

ANTENE SCURTATE

Gheorghe OPROESCU - Tavi, YO4BKM

Există sute de modele de antene scurtate, fie produse de firme, fie descrise în cărți, reviste sau pe diferite saitari, toate oferind cele mai îmbietoare caracteristici, dar nu am văzut o modelare a lor la îndemâna tuturor. Destul de recenta postare pe forum a topicului "Simularea unei antene" de YO3AOE care solicita o modelare la antenele scurtate, răspunsul pe care i l-am dat precum și problemele legate de folosirea antenelor scurtate m-au determinat să scriu acest articol care oferă elemente de principiu de care trebuie să se țină cont de câte ori se pune problema folosirii unei antene scurtate. Mai ales în ce privește randamentul și adaptarea, două noțiuni diferite care se confundă adesea.

1. Din nou întrebarea: ce este o antenă?

Am expus detaliat în <http://radioamator.ro/articole/view.php?id=883> ce este o antenă. Pentru ce ne interesează aici precizez doar că antena este un dispozitiv care "varsă" sau "toarnă" energia de radiofrecvență produsă de emițător într-un anumit mediu în care este plasată. Cea mai bună comparație a antenei o consider cu o pâlnie prin care turnăm un lichid dintr-un vas (emițătorul) în alt vas (mediul), în care antena (pâlnia) trebuie să asigure transferul de energie (lichidul) cu o anumită putere (debitul) cu pierderi (stropi, revărsări) cât mai mici. Apar astfel probleme de adaptare și de pierderi dacă pâlnia nu se adaptează bine la cele două elemente, fie are gura prea mică și lichidul mai curge pe alături, fie are gâtul prea mic și lichidul curge greu etc. Mai trebuie considerat și faptul că nu antena consumă energie de la emițător ci mediul, așa cum nu pâlnia consumă lichidul ci unul din vase. Antena nu face decât să transfere energia funcție de modul cum se "cuplează" la cele două medii și de caracteristicile proprii. Dar, deoarece spre ea pleacă energia emițătorului, se poate considera convențional și pentru a explica mai ușor ce se întâmplă, că antena se comportă ca un consumator.

2. Rezistența de radiație, rezistența de pierderi, randamentul unei antene orizontale.

În domeniul electric consumatorul activ (sau disipativ, cel care folosește la ceva util energia primită, spre deosebire de consumatorul reactiv sau conservativ care, în mod alternativ primește și trimite înapoi energia fără să o transforme în nimic) se caracterizează printr-o mărime fizică numită rezistență, deoarece numai pe o rezistență se poate disipa energie conform cunoscutelor legi din electrotehnică. Antena, care transferă energie către mediu, este văzută de emițător ca un consumator mixt: atât activ, cât și reactiv, posedând atât rezistență cât și reactanță. De la bun început nu iau în considerare reactanța, ea nu intră în expresia randamentului și poate fi făcută nulă pentru orice fel de antenă, cu orice lungime, folosind elemente de compensare întocmai ca la rețelele de alimentare cu energie electrică unde se folosesc compensatoare pentru factorul de putere. Voi analiza doar componenta activă, aceasta are rolul hotărâtor în bilanțul energetic și în traficul radio. Componenta activă are și ea două părți: o rezistență de radiație R_{Rad} care transformă energia electrică de radiofrecvență în energie a undelor de câmp electromagnetic și o rezistență de pierderi R_P care transformă ireversibil energia electrică de radiofrecvență în căldură prin efect Joule. Rezistența de radiație se definește acolo unde curentul prin antenă este maxim și acest punct poate exista pe lungimea fizică a conductorului antenei sau în afara lui, după cum se va arăta mai jos. Randamentul unei antene rezultă împărțind rezistența de radiație la suma celor două, rezistența de radiație plus rezistența de pierderi. Este evident că randamentul este cu atât mai mare cu cât rezistența de radiație este mai mare iar rezistența de pierderi este mai mică. Rezistența de radiație depinde de dimensiunile antenei, de frecvență și de amplasarea ei, rezistența de pierderi depinde doar de dimensiunile antenei și de frecvență după relația

$$R_p = \frac{l}{\pi \cdot d} \sqrt{\pi \cdot \nu \cdot \mu \cdot \rho} \quad [\Omega] \quad (1)$$

unde l =lungimea conductorului în m, d =diametrul în m, ν = frecvența în Hz, μ = permeabilitatea absolută în H/m, ρ =rezistivitatea în Ωm . Permeabilitatea absolută se află din $\mu = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot \mu_r$, μ_r este permeabilitatea relativă a materialului din conductor. Pentru cupru relația (1) devine $R_p = 0,082 \frac{l}{d} \sqrt{\nu}$, pentru aluminiu $R_p = 0,104 \frac{l}{d} \sqrt{\nu}$ unde, de data asta l este în m, d este în mm, ν este în MHz.

Rezistența de radiație se calculează mai greu, de aceea voi prezenta valorile acesteia calculate deja pentru diferite situații concrete. Înainte de asta trebuie să precizez că rezistența de radiație a unei antene se compune din însumarea algebrică a altor două rezistențe: una proprie antenei, ca și cum ar fi plasată departe de orice alt obiect (antena izolată) și care depinde doar de dimensiunile ei și de frecvența de lucru și o a doua rezistență, care aparține antenei imagine din sol (sau din orice mediu bun conducător de electricitate care are o întindere suficientă, comparabilă cu dimensiunile antenei). Valorile rezistenței imaginii nu depind proporțional cu distanța dintre antenă și sol, variația lor fiind destul de complexă. Dar, cunoscută această valoare, la antene paralele cu solul rezistența imaginii se scade din cea a antenei propriuzise (unde sunt în antifază), la antenele verticale cele două rezistențe se adună (unde sunt în fază).

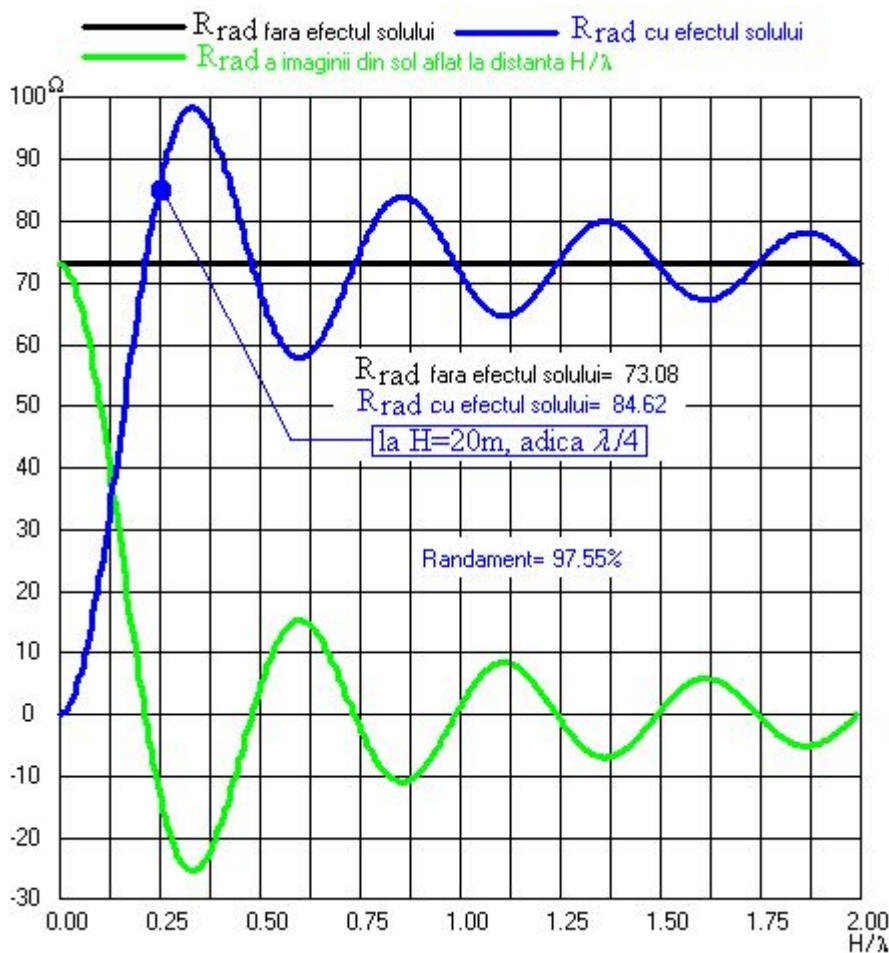


Figura 1. Dipol în semiundă, variația rezistenței de radiație

Pentru a se înțelege mai bine lucrurile prezint în figura 1 comportarea unui dipol clasic, în semiundă (din cupru, lung de 40,513 m, diametrul conductorului 3mm, frecvența de lucru 3,7

MHz), așezat orizontal la diferite înălțimi. Rezultatele sunt obținute cu un soft propriu. Trebuie precizat că adaptorul de antenă nu modifică rezistențele de radiație sau de pierderi ale antenei, deci nu influențează randamentul ci doar face ca puterea emițătorului să se transfere cât mai complet către antenă (emițătorul să lucreze la putere maximă). Efectul adaptării se controlează ușor cu ajutorul SWR-metrului și, odată realizată adaptarea pentru reflectate nule sau minime, nu mai interesează acest aspect, singurul motiv al ineficienței emițătorului rămâne doar randamentul antenei. Se remarcă randamentul destul de ridicat la înălțimi mari ale antenei unde rezistența de radiație este mare în comparație cu rezistența de pierderi de cca 2,13 Ω. Dacă ar fi fost suspendată la o înălțime de 3 m (înălțimea unei frânghii de rufe) rezistența de radiație ar fi devenit de 3,2 Ω și randamentul 60%, la 1 m înălțime rezistența de radiație devine 0,36 Ω iar randamentul 14%.

Să vedem acum ce se întâmplă la aceeași frecvență cu un dipol orizontal de numai 6 m lungime, alimentat simetric. Rezistența de pierderi este de 0,315 Ω. Folosind softul de modelare se obține că la 3 m înălțime rezistența de radiație devine 0,0025 Ω iar randamentul 0,78%. La 6 m înălțime rezistența de radiație devine 0,0096 Ω iar randamentul cca 3%. Aproape toată puterea emițătorului încălzește antena, cu atât mai eficient cu cât adaptarea este mai bună, dar și adaptarea se face greu. Dacă la dipolul în semiundă reactanțele sunt de maxim zeci de Ohm, în cazul de față componentele reactive ajung la sute de Ohm capacitiv, acestea trebuind să fie compensate cu inductanțe sau cu adaptoare mai sofisticate.

Dacă în loc de dipol cu lungimea de 6 m alimentat simetric s-ar fi folosit o alimentare asimetrică, numai la unul din capete (un monopol, de fapt o antenă fir lung scurtată) rezistența de radiație a radiantului lung de 6 m ar fi fost de cca 0,0192 Ω la 3 m înălțime și 0,0742 Ω la 6 m înălțime față de sol, randamentele fiind de 5,7% respectiv de 19%, așadar mult mai bune. Crescând lungimea firului la 20 m, rezistența de pierderi crește la 1,05 Ω, rezistența de radiație devine cca 1,54 Ω la 3 m înălțime și 5,95 Ω la 6 m înălțime. Se obțin randamente de cca 60%, respectiv 85%. Componentele reactive sunt sub 20 Ω inductiv (antena prea lungă față de sfertul de undă, pentru reactanță nulă ar fi trebuit să aibe lungimea de 19,75---19,8 m, apare efectul de scurtare dependent de diametrul conductorului).

Iată deci soluția: o sârmă de 19---20 m care devine o antenă destul de bună între două bețe chiar la numai 3 m înălțime, cu un randament de 60%. Fiind asemenea unei antene LW, se alimentează direct de la adaptorul de antenă (orice cablu de alimentare complică adaptările), este un fir care radiază chiar de la emițător sau de la adaptor. Această antenă scurtată prezintă însă rezistențe foarte mici de alimentare, practic ele sunt egale cu rezistența de radiație, necesitând intercalarea între adaptorul de antenă și antenă a unui transformator ridicător de impedanță. Cel mai potrivit ar fi două transformatoare 1:4 înseriate sau un transformator 1:9.

Pe banda de 7 MHz firul de 20 m prezintă o impedanță de alimentare foarte mare (la capetele sale se formează noduri de curent) dar poate fi ori scurtat la 10 m, ori transformat într-o antenă VS1AA (eventual Windom) de 20 m lungime alimentată la o anumită distanță față de unul din capete, în care caz va lucra, în principiu, pe toate frecvențele superioare lui 7 MHz.

În tabelele următoare sunt prezentate caracteristicile unor antene fir lung orizontale precum și ale unei antene Windom, modelate cu softuri proprii.

Tabelul 1. Fir lung de 20 m (alimentat direct de la adaptorul de antenă), frecvența de 3,7 MHz.
Cifrele reprezintă, în ordine: randamentul, rezistența de alimentare, reactanța de alimentare.

	H=3 m	H=5 m	H=6 m
d=1 mm	32,8%; 1,5Ω; 6,4Ω	57,0%; 4,2Ω; 13,5Ω	65,3%; 5,9Ω; 16,8Ω
d=2 mm	49,4%; 1,5Ω; 6,4Ω	72,7%; 4,2Ω; 13,5Ω	79,0%; 5,9Ω; 16,8Ω
d=3 mm	59,4%; 1,5Ω; 6,3Ω	80,0%; 4,2Ω; 13,5Ω	85,0%; 5,9Ω; 16,8Ω

Cât privește antenele Windom pentru 7 MHz sau mai sus, datele se prezintă în tabelul 2, unde nu am mai indicat randamentul care este peste 90%. Prezint acest lucru și pentru a demola niște legende care spun că adaptarea unei antene Windom se face cu transformator de impedanță, care depinde de înălțimea antenei (afirmație corectă), dar care este același pentru toate benzile (afirmație incorectă). Nu numai datele de mai sus arată acest lucru ci și practica observată de autor la exploatarea unei antene Windom de peste 8 ani. Făcând modelări cu condiții concrete de amplasare (conductibilitate sol, vecinătăți) se poate găsi o combinație între lungime, punct de alimentare, înălțime, distanță de vecinătăți care să o facă relativ insensibilă la schimbarea benzilor, numai că o astfel de combinație este mai rară decât un loz câștigător și nu beneficiază pretutindeni de aceleași condiții.

Tabelul 2. Antena Windom, fir lung de 20 m, diametrul de 2mm, alimentat la 4 m.

Cifrele reprezintă, în ordine: rezistența de alimentare, reactanța de alimentare.

	H=3 m	H=5 m	H=6 m
7,1 MHz	31 Ω ; -181 Ω	79 Ω ; -128 Ω	108 Ω ; -111 Ω
10,12 MHz	86 Ω ; 1171 Ω	203 Ω ; 1247 Ω	261 Ω ; 1250 Ω
14,25 MHz	143 Ω ; 470 Ω	285 Ω ; 465 Ω	324 Ω ; 416 Ω
18,12 MHz	107 Ω ; -425 Ω	166 Ω ; -480 Ω	160 Ω ; -512 Ω
21,3 MHz	75 Ω ; -203 Ω	111 Ω ; -236 Ω	106 Ω ; -252 Ω
24,94 MHz	230 Ω ; 890 Ω	318 Ω ; 783 Ω	292 Ω ; 736 Ω
28,5 MHz	688 Ω ; 1234 Ω	690 Ω ; 887 Ω	546 Ω ; 978 Ω

Pentru lucrul în portabil la frecvențele superioare celor 7 MHz se pretează antene verticale întregi (cea mai simplă și ieftină fiind antena Marconi, în sfert de undă, pusă la sol), care de la 14 MHz în sus au sub 5 m lungime. O construcție telescopabilă face posibilă acordarea lor astfel ca pe orice frecvență să prezinte impedanța de 36 Ω activi și 0 Ω reactivi. O construcție de genul cu contragreutăți înclinate (triple-leg) este complicată deoarece necesită și acordarea contragreutăților.

3. Antene verticale scurtate.

Antenele verticale "întregi" au o rezistență de radiație mai mică decât cele orizontale și, ca urmare, un randament mai prost. Scurtarea lor deteriorează și mai mult randamentul. Dacă la antena orizontală de 6 m pe frecvența de 3,7 MHz randamentul poate ajunge la aproape 20%, la antenele verticale este cel mult jumătate. Și asta nu din cauza nedaptării, ci din cauza rezistenței de radiație foarte reduse. Niciun sistem de adaptare cu bobine, trans-match, contragreutăți, nu face altceva decât să aducă impedanța antenei la valori apropiate de valoarea pe care debitează emițătorul, dar nu va modifica raportul dintre rezistența de radiație și rezistența proprie exact acolo unde energia electrică se disipă pe energie de câmp și energie termică, adică la antenă. În scopul ușurării adaptării se practică "lungirea artificială" a antenei, de fapt o compensare a reactanței acesteia. O antenă scurtată are o reactanță capacitivă (valori negative) care trebuie anulată cu o bobină care are reactanța pozitivă, egală cu modulul reactanței antenei. Așa se formează impresia că o bobină la baza antenei lungeste antena, de fapt anulează efectul capacitiv al scurtării. Bobina se așează la baza antenei unde, din întâmplare, curentul prin antenă este maxim, fiind maxim și efectul de "lungire". Plasând-o altundeva pe lungimea antenei bobina va avea nevoie de mai multe spire, deoarece curentul scade spre vârf. De fapt bobina lungeste, în acest caz, numai porțiunea care se află între ea și vârful antenei care, fiind mai scurtă decât antena, va avea nevoie de o inductanță mai mare. Așadar explicații diferite ale aceluiași fenomen: o inductanță "lungeste" o antenă iar eficacitatea este maximă dacă este pusă unde curentul este maxim. Dar nu numai inductanțele

pot face acest lucru. O antenă verticală scurtată poate fi lungită și cu o capacitate, plasată în punctul de tensiune maximă (curent nul), adică la vârful antenei. Această capacitate numită capacitate terminală se poate realiza plasând în vârf un număr de spițe dispuse orizontal (ideal ar fi un disc), care crează o capacitate cu pământul. Problema dimensionării acestei capacități este foarte complicată și nicio sursă din cele consultate nu oferă un model de calcul, deși descriu în detaliu antene cu capacitate terminală. Ce se știe cu siguranță este că o capacitate terminală mai are și efectul de a mări impedanța de radiație a antenei, deci îmbunătățește randamentul, ceea ce nu se poate spune că face bobina de la baza antenei. Din aceste motive capacități terminale se pun și la antene nescurtate, cum ar fi antenele în $\lambda/4$ sau $5\lambda/8$.

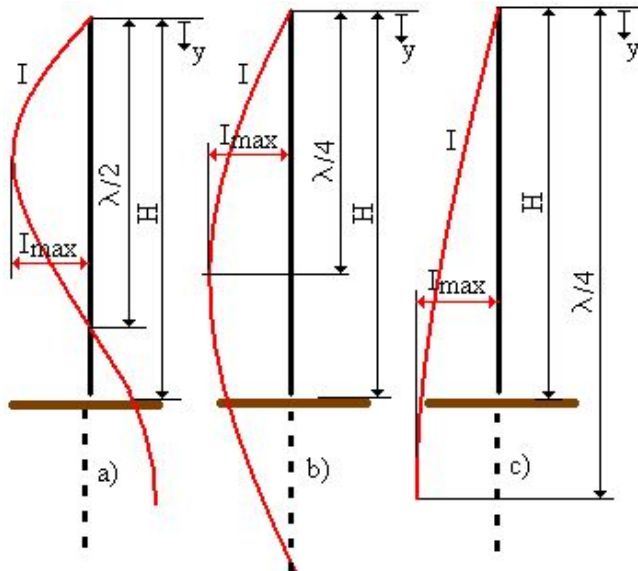


Figura 2. Distribuția curentului în antene verticale

Pentru a înțelege cum funcționează o capacitate terminală arăt în figura 2 distribuția curentului printr-o antenă simplă, fără capacitate terminală iar în figura 3 cum influențează capacitatea terminală distribuția curentului dacă antena se scurtează.

În figuri este reprezentată distribuția convențională a curentului, adoptată pentru a se explica fenomenul fizic, distribuția reală fiind alta și mai derutantă.

Este evident că la vârful antenei curentul este nul, $I=0$. Luând acest punct ca origine pentru coordonata rectilinie y , curentul în lungul antenei va avea expresia:

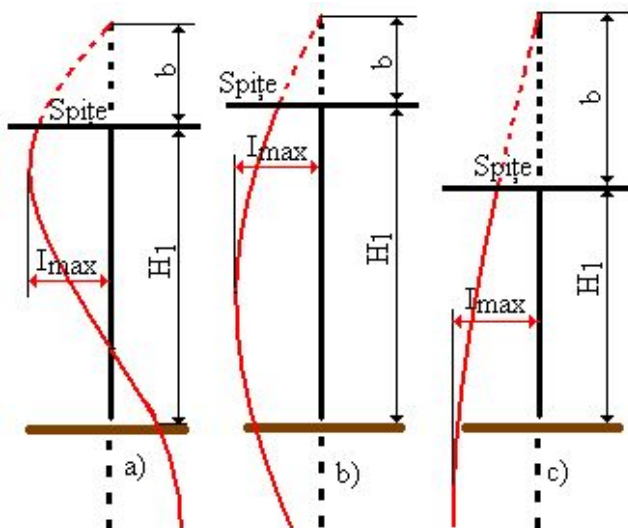


Figura 3. Antenele din figura 2, scurtate și cu capacitate terminală.

$$I = I_{max} \sin\left(2 \cdot \pi \frac{y}{\lambda}\right) \quad (2)$$

unde sinusul se calculează pentru valorile unghiurilor setate în radiani.

Chiar dacă antena este mai scurtă de un sfert de undă (figura 2.c) există un curent maxim în imaginea antenei din pământ, așa cum și în cazurile din figura 2.a) sau 2.b) curentul se "prelungeste" în imaginea din pământ. Scurtând oricare din antenele arătate în figura 2 distribuția curentului se va modifica, punctul de curent nul va exista la vârful coborât al antenei iar cel de curent maxim se va apropia mai mult de pământ sau va intra mai adânc

în acesta, dar poate să rămână și la fel dacă, prin adăugarea unei capacități terminale la vârf, se face ca aici să nu mai fie un curent nul (cum apare în orice vârf de antenă), ci va avea o valoare nenulă, figura 3. Prelungind imaginar distribuția sinusoidală a curentului deasupra scurtării, până la anularea lui, se realizează o "prelungire" a antenei.

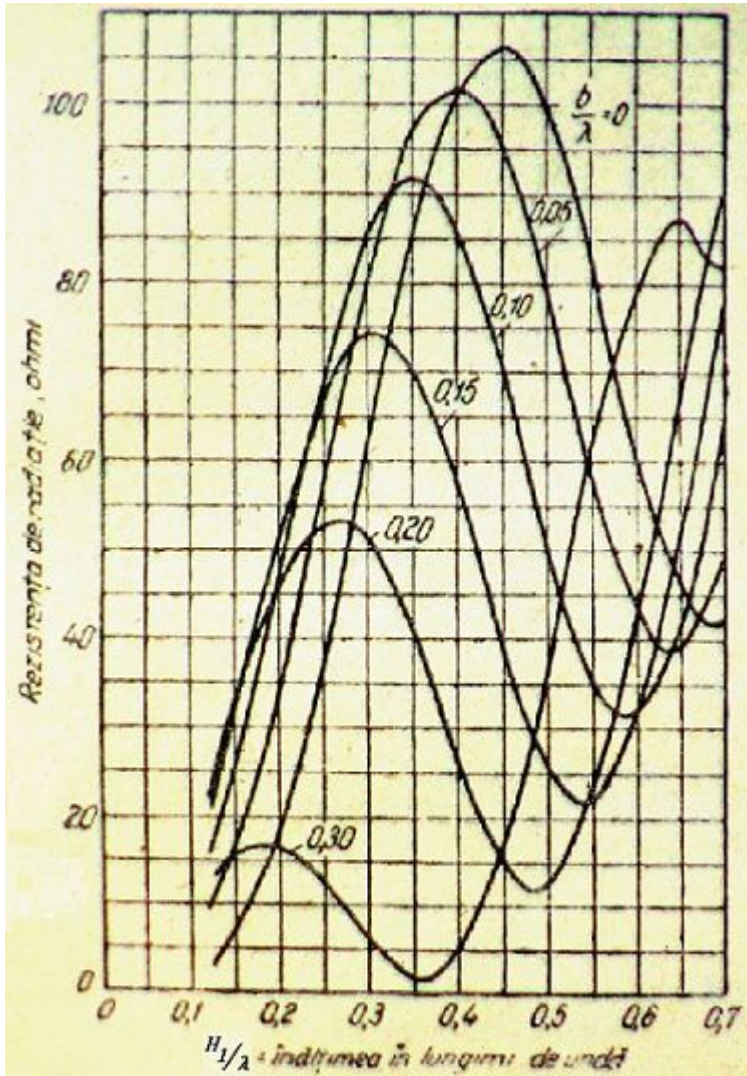


Figura 4. Reziștențe de radiație la antene verticale

radiația este destul de constantă pe lungimea antenei. Se mai acceptă ca fiind nesemnificativă energia radiată de curenții orizontali, deci la intrarea curentului în spițe nu există rezistență de radiație ci numai reactanță capacitivă. Porțiune verticală radiază și este caracterizată de o rezistență de radiație care se află din figura 4 [3]. Astfel, din condiții de amplasare se determină H_1 , din condiții de impedanță se determină b . Pentru a fi mai concret în prezentare, voi trece direct la alegerea valorilor pentru banda de 80 m, dar anunț că vor apare surprize. Având interesul ca antena să fie cât mai puțin înaltă, din diagramă nu pot alege decât valoarea minimă $H_1 = 0,12 \cdot \lambda$, adică 9,6m. La această înălțime, fără capacitate terminală (curba cu $b/\lambda=0$) antena are o rezistență de radiație de cca 3 Ω , ceea ce duce la un randament scăzut. Prelungind-o artificial cu o capacitate terminală, tot din figura 4 se obține că pentru $b=16$ m (curba cu $b/\lambda=0,2$) rezistența de radiație va avea cea mai mare valoare, de cca 22 Ω . Așadar o astfel de antenă este similară cu o antenă nescurtată ($b=0$) cu înălțimea de 25,6m ($0,32\lambda$), numai că în loc să aibe o rezistență de radiație de cca 68 Ω (figura 4 pentru $b/\lambda=0$, valoare excelentă pentru randament!) are numai 22 Ω (destul de acceptabilă). Și asta cu efortul de a monta un catarg de 9,6 m, ancore, spițe la înălțime etc. Scurtând-o la lungimi sub 9,6 m, fără capacitate terminală rezistența de radiație scade sub 1 Ω și devine insuficientă pentru un randament acceptabil. Dar, de ce se zice că dau rezultate și antenele scurtate excesiv? Cred că sunt două explicații: o schemă pretențioasă și sensibilă pentru adaptarea infime rezistențe de

Scurtarea se face cu o valoare b , impusă de particularitățile de montaj, transport, funcționare, reducând înălțimea antenei de la H la H_1 . În lipsa unui model de calcul în literatura consultată pentru capacitatea terminală, încerc să dezvolt eu unul.

În primul rând, din considerente de instalare și funcționare sunt impuse valorile H_1 și b .

Curentul care trebuie asigurat prin capacitatea terminală este cel la care $y=b$, adică

$$I_l = I_{max} \sin\left(2 \cdot \pi \frac{b}{\lambda}\right) \quad (3)$$

Antena fiind destul de scurtă se acceptă de toți autorii de specialitate consultați (treceți la bibliografie) că energia radiată în lungul antenei este aproximativ constantă, deși în ralitate începând cu punctul de alimentare spre vârf se consumă din energie prin radiație, numai că la lungimi mai mici de o semiundă

alimentare la cei 50 Ω ai emițătorului și o putere suficient de mare la emițător astfel ca, cu tot randamentul scăzut, să ajungă ceva și în eter. Precum antenele MicroVert, magnetice etc care, nu știu cum se întâmplă, dar funcționează bine numai la alții și nu este numai părerea mea. Dar, să continui dimensionarea antenei. Curentul I_{max} se poate afla din puterea debitată în antenă care este:

$$P = \frac{R_{rad} \cdot I_{max}^2}{2} \Rightarrow I_{max} = \sqrt{\frac{2 \cdot P}{R_{rad}}} \quad (4)$$

Se face împărțirea la 2 în formula puterii deoarece se ia în calcul puterea radiată în câmp electric, existând și o putere identică radiată în câmpul magnetic. Din (3) se află curentul I_1 în punctul unde se leagă spițele

$$I_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot P}{R_{rad}}} \sin\left(2 \cdot \pi \frac{b}{\lambda}\right) \quad (5)$$

În punctul de curent maxim există o tensiune minimă U_{min} care se află tot din formula puterii

$$P = \frac{U_{min}^2}{2 \cdot R_{rad}} \Rightarrow U_{min} = \sqrt{2 \cdot P \cdot R_{rad}} \quad (6)$$

Am arătat că energia - deci și puterea - sunt constante pe lungimea antenei, astfel încât

$$P = \frac{I_{max} \cdot U_{min}}{2} = \frac{I_1 \cdot U_1}{2} \Rightarrow U_1 = \frac{I_{max} \cdot U_{min}}{I_1} = \frac{\sqrt{2 \cdot P \cdot R_{rad}}}{\sin\left(2 \cdot \pi \frac{b}{\lambda}\right)} \quad (7)$$

Reactanța capacitivă X_C a capacității terminale rezultă din condiția de a asigura un curent I_1

$$X_C = \frac{U_1}{I_1} = \frac{R_{rad}}{\sin^2\left(2 \cdot \pi \frac{b}{\lambda}\right)} \quad (8)$$

de unde se află valoarea capacității

$$C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \nu \cdot X_C} \quad (9)$$

La un conductor orizontal capacitatea este dată de

$$C = \frac{24,16 \cdot l}{\log\left(\frac{4 \cdot H_1}{d}\right)} \quad [pF], \text{ dimensiunile în metri} \quad (10)$$

de unde, cunoscând sau impunând H_1 și diametrul conductorului d se află lungimea acestuia.

În cazul analizat rezultă $X_C=24,32 \Omega$, $C=1,77nF$. Alegând 20 spițe cu diametrul de 3 mm capacitatea unei spițe va fi de 88,5 pF de unde cu (10) se află lungimea lor, $l=15m$. Enorm, nu? Și de necrezut! Dar, hai să fac o comparație cu un exemplu concret, făcut de alții. În articolul [4] imediat sub figura 22 se prezintă o antenă pentru banda de 7 MHz care este scurtată la $H_1=5m$ ($0,125\lambda$) având 4 spițe cu diametrul de 6 mm și o lungime de 2,77m. În continuare rezultă, succesiv:

- Capacitatea unei spițe (formula (10)): $C = \frac{24,16 \cdot 2,77}{\log\left(\frac{4 \cdot 5}{0,006}\right)} = 19 \text{ pF}$

- Capacitatea terminală totală: $C_t = 19 \cdot 4 = 76 \text{ pF}$

- Reactanța terminală la 7 MHz $X_C = \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot \nu \cdot C}$, $X_C = \frac{10^{12}}{2 \cdot \pi \cdot 7000000 \cdot 76} = 299 \Omega$

Autorul articolului invocat arată că la baza antenei scurtate este nevoie de o sarcină (în articol scrie încărcare) de 282,2 Ω inductivi. Așa și trebuie să se întâmple, o antenă scurtată se lungește fie cu o bobină la bază (locul unde se alimentează), fie cu o capacitate la capătul opus. Reactanțele celor două elemente (bobină sau capacitate) sunt egale în modul. Dacă se compară cei 299 Ω obținuți de mine la capacitatea terminală cu cei 282,2 Ω arătați de autorul citat se vede o bună conformitate, mai ales că, după cum arată [2],[3] formula (10) poate da erori până la 10%.

În aceste condiții, aplicând (8) și luând $X_C = 299 \Omega$ se poate afla ce scurtare b s-a produs:

$$b = \frac{\lambda}{2 \cdot \pi} \cdot \arcsin\left(\sqrt{\frac{R_{rad}}{X_C}}\right) = \frac{40}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{36}{299}} = \frac{40}{2 \cdot \pi} \cdot 0,346 = 2,2 \text{ m } (0,055\lambda)$$

Consultând graficul din figura 4 pentru $H_1=0,125\lambda$ și $b=0,055\lambda$ (2,2 m) rezultă o rezistență de radiație a antenei scurtate și cu capacitate terminală la vârf de cca 11 Ω , care corespunde unui curent maxim aflat în afara antenei (sub capătul de jos). Rezistența la baza antenei, unde se face alimentarea, este:

$$R_{a\lim} = \frac{R_{rad}}{\sin^2\left(2 \cdot \pi \cdot \frac{H_1}{\lambda}\right)} = \frac{11}{0,5} = 22 \Omega$$

foarte apropiată de valoarea dată de autorul citat, care este 24,7 Ω . Iată că modelul dezvoltat de mine este destul de exact pentru simplitatea sa. Dar, ce se întâmplă cu antena descrisă de mine pentru 3,7 MHz, care are niște spițe enorme? Nimic deosebit, totul este normal. M-am "repezit" să fac cea mai drastică scurtare (respectiv o valoare $b=0,2\lambda$, de aproape 4 ori mai mult ca antena pe 7 MHz) și am neglijat că, pentru a aduce în parametri o asemenea scurtare enormă crește foarte mult reactanța care trebuie compensată, deci și capacitatea terminală, spițe multe lungi. Se vede că scurtarea antenei de 7 MHz este mai "rezonabilă" și, ca atare, mai fezabilă. Așadar o antenă verticală nu poate fi scurtată, practic, oricât dorim, din aceleași motive: dificultăți constructive. Convingerea mea este că antenele verticale scurtate reprezintă cel mai prost compromis în comparație cu antenele orizontale scurtate.

Notă. Pun la dispoziție oricui softurile proprii pentru modelarea antenelor dipol simetric, dipol asimetric (Windom), Long-wire, verticale. Se obțin impedanțele de radiație, randamentele, impedanțele de alimentare și diagramele de radiație în plan vertical sau orizontal pentru orice dimensiuni ale antenei (lungime, diametru, punct de alimentare) și amplasare. Doritorii trebuie să posede o adresă pe Yahoo (Yahoo transferă ușor fișiere executabile arhivate, celelalte browsere pun probleme) și să-mi trimită un E-Mail de solicitare la care să răspund cu Reply.

Bibliografie:

- [1] Orfanidis S.J. *Electromagnetic Waves & Antennas*, www.ece.rutgers.edu/~orfanidi/ewa 31 August 2010.
- [2] **Smirenin B.A.** *Manual de radiotehnică, vol. I*. Editura Energetică de Stat, 1953.
- [3] **Smirenin B.A.** *Manual de radiotehnică, vol. II*. Editura Energetică de Stat, 1954.
- [4] <http://www.radioamator.ro/articole/view.php?id=111>