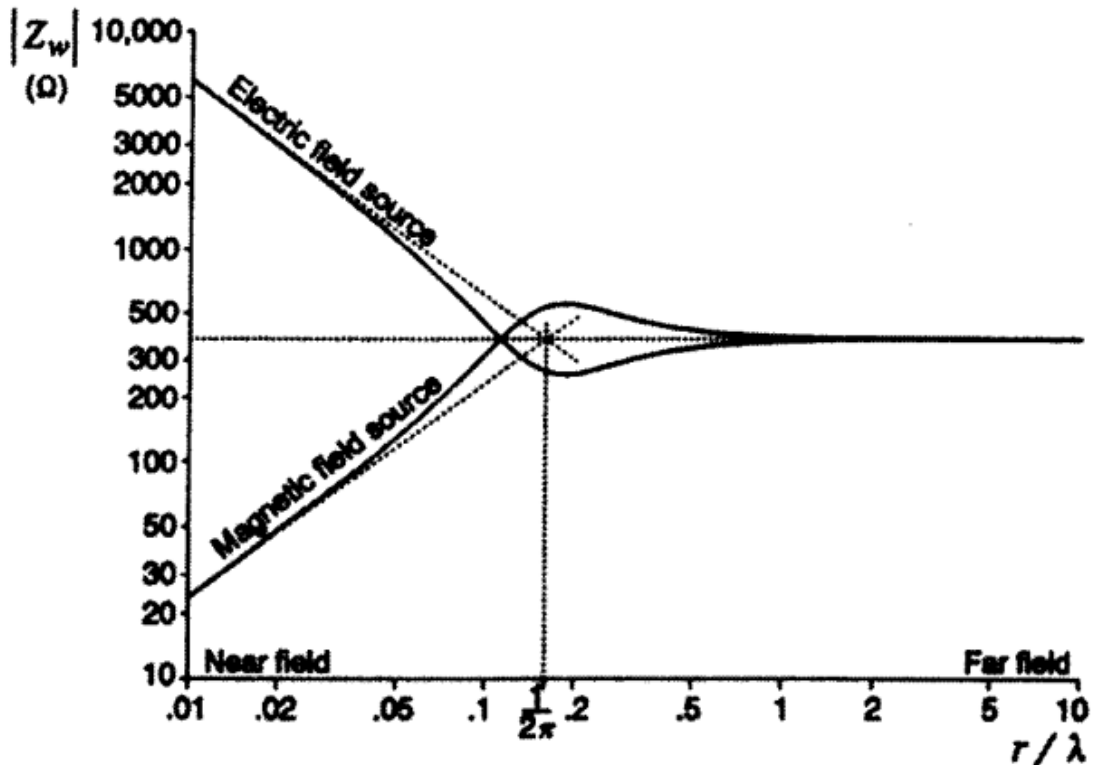
2. Chiar și în aceste condiții, precizia este suficient de bună, fapt ilustrat de evoluția impedanței unde electromagnetice în zona de câmp reactiv, tipică pentru o antenă magnetică.

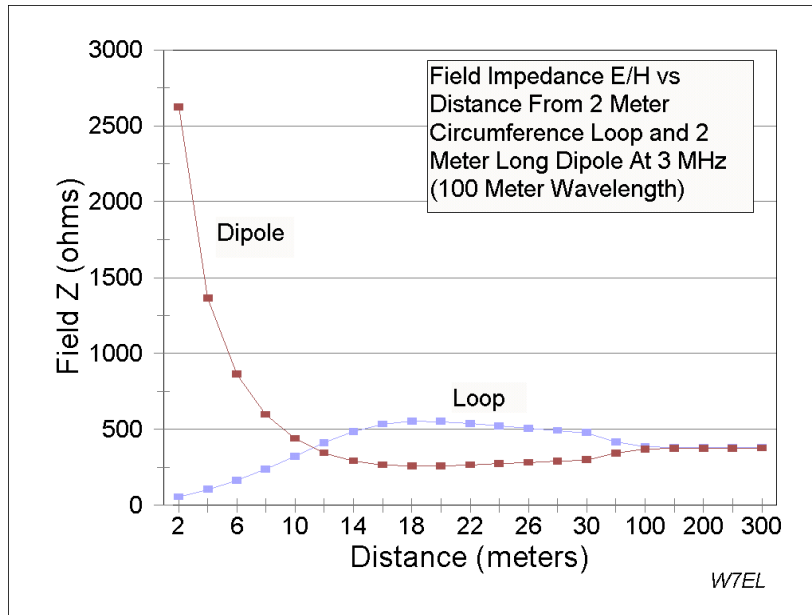
3. Calculul este simplu și nu ține cont de directivitatea antenei sau posibile reflexii.

Este confirmată astfel particularitatea antenei magnetice care prezintă o impedanță de undă de valoare mică în regiunea de câmp reactiv și care crește rapid până la valoarea impedanței mediului chiar începând cu zona de câmp radiant apropiat. La o distanță oarecare față de antenă, chiar începând cu zona de câmp radiant apropiat, este imposibil de spus dacă antena care a generat câmpul este magnetică, electrică scurtă (dipol foarte scurt) sau antenă obișnuită.

Sunt prezentate trei grafice, din trei surse diferite, care prezintă evoluția impedanței de undă  $|Z_w|=E/H$  în zona de câmp reactiv apropiat și graficul determinat pentru antena analizată. Evoluția lui  $|Z_w|$ , impedanța de undă, este practic identică cu cea preconizată ceea ce confirmă corectitudinea determinărilor.

Din cartea lui Florin Crețu "RADIOTEHNICĂ Teoretică și Practică" pag.17

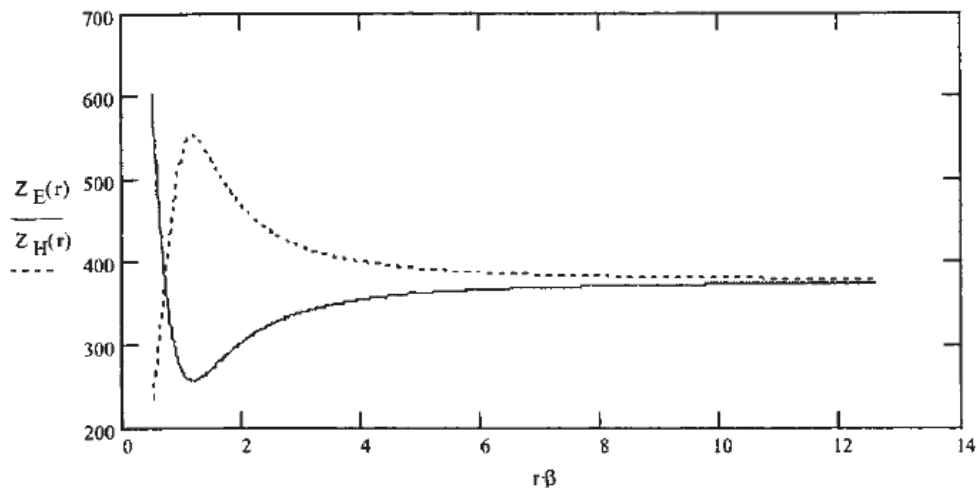




$$\lambda := 10 \quad j := \sqrt{-1} \quad \eta_0 := 377 \quad \beta := 2 \frac{\pi}{\lambda}$$

$$r := 0.80, .82..20$$

$$Z_E(r) := \frac{\eta_0 \left[ 1 + \frac{1}{j \cdot \beta \cdot r} + \frac{1}{(j \cdot \beta \cdot r)^2} \right]}{\left( 1 + \frac{1}{j \cdot \beta \cdot r} \right)} \quad Z_H(r) := \eta_0 \frac{\left( 1 + \frac{1}{j \cdot \beta \cdot r} \right)}{\left[ 1 + \frac{1}{j \cdot \beta \cdot r} + \frac{1}{(j \cdot \beta \cdot r)^2} \right]}$$

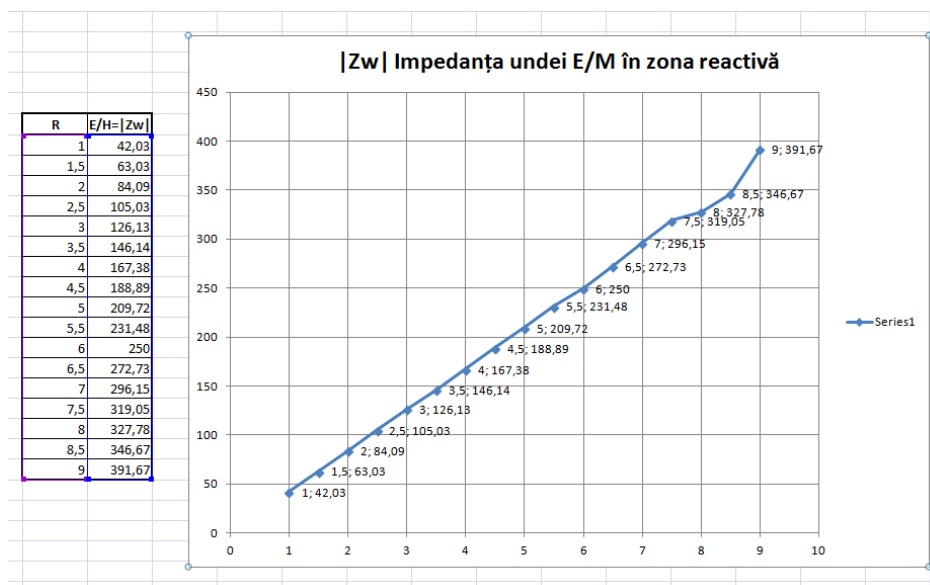


### Equations and impedance plots describe elemental dipole and loop antennas.

Din articolul versiunea .pdf - Charles Capps, Delphi Automotive Systems – „Near field or far field?”

<http://www.edn.com/design/communications-networking/4340588/Near-field-or-far-field->

În graficul alăturat se prezintă evoluția impedanței de undă  $|Z_w|=E/H$  [ $\Omega$ ], funcție de distanță, în zona de câmp reactiv, pentru antena magnetică analizată în material. Distanța față de antenă este dată în metrii.



### Valori limită admisibile pentru radiațiile electromagnetice E și H.

Pentru ecartul de frecvențe în care se încadrează beștile de amator valorile admisibile limită pentru câmpurile de radiații H și E în normele din România și diferite state se prezintă astfel:

Tara	Frecvența f [MHz]	E [V/m]	H [A/m]	B [ $\mu$ T]	S [ $w/m^2$ ]
România HG1136/2006	1 - 10	610/f	1,6/f	2/f	-
	10 - 400	61	0,16	0,2	10
Europa	1 - 10	$87/f^{1/2}$	$0,73/f$	$0,92/f$	-
	10 - 400	28	0,073	0,092	2
SUA	1,34 - 30	824/f	2,19/f	-	$180/f^2$ [ $mW/cm^2$ ]
	30 - 300	27,5	0,073	-	0,2
Canada	1 - 10	280/f	2,19/f	-	-
	10 - 30	28	2,19/f	-	-

În continuare prezentăm valorile limită pentru E și H la frecvențele benzilor de amator determinate conform standardelor din diferite țări.

Frecvența	România	Europa	USA	Canada
7	87,1	32,9	117	40
10	61	28	82,4	28
14	61	28	58,8	28
18	61	28	45,7	28
21	61	28	39,2	28
24	61	28	34,3	28
28	61	28	29,4	28
Valorile pentru câmpul electric E [V/m]				

Frecvența	România	Europa	USA	Canada
7	0,23	0,10	0,31	0,31
10	0,16	0,073	0,22	0,22
14	0,16	0,073	0,16	0,16
18	0,16	0,073	0,12	0,12
21	0,16	0,073	0,10	0,10
24	0,16	0,073	0,09	0,09
28	0,16	0,073	0,08	0,08
Valorile pentru câmpul magnetic H [A/m]				



În anexa .pdf sunt date tabelele complete cu prevederile din standardele cu valorile limită pentru radiații. Sunt de asemeni menționate în bibliografie standardele in extenso cu toate prevederile și procedurile de calcul aferente. O prevedere specială anexată tot în format .pdf se referă la prevederile din SUA în mod explicit pentru radioamatori care este deosebit de interesantă de lectură.

Se observă cu ușurință, dacă facem comparația între valorile obținute pentru antena analizată în material de:  $D=2m$ , cupru 22mm,  $I=18A$ , la 100 watt input cu un  $\eta=59\%$  la care pentru distanța de 4,5m în spațiul liber am obținut  $E=18,7 V/m$  iar  $H=0,099 A/m$ , că aceasta se încadrează practic în toate standardele expuse. Mărind neesențial distanța și ținând cont de amplasare, pereți și alte obstacole precum și de orientarea antenei valorile pot fi chiar mai scăzute decât cele calculate.

Nimeni nu contestă faptul că trăim într-un „ocean” de radiații electromagnetice dar ponderea diverselor manifestări este diferită. Eventualele efectele nocive se manifestă în primul rând în zona reactivă însă funcție de puterea radiată de emițător. Câteva considerații comparative pot fi utile în aprecierea gradului de pericolozitate al radiației antenei magnetice:

- Cu toate că există aparatură de măsură și control a radiațiilor nu am auzit pe nimeni să fi făcut în YO măsurători de câmp pentru stațiile de radioamator. Se poate semnala cu această ocazie o documentare deosebită în acest sens din: <http://camp-electromagnetic.infarom.ro/index.html>
- Radiațiile de vară, din gama radiațiilor electromagnetice absorbite de cei care fac plajă la mare până când li se înroșește pielea, nu sunt cumva mai nocive? Nu cumva doza de radiații primită la o radiografie este mai mare decât toată activitatea unui radioamator? Bine înțeles aici nu trebuie să confundăm radiațiile ionizante, gen UV sau X, cu radiațiile electromagnetice de frecvențe joase. Radiațiile ionizante au în mod cert efect nociv clar (cunoscut de multă vreme) și efectul acestora este cumulativ în timp. Pentru radiațiile electromagnetice de joasă frecvență efectul cumulativ nu a fost încă dovedit.
- Efectul radiațiilor electromagnetice RF, deși studiat de mulți ani, încă nu este cunoscut complet și rezultatele multor studii sunt contradictorii (în multe cazuri funcție de cine le face și cine platește...), chestie de interes.
- 20 de ani de telefonie celulară și expunerea pe durate scurte, nu au produs efecte negative certe. Sunt câteva miliarde de utilizatori.... Radiațiile telefonului mobil pus la ureche sunt exact cele din câmpul reactiv apropiat.
- Activitatea radioamatorilor la stație este temporară, pe durate limitate și nu se poate compara cu o activitate profesională în domeniul radio. În prezentul material au fost luate în considerare cele mai restrictive valori ale normelor de radiație din diverse țări pentru neprofesioniști, populație. Cele mai restrictive fiind cele din UE.
- Amplasarea oricărei antene, nu numai a antenelor magnetice, se face cât mai degajat pentru a obține performanțe maxime. În acest sens o antenă magnetică se poate instala în afara balconului, în consolă la cca.  $2 \div 3m$  de balustradă sau pe o terasă, la  $4 \div 6m$  de sol în grădină sau în curte. Instalarea ideală necesită montarea antenei în așa fel încât în zona reactivă să nu avem nici pământul nici alte obiecte metalice... ceea ce este uneori dificil la o antenă magnetică în condiții citadine.
- Amplasarea și operarea emițătorului poate fi făcută de la o distanță convenabilă din afara zonei reactive, care după cum am văzut din calcule este destul de mică, de exemplu din partea opusă terasei sau balconului.
- Un exemplu pentru două antene magnetice folosite pentru lucrul cu puteri mari (1,5kW) instalate corespunzător se pot vedea la conaționalul nostru Cristian Păun WV6N (ex. YO3FMY) în QST noiembrie 2011 pag. 35 ÷ 37 sau mai bine în <http://www.qrz.com/db/WV6N> . Pentru doritori pot pune la dispoziție o copie a acestui articol.
- Pentru liniștea personală a celor care sunt îngrijorați de efectele câmpurilor electromagnetice ale unei antene magnetice și pentru toți cei care doresc să verifice valorile lui E și H pentru o anumită frecvență și putere, la o anumită distanță de antenă a fost elaborat o foaie de calcul EXCEL pentru determinarea acestora și compararea cu cele mai restrictive norme locale și internaționale.
- Regulile de utilizare pentru foaia de calcul a parametrilor E, H, S și a limitelor admisibile sunt următoarele:
  - Deschideți foaia și alegeți valorile de intrare pentru f, D, d și P ale antenei.
  - Verificați dacă antena s-a încadrat cu perimetrul în limitele valorilor  $1/8\lambda < p < 1/4\lambda$
  - Calculul se face automat pentru toți parametrii constructivi și de funcționare după fiecare Enter la valorile alese care se pot schimba la alegere.

- În primul tabel din dreapta datelor de calcul pentru antena magnetică aleasă, din foaia Excel, se determină toate valorile dimensionale și cantitative din zona de câmp reactiv, inclusiv valorile maxime ale lui H și E.
- Cel de al doilea tabel, din dreapta, determină atenuarea parametrilor E, H și S funcție de distanța R de la marginea spirei magnetice.
- Funcție de valorile limită pentru E și H prevăzute de norme, din cel de al treilea tabel, se alege din tabelul 2 prima valoare atenuată sub cea prevăzută de norme pentru banda respectivă și se citește în prima coloană a tabelului 2 distanța admisibilă minimă de funcționare.

#### **Unele concluzii.**

- Nu în ultimul rând trebuie să-i mulțumesc lui Florin YO8CRZ care și-a făcut timp și a lecturat „draft”-ul acestei intervenții și a venit cu sfaturi și recomandări în vederea realizării consistenței și aprecierii corectitudinii celor afirmate și a valorilor determinate în conținutul articolului.
- O antenă magnetică își manifestă proprietățile preponderent magnetice ale câmpului H numai în regiunea câmpului reactiv apropiat.
- În afara câmpului reactiv apropiat o antenă magnetică nu se deosebește cu nimic de o antenă obișnuită. Dovada este că impedanța de câmp se stabilizează la valoarea impedanței mediului la cei 377 ohmi ca orice antenă electrică.
- Complexitatea fenomenelor radiațiilor electromagnetice de proximitate nu pot fi studiate și evaluate cu conceptele și formulele câmpurilor electromagnetice generate de curenți staționari (curent continuu) studiate în manualele de liceu. Ele se supun modelului radiațiilor electromagnetice sintetizate în formulele lui Maxwell, dezvoltate și analizate în seturi complexe de ecuații diferențiale care au putut să explice din ce în ce mai bine realitatea fenomenelor fizice. Pe aceste baze s-au construit și programele de simulare (din familia NEC). A se revedea cursul de fizică BERKELEY vol II Electricitate și Magnetism pag.279 – 234 precum și vol. III UNDE.
- Chiar dacă valorile pentru E, H și S nu au fost determinate cu cel mai înalt grad gradul de precizie, ordinul de mărime este cel just și face o prezentare cât mai aproape de fenomenul fizic.
- Pe Internet există și un grup de discuții specializat pentru antene magnetice <https://groups.yahoo.com/neo/groups/MagLoop/info>
- În modurile de radicomunicații digitale ale radioamatorilor puterile utilizate sunt de regulă mici (sub 100 watt) iar antenele magnetice sunt o bună cale de rezolvare pentru continuarea activității în lipsa unor alte soluții.
- Cred că trebuie încheiat pe o nota optimistă, care să îndemne la prudență însa în același timp să nu cădem în extrema cealaltă când o antenă aflată la 100 de metri este considerată un pericol major. Există mult folclor în domeniu, însă deocamdată în vigoare sunt normele menționate.

#### **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. Orphanidis – “Electromagnetic Waves and Antennas” 14.7 Radiation Fields.
4. Charles Capps, Delphi Automotive Systems – „Near field or far field?”
5. ARRL HandBook ed.2008 pag. 3.16 – 3.19 FCC RF Exposure Regulations.
6. ARRL Antenna Book ed.18.
7. Norme generale de protecția muncii 2002, Anexa76 pag.473-474.
8. Official Journal of the European Communities L199/59 Council Recommendation of 12 July 1999 – (1999/519/EC) – Annex III – reference Levels pag.66.
9. Limit of Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields in the frequency Range from 3kHz to 300GHz – Canada Table 5 pag.18-19.
10. Alte referințe sunt făcute direct în text.

#### **Anexe:**

1. Materialul prezentat în format .pdf.
2. Extras din NORME cu tabelele complete cu valori limită pentru câmpurile electromagnetice.
3. Material FCC SUA dedicat radioamatorilor “Additional Information for amateur Radio Stations”.
4. Charles Capps, Delphi Automotive Systems – „Near field or far field?”
5. Două foi EXCEL 2003/2007 pentru calculul unei antene magnetice circulare în bezile 7 – 28 MHz.
6. Două foi EXCEL 2003/2007 pentru calculul valorilor E, H, S și distanțe R în limitele admisibile de câmp.
7. Sinteza formulelor pentru calculul E, H, S în regiunea de câmp radiant. (conform [1] din bibliografie)