

# COMPATIBILITATE ELECTROMAGNETICĂ

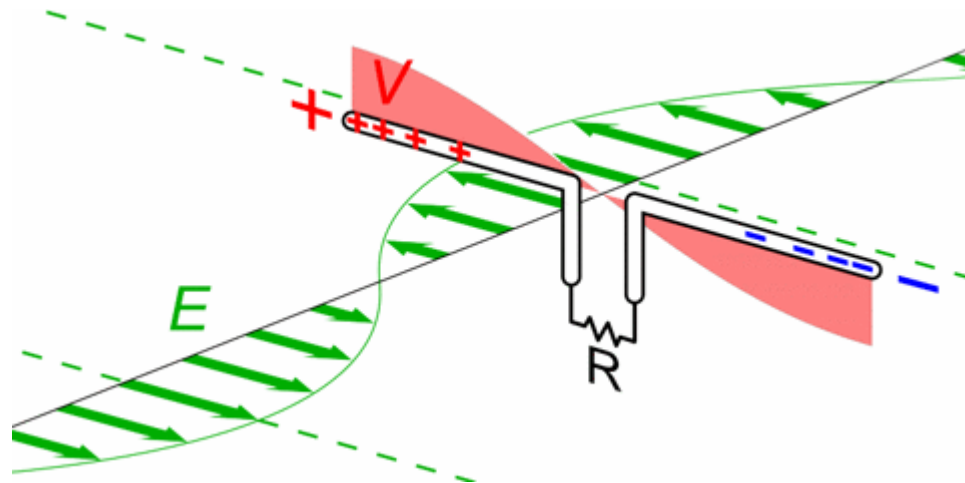
## Tema 3. ANTENELE

Antene de emisie. Antene de recepție ca senzor de câmp electric.



# Tipuri de cuplaje electromagnetice

O antenă este un dispozitiv electric ce transformă curenții electrici variabili în unde radio și invers. Aceasta este utilizată de obicei ca emițător, sau receptor radio. În transmisie, un emițător radio furnizează un curent electric variabil cu o frecvență din domeniul radio la bornele antenei, iar antena radiază energia curentului electric sub formă de unde electromagnetice (unde radio). La recepție, antena captează o parte din energia unei unde electromagnetice, pentru a produce o mică tensiune la terminalele sale. Aceasta se aplică unui receptor, pentru a fi amplificată.



# Definiții

Antenele sunt utilizate la emisia și recepția undelor electromagnetice sau a direcției undelor recepționate, fiind componente esențiale ale tuturor echipamentelor care utilizează unde radio. Ele sunt folosite în sisteme cum ar fi radiodifuziune, televiziune, comunicații radio bi- și multidirecționale, radar, telefonie mobilă, comunicații prin satelit, telecomanda radio, microfon fără fir, dispozitive Bluetooth, rețele wireless pentru calculatoare etc.

De obicei, o antenă constă într-un aranjament de conductori metalici, conectați electric (de multe ori printr-o linie de transmisie) la receptor sau emițător. Un curent variabil prin antenă va crea un câmp magnetic variabil în jurul elementelor antenei, în timp ce sarcina electrică din aceasta, de asemenea variabilă, creează un câmp electric variabil de-a lungul elementelor. Aceste câmpuri variabile în timp radiază departe de antena, în spațiu sub forma unei unde electromagnetice formate dintr-un ansamblu de câmpuri electrice și magnetice variabile, transversale. În schimb, în timpul recepției, câmpurile electrice și magnetice ale unei unde radio exercită forțe asupra electronilor din elementele antenei, făcându-i să se miște într-un sens și invers, creând curenți oscilanți în antenă.

# Definiții

Antenele pot conține, de asemenea, elemente, sau suprafețe reflectoare, sau directoare, care nu sunt conectate la emițător sau receptor, cum ar fi elementele pasive, reflectoarele parabolice sau horn, care se utilizează pentru direcționarea undelor radio, într-un fascicul sau orice alt model de radiație. Antenele pot fi proiectate pentru a transmite sau a recepționa undele radio în toate direcțiile în mod egal (antene omnidirecționale), sau pentru a le emite într-un fascicul pe o anumită direcție, și a le recepționa doar pe o anumită direcție (antene direcționale).

Primele antene au fost construite în 1888 de către fizicianul german Heinrich Hertz în experimentele sale de pionierat pentru a dovedi existența undelor electromagnetice prezise de teoria lui James Clerk Maxwell. Hertz a plasat antene dipol în punctul focal al unui reflector parabolic, atât pentru emisia cât și pentru recepția undelor radio. Rezultatele cercetărilor lui au fost publicate în *Annalen der Physik und Chemie* (vol. 36, 1889).

Aceași antenă poate fi folosită fie ca antenă de emisie, fie ca antenă de recepție, însă, în general, antenele se deosebesc din punct de vedere constructiv. Astfel, tipurile existente de antene de radio și televiziune lucrează pe lungimi de undă între câțiva milimetri și câteva zeci de mii de metri.

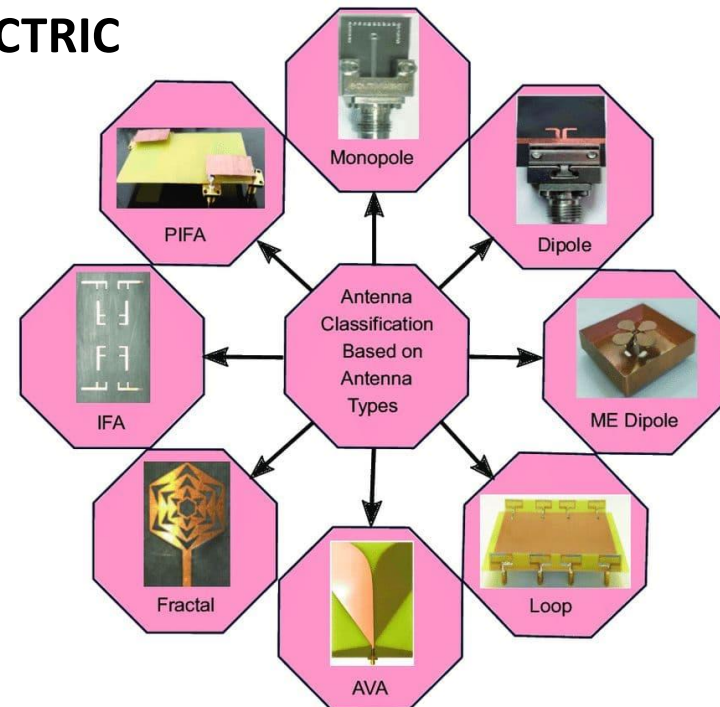
# Clasificare

- **ANTENE DE EMISIE**

- antene cu o extremitate la pământ (monopol)
- antena dipol cu excitație la mijloc
- antena cadru
- antena biconică

- **ANTENA DE RECEPȚIE CA SENZOR DE CÂMP ELECTRIC**

- antena de recepție dipol
- antena de recepție cadru



# ANTENE DE EMISIE

Descrierea comportării dipolului Hertz, constituie premisa pentru descrierea comportării unei antene cu structură fizică. În cazul dipolului (teoretic) s-a acceptat că intensitatea curentului este uniformă pe lungimea  $l$ . În cazul unei antene acordate, lungimea antenei este de același ordin de mărime cu lungimea de undă a radiației emise, iar distribuția curentului nu mai poate fi considerată uniformă; se acceptă fie o distribuție sinusoidală, fie o distribuție liniară, adică curentul la baza antenei este cel mai mare, iar în vârful antenei este nul. Funcția antenei rămâne identică cu a dipolului Hertz, și anume de a transforma energia de conducție în energie de radiație.

# ANTENE CU O EXTREMITATE LA PĂMÂNT (MONOPOL)

**Antena de emisie** este acordată, ca dimensiune liniară, cu lungimea de undă a semnalului radiat. Condițiile de acord se stabilesc pe baza ecuațiilor telegrafistilor, cu toate că antena verticală nu are constantele lineice uniform distribuite. Antena este excitată la bază, cu ajutorul unui cablu coaxial adaptat, care transferă antenei energia furnizată de un generator de înaltă frecvență, ca în figură. Ecuațiile telegrafistilor sunt următoarele:

$$\underline{U}_x = \underline{U}_1 \cosh \gamma x - \underline{Z}_c \underline{I}_1 \sinh \gamma x \quad (1)$$

$$\underline{I}_x = \underline{I}_1 \cosh \gamma x - \frac{\underline{U}_1}{\underline{Z}_c} \sinh \gamma x \quad (2)$$

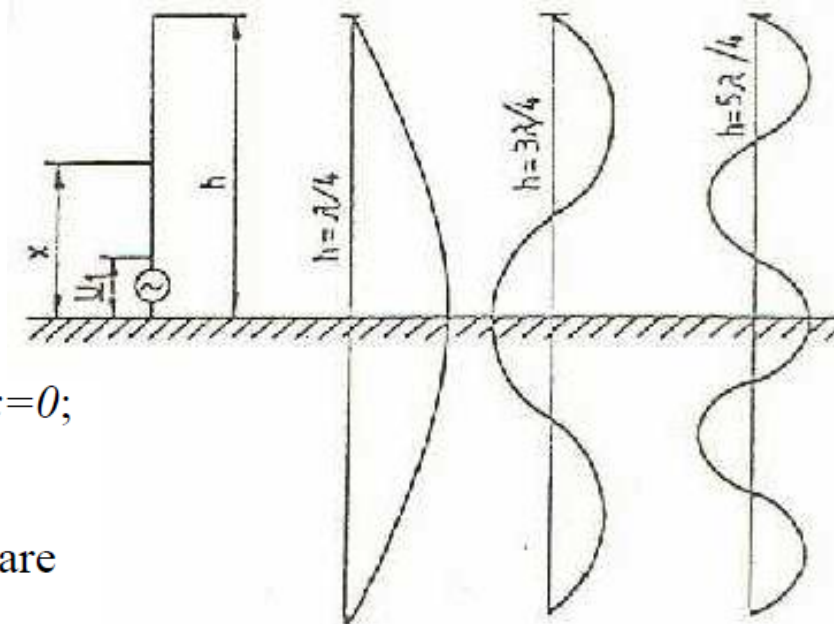
$\underline{U}_1, \underline{I}_1$  tensiunea și curentul la baza antenei, adică la  $x=0$ ;

$\underline{U}_x, \underline{I}_x$  tensiunea și curentul la distanța  $x$ .

$\gamma = \sqrt{(R_0 + j\omega L_0)(G_0 + j\omega C_0)}$ , constanta de propagare

La o linie fără pierderi ( $R_0 \rightarrow 0, G_0 \rightarrow 0$ ) se obține:

$$\gamma = j\omega \sqrt{L_0 C_0}; \quad \underline{Z}_c = \sqrt{L_0 / C_0}$$



Antena monopol acordată

# ANTENE CU O EXTREMITATE LA PĂMÂNT (MONOPOL)

Dacă antena este acordată vor exista noduri de curent, adică puncte situate la distanța  $x$  față de baza antenei în care curentul  $I_x=0$ . În această condiție, din relația (2) rezultă impedanța de la baza antenei:

$$\underline{Z}_1 = \frac{U_1}{I_1} = Z_c \coth \gamma x$$

Pentru linia (antena) fără pierderi:

$$\underline{Z}_1 = \sqrt{\frac{L_0}{C_0}} \coth(j\omega\sqrt{L_0C_0}x) \quad \text{sau} \quad \underline{Z}_1 = \sqrt{\frac{L_0}{C_0}} [-j \coth(\omega\sqrt{L_0C_0}x)]$$

Pentru frecvența de rezonanță, impedanța  $Z_1$  văzută de la baza antenei, cu  $x=h$ , este nulă, ceea ce conduce la:  $\cos(\omega\sqrt{L_0C_0}h) = 0$  (3)

Se observă că:

$$\omega = 2\pi f = 2\pi \frac{1}{\lambda\sqrt{L_0C_0}} \quad \text{și} \quad \omega\sqrt{L_0C_0}h = \frac{2\pi h}{\lambda}$$

Relația (3) este satisfăcută pentru:

$$\frac{2\pi h}{\lambda} = \frac{\pi}{2}; \quad \frac{3\pi}{2}; \quad \frac{5\pi}{2} \quad \dots$$

$$\text{Pentru unda fundamentală: } h = \frac{\lambda_1}{4} \quad \text{sau} \quad \lambda_1 = 4h$$

$$\text{Pentru armonica a treia: } h = \frac{3\lambda_3}{4}; \quad \lambda_3 = \frac{4h}{3}$$

$$\text{Pentru armonica a cincea: } h = \frac{5\lambda_5}{4}; \quad \lambda_5 = \frac{4h}{5} \dots$$

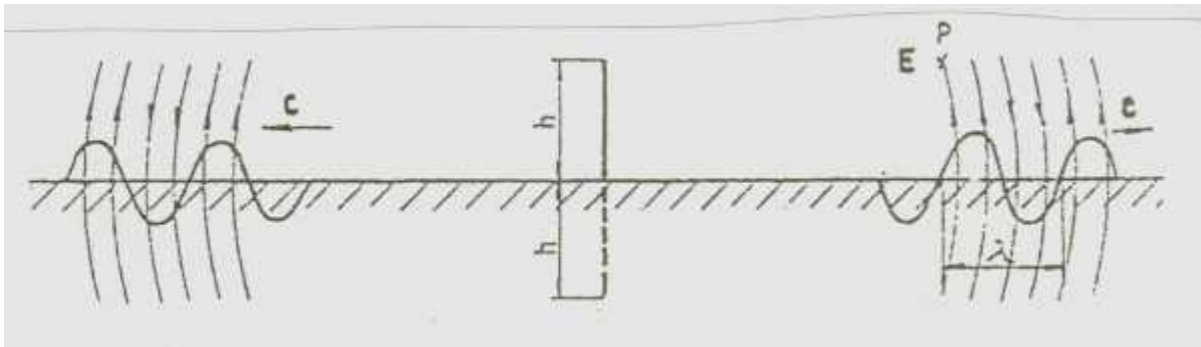


# ANTENE CU O EXTREMITATE LA PĂMÂNT (MONOPOL)

**Antena cu imagine.** Antena verticală excitată la extremitatea spre pământ produce o componentă a câmpului electric care se închide după o direcție normală la suprafața pământului, acesta fiind considerat cu o conductivitate electrică semnificativă.

În figură este schițat acest aspect, pământul fiind considerat cu o conductivitate infinită. În construcția tehnică a antenei, sub antena verticală, în scopul diminuării pierderilor de energie în pământ, se execută o priză de pământ sub forma unei rețele metalice, care constituie "contragreutatea" antenei.

Pentru a calcula câmpul electric produs de o antenă cu o extremitate la pământ, se folosește modelul fizic al imaginii. Câmpul electric în punctul P determinat de radiația antenei verticale de înălțime  $h$ , în prezența pământului, este același cu câmpul electric determinat de o antenă de lungime  $2h$ , în absența pământului.



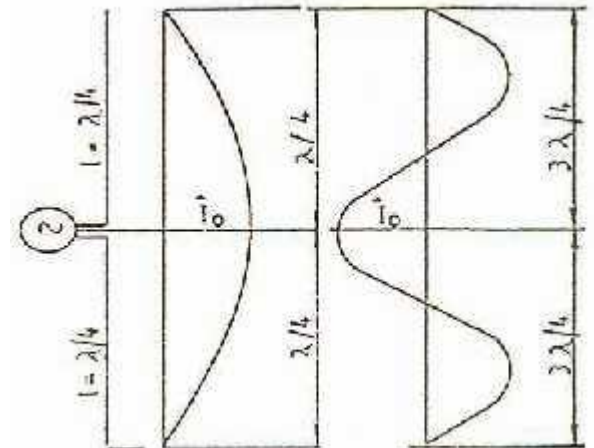
# ANTENA DIPOL CU EXCITARE LA MIJLOC

Antenele de emisie în domeniul undelor scurte și ultrascurte se realizează de preferință sub forma dipolului cu excitație la mijloc. În acest mod se evită pierderile de energie în pământ, pierderi care apar la antena verticală. În plus, datorită dimensiunilor reduse, antena dipol poate fi acordată, ceea ce conduce la creșterea puterii radiate pentru un curent dat de antenă. În fig.8.3. este schițată o asemenea antenă, care poate fi excitată de preferință astfel ca jumătate din lungimea dipolului să fie  $l/2 = \lambda/4$ . Valoarea câmpului electric "la depărtare" este identică cu aceea a câmpului electric produs de antena verticală (excitată la bază), dar puterea radiată este de două ori mai mare, având în vedere că se poate considera că antena dipol cu excitație la mijloc radiază în limitele unghiului  $\theta$  cuprins între 0 și  $\pi$ .

Radiația este considerată ca fiind liberă, adică fără influența pământului. Ca urmare, pentru puterea radiată expresia corespunzătoare este:

$$P_m = \frac{Z_0 I_{bef}^2}{2\pi} \int_0^\pi \frac{\cos^2(\pi/2 \cos\theta) d\theta}{\sin\theta}$$

cu rezistența de radiație:  $R_r = \frac{Z_0}{2\pi} \int_0^\pi \frac{\cos^2\left(\frac{\pi}{2} \cos\theta\right) d\theta}{\sin\theta}$



# ANTENA DIPOL CU EXCITARE LA MIJLOC

a) **În tehnica CEM**, antena dipol este folosită atât ca antenă de emisie, cât și ca antenă de recepție în intervalul de frecvență: 30 MHz.. 300 MHz.

b) **Factorul de scurtare**. În relațiile privind puterea radiată și rezistența de radiație, s-a admis că lungimea antenei este  $l=\lambda/2$ . La antenele realizate, la care conductorul antenei diferă de conceptul "filiform" și deci la care acest conductor are un diametru  $d$  bine determinat, relația de dependență, la rezonanță, este  $l=k_s\lambda/2$ , unde  $k_s$  este factorul de scurtare, care depinde de raportul  $\lambda/d$ . Pentru antenele construite, factorul de scurtare variază între 0,82 și 0,96 , pentru raportul  $\lambda/d$  cuprins între 4 și 2000. Factorul de scurtare se explică prin următoarele:

\*Viteza de propagare a curentului în conductorul antenei este mai mică decât viteza de propagare a undei electromagnetice în spațiul vid.

\*Frecvența de rezonanță este modificată de "efectul de capăt" și de capacitățile parazite mai importante față de pământ, datorate sistemelor mecanice de sprijinire a antenei la extremități. Efectul de capăt este mai pregnant la antenele ale căror extremități sunt menținute de izolatoare. În acest caz curentul din extremitățile antenei nu este nul; un curent mic de natură capacitivă se scurge spre pământ.

# ANTENA DIPOL CU EXCITARE LA MIJLOC

c) **Impedanța antenei.** Pentru o antenă dipol cu lungimea  $l=k_s\lambda/2$  curentul prezintă un minim la extremități și un maxim la mijlocul antenei, adică în zona de excitație; tensiunea este cea mai mică la mijlocul antenei și maximă la extremități. Rezultă de aici că în lungul antenei impedanța este variabilă, și anume este maximă la extremități și minimă în zona de excitație.

Impedanța de intrare a antenei este definită ca impedanța aparentă în zona de alimentare (excitație a antenei). La antenele dipol construite cu excitație la mijloc, impedanța de intrare este de aproximativ  $60 \Omega$ .

d) **Tensiunea de alimentare a antenei dipol.** Schema echivalentă simplificată a unei antene dipol cu excitație la mijloc constă dintr-un circuit cu componentele  $R, L, C$  conectate în serie. La rezonanță, tensiunea de alimentare  $U=RI$ , unde  $R$  se compune din rezistența de radiație la care se adaugă rezistența de pierderi, iar  $I$  este curentul în punctul de excitație. În practică este necesar să se țină seama și de căderea de tensiune datorată unei inductivități reziduale.

# ANTENA CADRU

În tehnica CEM, antena cadru este folosită la determinarea eficienței de ecranare a cabinelor ecranate, a ferestrelor de tip fagure și a garniturilor de înaltă frecvență. În acest scop se folosește o pereche de antene, din care una este de emisie și cealaltă este de recepție. Banda de frecvență este cuprinsă între 9 kHz și 30 MHz, iar verificarea eficienței de ecranare se efectuează la componenta de câmp magnetic. Această componentă este relativ intensă în apropierea antenei cadru. Între antena cadru și antena dipol există un anumit dualism, în sensul că antena dipol creează, în apropiere, o componentă intensă de câmp electric, iar antena cadru creează, în apropiere, o componentă intensă de câmp magnetic. După cum se va observa, acest dualism se manifestă și în expresiile componentelor de câmp magnetic, respectiv electric.



# ANTENA CADRU

Randamentul antenei care funcționează acordat se evaluează cu relația dintre raportul între rezistența de pierderi  $R_p$  și rezistența de radiație  $R_r$ , care joacă un rol determinant. Pentru a diminua rezistența de pierderi și deci a îmbunătăți randamentul antenei de emisie, este necesar să se folosească conductoare scurte de conductivitate cât mai mare (Cu), cu efect pelicular cât mai redus și să se realizeze contacte electrice (la conectarea condensatorului) de rezistență cât mai mică, ceea ce se obține prin procedeul tehnologic de lipitură tare de suprafață mare. În același timp prin reducerea lungimii periferice  $l_p < 0,1 \lambda$  se elimină formarea, la rezonanță, de noduri și ventre în lungul conductorului.

Antena cadru de recepție este introdusă într-un ecran circular întrerupt pentru a nu forma o spirală în scurtcircuit. În acest mod, la antenele de recepție, se elimină posibilitatea ca antena cadru să fie sensibilă și la componenta de câmp electric a radiației electromagnetice.

# ANTENA BICONICĂ

Funcționarea antenei biconice se explică cu ajutorul unui model fizic în care cele două conuri au o extindere foarte mare, teoretic infinită. Un asemenea model este schițat în figură, în care se observă că această antenă este un dipol conic cu excitație la mijloc. Prin ipoteză se acceptă o componentă, normală la con, de câmp electric, adică  $\mathbf{E}=\mathbf{E}_\theta$  și o componentă tangențială de câmp magnetic, adică  $\mathbf{H}=\mathbf{H}_\varphi$ .

În coordonate sferice, componentele rotorului sunt următoarele:

- \*după direcția  $r$ :

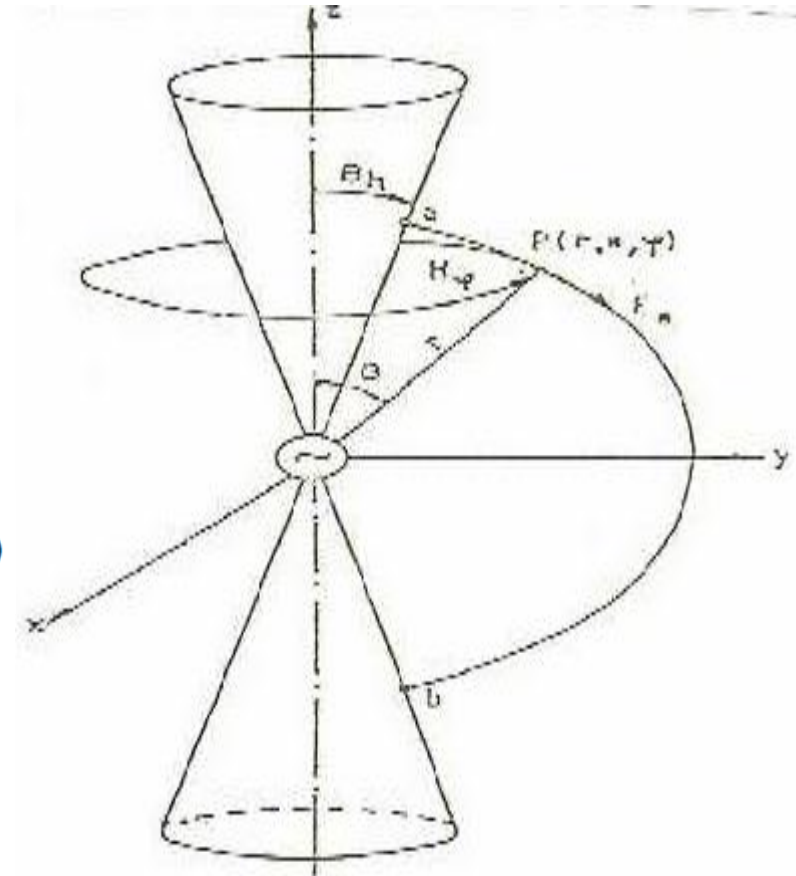
$$\text{rot}_r \underline{H}_\varphi = \frac{1}{r^2 \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} (r \sin \theta \cdot H_\varphi)$$

- \*după direcția  $\theta$ :

$$\text{rot}_\theta \underline{H}_\varphi = -\frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial}{\partial r} (r \sin \theta \cdot \underline{H}_\varphi) = -\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r H_\varphi)$$

- \*după direcția  $\varphi$ :

$$\text{rot}_\varphi \underline{E}_\theta = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r \underline{E}_\theta)$$





# ANTENA BICONICĂ

Se observă că, în ipoteza conurilor extinse la infinit, curentul se menține constant, dar în continuă defazare.

**Impedanța antenei biconice.** Prin efectuarea raportului între  $U(r, \theta)$  și  $I(r)$  se obține impedanța antenei conice:

$$Z_{con} = \frac{U(r, \theta)}{I(r)} = \frac{Z_0}{\pi} \ln \left( \cot \frac{\theta_h}{2} \right)$$

**Puterea radiată.** Radiația este de tip TEM și deci  $E_\theta$  și  $H_\theta$  se află în cuadratură spațială. Puterea specifică radiată se calculează cu ajutorul vectorului Poynting, care, ca modul și valoare de vârf, este:

$$\hat{S} = \hat{E}_\theta \hat{H}_\varphi = Z_0 \hat{H}_\varphi^2 = \frac{Z_0 \hat{H}_0^2}{r^2 \sin^2 \theta}$$

Unghiul  $\theta$  variază între  $\theta_h$  și  $\pi - \theta_h$ . Valoarea cea mai mare a puterii specifice se obține pentru  $\theta = \theta_h$  și  $\theta = \pi - \theta_h$ .

# ANTENA BICONICĂ

Puterea radiată, ca valoare de vârf, este:

$$\hat{P} = \int \hat{S} dA = \int \frac{Z_0 \hat{H}_0^2}{r^2 \sin^2 \theta} r^2 \sin \theta d\theta d\varphi$$
$$\hat{P} = Z_0 \hat{H}_0^2 \int_{\theta_h}^{\pi - \theta_h} \frac{d\theta}{\sin \theta} \int_0^{2\pi} d\varphi = 4\pi Z_0 \hat{H}_0^2 \ln \left( \cot \frac{\theta_h}{2} \right)$$

**Puterea medie radiată** se calculează cu ajutorul relației anterioare:

$$P_m = \frac{1}{2} \hat{P} = 2\pi Z_0 \hat{H}_0^2 \ln \left( \cot \frac{\theta_h}{2} \right)$$

**Notă.** Important este că antena conică, are o impedanță  $Z_{con}$  independentă de frecvență. Acest aspect permite o bună adaptare a cablului coaxial care alimentează antena, pentru o bandă largă de frecvență, de exemplu între 400 MHz la 1 GHz. În realitatea fizică, antena biconică este limitată ca extindere.

# ANTENA DE RECEPȚIE CA SENZOR DE CÂMP ELECTRIC

Pe baza teoriei reciprocității, orice antenă de emisie poate fi antenă de recepție. Esențial însă este faptul că din punct de vedere termic antena de emisie se dimensionează pentru curentul introdus în antenă (de exemplu, 100A), în timp ce antena de recepție se dimensionează pentru curentul receptat (de exemplu, 10  $\mu$ A).

## ANTENA DE RECEPȚIE DIPOL

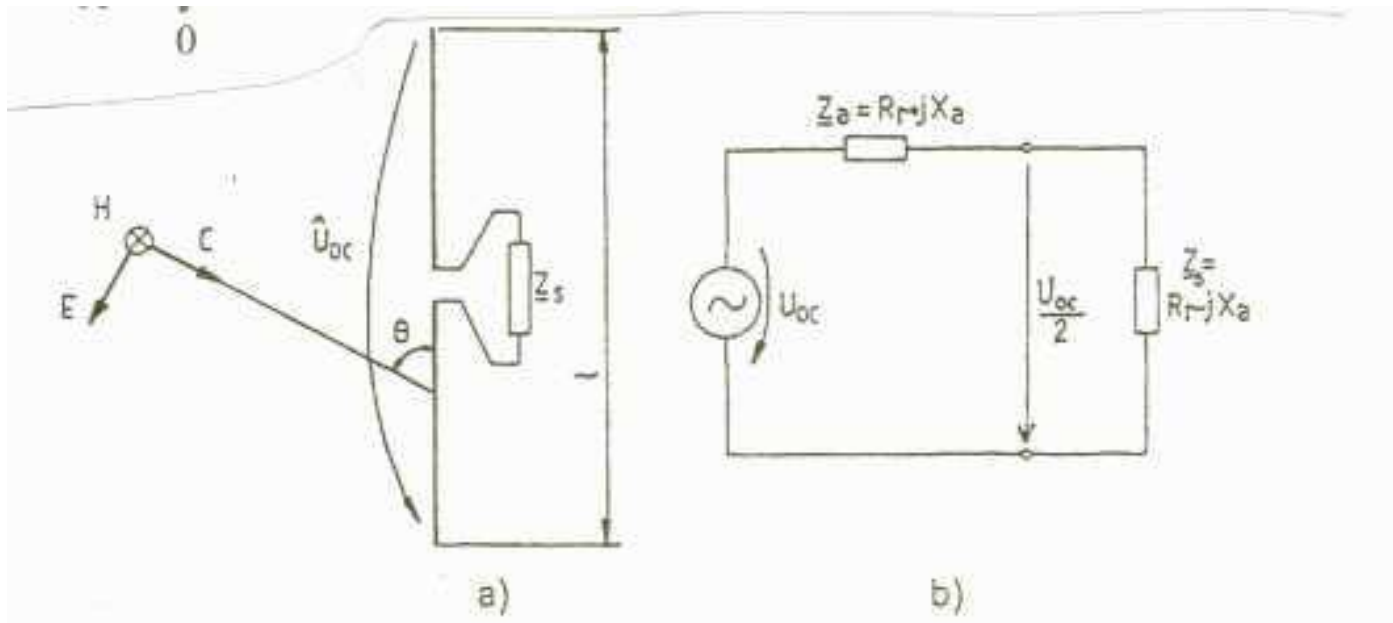
Această antenă este folosită conform normelor CISPR 18 și DIN VDE 0877 la măsurarea semnalelor de interferență radio în banda 30 MHz ÷ 300 MHz. Sarcina antenei de recepție, utilizată în tehnica CEM, este impedanța de intrare  $Z_r=50 \Omega$  a unui voltmetru de perturbații sau a unui analizor de spectru. Conexiunea între antenă și aparatul de măsurat (voltmetru sau analizor de spectru) se realizează prin intermediul unui cablu coaxial cu impedanța caracteristică  $Z_c=50 \Omega$ . În acest caz se poate spune că impedanța de sarcină  $Z_s$  a antenei receptoare este  $Z_s = Z_r = Z_c = 50 \Omega$ .

# ANTENA DE RECEPȚIE DIPOL

Unda electromagnetică plană excită antena sub unghiul de incidență  $\theta$ , cu viteza de

Propagare  $c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}$ . Tensiunea în gol culeasă de antenă este:

$$\hat{U}_{0c} = \int_0^l \hat{E} \sin \theta dl = \hat{E} l \sin \theta$$



Antena de recepție dipol : a) schița fizică ; b) schema electrică echivalentă

# ANTENA DE RECEPȚIE DIPOL

**Factorul de conversie al antenei.** Antena ca senzor servește la măsurarea câmpului electric  $E$ . Milivoltmetrul sensibil nu măsoară direct un câmp electric, ci o tensiune pe impedanța de sarcină de  $50\Omega$ . În scopul obținerii unei informații utile cu ajutorul voltmetrului de perturbații, se definește un factor de conversie al antenei sub forma următoarelor variante:

a) Raportul între intensitatea câmpului electric  $E$  și tensiunea  $U$ , măsurată pe impedanța de sarcină a milivoltmetrului, adică :

$$F_c = \frac{E}{U} \quad [1/m]$$

b) Logaritmul raportului dat de relația precedentă:

$$f_c = 20 \log F_c = 20 \log \frac{E}{U} \quad [dB(1/m)]$$

c) Dacă instrumentul de măsurat (milivoltmetrul de perturbații) este etalonat în dB, adică tensiunea măsurată este :

$$U = 20 \log \frac{U}{1} \quad [dB(1\mu V)]$$

iar intensitatea câmpului electric:

$$E = 20 \frac{E}{l} \quad [dB(1\mu V/m)]$$

# ANTENA DE RECEPȚIE CADRU

Această antenă este în esență o buclă conductoare, de cele mai multe ori de formă circulară, ca în figură.

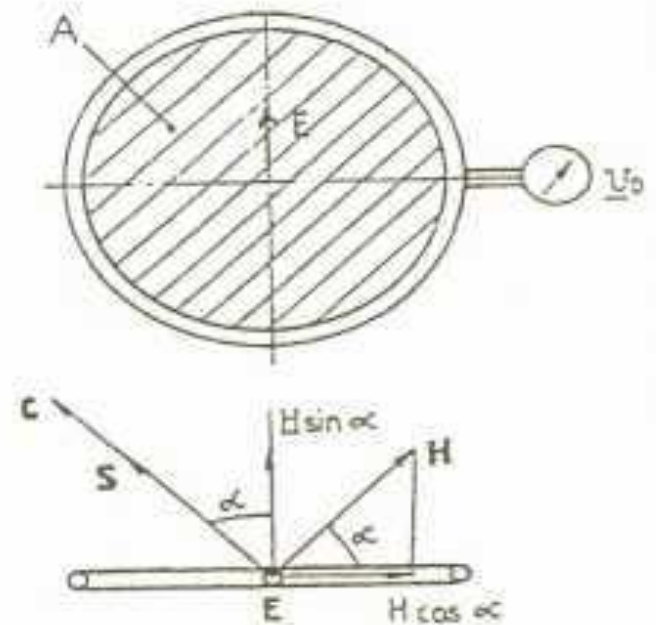
Antena de recepție cadru este sensibilă la componenta de câmp magnetic. Dacă bucla are  $N$  spire, iar componenta de câmp magnetic face unghiul  $\alpha$  cu planul buclei, tensiunea în gol indusă este :

$$u_0 = -\frac{Nd\Phi}{dt}$$

Cu  $\Phi = \mu_0 H A \sin \alpha \cos \omega t$ , rezultă :

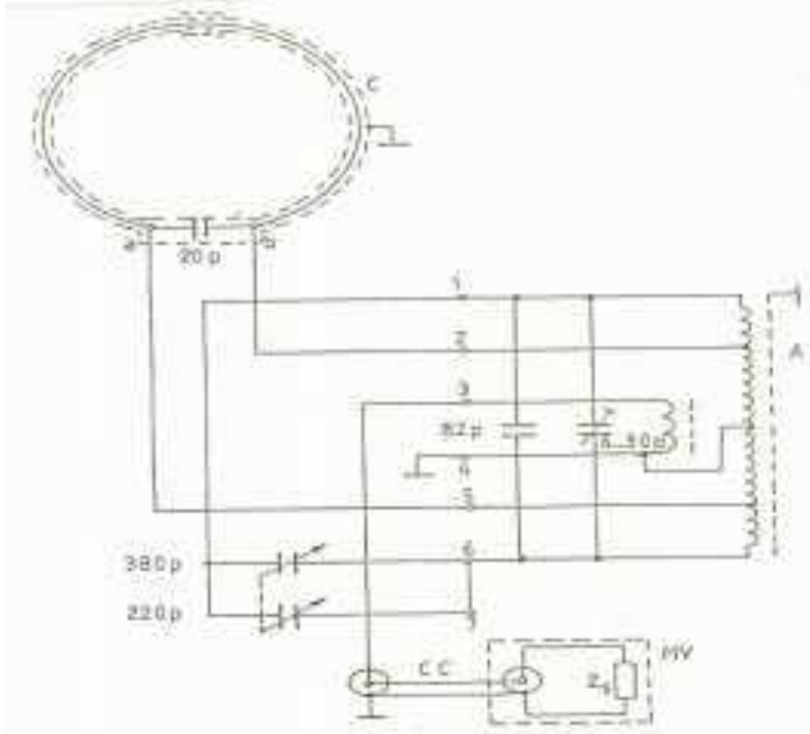
$$\hat{U}_0 = N\mu_0 \hat{H} A \sin \alpha$$

$$\hat{H} = \frac{\hat{U}_0}{N\mu_0 A \sin \alpha}$$



# ANTENA DE RECEPȚIE CADRU

Din punct de vedere constructiv  $N=1$ , pentru ca lungimea conductorului să fie mică în raport cu lungimea de undă. Antena cadru este introdusă într-un ecran tubular nescurtcircuitat, ca în figură, antena de recepție cadru fiind folosită la măsurarea componentei de câmp electric pe baza relației  $E=Z_0H$ .



*Conexiunea antenei cadru la milivoltmetru : A-adaptor ; C-cadru ; CC-cablu coaxial ; MV-milivoltmetru de perturbații*

În figură se arată schema electrică a sistemului AMZ-3/50 de fabricație INCO, schemă în care se poate observa modul de *asimetrizare* a antenei. Antena captează între bornele *a* și *b* un semnal izolat față de pământ, iar cablul coaxial are ecranul conectat la pământ. Pentru acordarea antenei se folosește un sistem de inductivități cuplate cu condensatoare variabile.

# CUPLAJUL ÎNTRE ANTENA DE EMISIE ȘI CEA DERECEPTIE

Datorită faptului că antena de recepție determină în sarcină o radiație electromagnetică secundară, se poate spune că există o interacțiune cu caracter mutual între antena de emisie și cea de recepție. Curentul  $I_1$  care parcurge antena de emisie (primară) determină în antena de recepție tensiunea electromotoare:

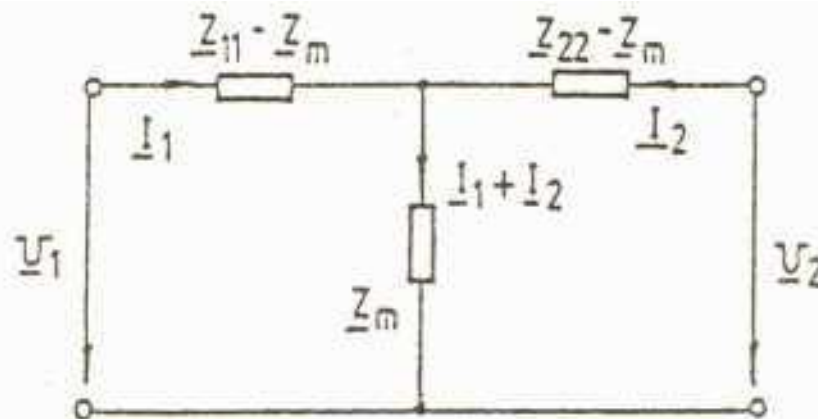
$$\underline{U}_{12} = \underline{Z}_{12} \underline{I}_1$$

unde:  $Z_{12}$  este impedanța de cuplaj între antena de emisie și cea de recepție.

Curentul  $I_2$  din antena de recepție determină în antena de emisie o tensiune electromotoare:

$$\underline{U}_{21} = \underline{Z}_{21} \underline{I}_2$$

unde:  $Z_{21}$  este impedanța de cuplaj între antena de recepție și cea de emisie.



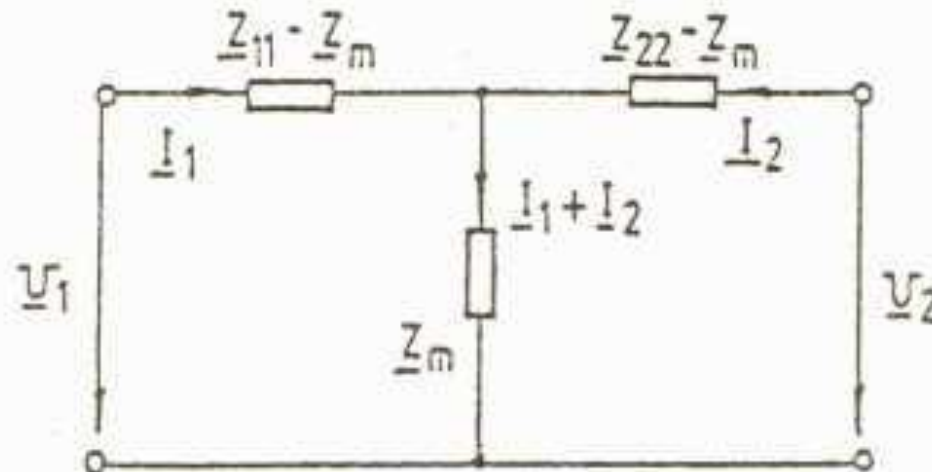


# CUPLAJUL ÎNTRE ANTENA DE EMISIE ȘI CEA DERECEPTIE

Din motive de simetrie  $Z_{12} = Z_{21}$ . În general, cuplajul între cele două antene se cuantifică sub forma:

- Tensiunea de excitație a antenei de emisie:  $\underline{U}_1 = \underline{Z}_{11}\underline{I}_1 + \underline{Z}_m\underline{I}_2$
- Tensiunea captată de antena de recepție:  $\underline{U}_2 = \underline{Z}_{22}\underline{I}_2 + \underline{Z}_m\underline{I}_1$

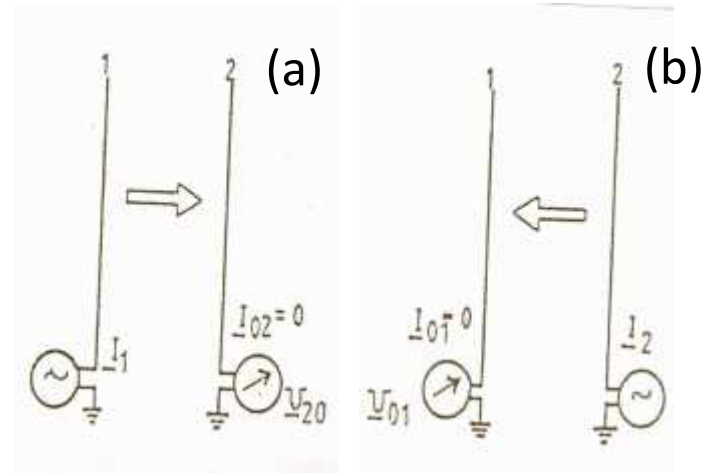
În relațiile de mai sus,  $Z_{11}$  și  $Z_{22}$  sunt impedanțele proprii ale antenelor. Relațiile menționate au o valoare funcțională calitativă pentru că curenții  $I_1$  și  $I_2$  nu sunt mprimi constante în antene. În figură se arată schema de principiu a cuplajului între cele două antene, schemă care satisface menționate



# CUPLAJUL ÎNTRE ANTENA DE EMISIE ȘI CEA DERECEPTIE

**Teorema reciprocității.** Aceasta a fost formulată de A. Sommerfeld pentru sistemul compus din două antene de același tip, ca în figura de mai jos și are următorul conținut:

- O antenă de emisie 1 cu curentul de bază  $I_1$  determină tensiunea în gol  $U_{02}$  în antena 2 de recepție,
- Dacă antena 2 devine emițătoare cu curentul de bază  $I_2 = I_1$ , tensiunea în gol captată de antena 1 este  $U_{01} = U_{02}$ , ca în figura (b)



Cu referire la relațiile:  $\underline{U}_{12} = \underline{Z}_{12} \underline{I}_1$  și  $\underline{U}_{21} = \underline{Z}_{21} \underline{I}_2$  se scrie:

- în primul caz:  $\underline{U}_{20} = \underline{Z}_m \underline{I}_1$
  - în cazul al doilea:  $\underline{U}_{10} = \underline{Z}_m \underline{I}_2$
- relații din care rezultă:  $\frac{\underline{U}_{20}}{\underline{U}_{10}} = \frac{\underline{I}_1}{\underline{I}_2}$

# ETALONAREA ANTENEI

Această operație se poate efectua în "putere" sau în "câmp electric".

**Etalonarea în putere.** În acest caz se urmărește să se determine ceea ce se numește câștigul practic  $G_p$  al unei antene, definit ca raportul între puterea recepționată  $P_{rec}$  pe impedanța nominală ( $50 \Omega$ ) a antenei și puterea teoretică  $P_{teor}$  recepționată de o antenă de referință orientată optim în câmp omogen și fără pierderi:

$$G_p = \frac{P_{rec}}{P_{teor}} \quad ; \quad g_p = 10 \log \frac{P_{rec}}{P_{teor}}$$

Determinarea câștigului practic se efectuează, conform normelor DIN 45003, cu ajutorul a două antene identice, pe baza teoremei reciprocității, după cum urmează:

- Se măsoară atenuarea de propagare  $a_p$  între cele două antene identice (una de emisie și alta de recepție).
- Se calculează atenuarea teoretică  $a_t$  în cazul radiatorului izotrop.

Dependența între  $a_p$ ,  $g_p$  și  $a_t$  este:  $a_p = \left[ 20 \log \frac{4\pi r}{\lambda} - 2g_p \right]$  [dB]

Relație din care se scoate expresia câștigului practic:  $g_p = \left[ 10 \log \frac{4\pi r}{\lambda} - \frac{a_p}{2} \right]$

# ETALONAREA ANTENEI

În figură se prezintă schema electrică a instalației cu ajutorul căreia se măsoară atenuarea de propagare  $\alpha_p$ . Antenele 1 și 2 sunt identice. Distanța  $r$  între antene satisface condiția :  $r > \frac{4W^2}{\lambda}$  unde :  $W$  este cea mai mare dimensiune lineară a unei antene;  $\lambda$  este lungimea de undă.

Înălțimea  $h$  a antenei față de sol va fi  $h > 2\lambda$ , pentru a se neglija influența solului. Conexiunile vor respecta condiția  $l_1 + l_2 = l_3 + l_4$ . Atenuatorul  $D$  este evaluat în valori absolute și reglează până când receptorul  $R$  va indica aceeași diviziune în ambele poziții. Atenuarea  $\alpha_t$  este citită direct pe atenuator.

Dependența între câștigul practic  $G_p$  și actorul de conversie al antenei  $F_c$  este dată de relația:

$$F_c = \frac{9,73}{\lambda G_p}$$

Antenele folosite în tehnica CEM sunt etalonate „în câmp electric”.

