

CALCULUL CÂMPULUI DE RADIAȚII REFLECTAT DE UN ECRAN METALIC, CU APLICAȚII LA BORDUL NAVELOR MARITIME

Prof. em. dr. ing. Alexandru SOTIR

Academia Navală „Mircea cel Bătrân”, Constanța

REZUMAT. În domeniul CEM (Compatibilitate ElectroMagnetică), o problemă care suscită un interes special cu privire la protecția factorului uman de la bordul navelor față de câmpul electromagnetic de radiații se referă la determinarea nivelului radiației secundare, produsă de reflexia câmpului electromagnetic al antenelor de către structurile metalice de pe punți. În acest scop, a fost elaborată o metodă de calcul nouă, utilizând Teoria ecranării, bazată pe rezolvarea ecuației lui Helmholtz pentru ecranul plan-paralel. Metoda a trezit un interes deosebit din partea specialiștilor din Germania și SUA, fiind unicat în literatura de specialitate din domeniul CEM și poate fi aplicată și la uscat, având în vedere faptul că multe construcții actuale, rezidențiale și industriale, au structuri metalice pe suprafețe mari, care reflectă masiv câmpurile de înaltă frecvență produse de antenele radio, radar sau cele ale stațiilor de telefonie celulară, cu efecte negative asupra sănătății oamenilor.

Cuvinte cheie: câmp reflectat, ecran plan-paralel, navă maritimă, protecția personalului.

ABSTRACT. According to EMC (Electromagnetic Compatibility), a special interest concerning the protection of the human body onboard is given to the determination of the secondary radiation produced by the plan metallic structures of a navy ship, due to the reflection of the electromagnetic waves of the radio and radar antennas. For this purpose, we propose a new method based on the calculus of the plan-parallel shield, using Helmholtz propagation equation. The result of the modelling are useful to identify the adequate protection solutions for onboard personnel against the secondary radiation, but they can be used for other real situations where such a issue appears.

Keywords: feedback electromagnetic field; plane-parallel shield; navy ship; human body protection.

Introducere

În scopul elaborării acestei modelări s-a utilizat metoda de calcul a Teoriei ecranării pentru ecranul din două plăci paralele. Se subliniază de la început faptul că ecranul plan-paralel este singurul tip de ecran care poate fi calculat exact (în sensul determinării atenuării și factorului de ecranare), atât prin metoda ecuației lui Helmholtz (metoda separării variabilelor), cât și prin metoda (practică) a impedanțelor (metoda lui A. Schelkunoff).

Peretele metalic analizat se consideră că aparținând unui ecran paralelipipedic de dimensiuni finite (de exemplu peretele exterior al compartimentului emițătoare, de la bordul unei nave maritime, aflat pe puntea de comandă).

Trebuie precizate, de la început, trei aspecte importante:

a) calculul se face considerând peretele de dimensiune finită, caz în care:

- nu poate fi neglijat efectul de capăt al ecranului;
- componentele tangențiale ale intensității câmpului electric indus nu respectă legea conservării

componentelor tangențiale la fața exterioară a ecranului¹.

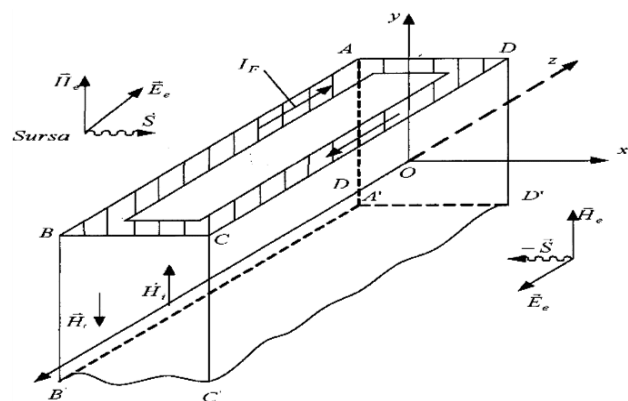


Fig. 1. Ecranul plan-paralel atacat de o undă electromagnetică plană: H_e – câmpul magnetic exterior al sursei; E_e – câmpul electric exterior al sursei; S_e – densitatea de putere a câmpului exterior; H_i – câmpul magnetic interior din ecran; H_r – câmpul magnetic de reacție din ecran; S_r – densitatea de putere a câmpului reflectat; I_F – curentul indus în peretele ecranului.

b) se ia în calcul curentul de deplasare, deci frecvența unei incidente este ridicată (echipamentele

¹ Aceasta deoarece curenții din ecran presupun existența unor sarcini electrice pe suprafața peretelui (ecranului).

radio și radar care „atacă” ecranul au frecvențe cuprinse între 15 MHz și 9 GHz.)

Etapele modelării

Modelarea câmpului de reacție - unul dintre efectele importante ale câmpului de radiații produs de antenele radio și radar de la bord care atacă un perete metalic al navei - utilizând metodologia de calcul a unui ecran metalic plan-paralel, are trei faze, și anume: 1. calculul câmpului în interiorul ecranului; 2. calculului câmpului în exteriorul ecranului; 3. calculul câmpului în peretele ecranului.

1. CALCULUL CÂMPULUI ÎN INTERIORUL ECRANULUI

În interiorul ecranului $\sigma=0$ (aer) și ecuația lui Helmholtz devine:

$$\frac{d^2 H_{y_i}}{dx^2} = \Gamma_i^2 H_{y_i}; H_{y_i} = H_{y_i}(x);$$

$$\Gamma_i = j\Gamma_0 = j\frac{2\pi}{\lambda_0} \quad (1)$$

Soluția ecuației este:

$$H_{y_i}(x) = C_1 e^{j\Gamma_0 x} + C_2 e^{-j\Gamma_0 x}; x \leq x_0 \quad (2)$$

Pe motive de simetrie, se poate scrie:

$$H_{y_i}(x) = H_{y_i}(-x); C_1 = C_2 = C \quad (3)$$

Câmpul magnetic în interior devine:

$$H_{y_i}(x) = 2C \cos(\Gamma_0 x); x \leq x_0 \quad (4)$$

Pe baza relației (10) din cazul calculului ecranului de dimensiuni finite, la care nu se ia în considerație curentul de deplasare, se calculează câmpul electric interior:

$$dE_{z_i} = j\omega\mu_0 H_{y_i} dx; E_{z_i} = E_{z_i}(x);^2 \quad (5)$$

$$E_{z_i}(x) = j\omega\mu_0 H_{y_i} x + C \quad (6)$$

Ecuatiile de propagare fiind liniare, iar excitația (unda incidentă la ecran) fiind considerată armonică, va trebui ca și câmpul interior să fie armonic; deci:

$$C = 0; E_{z_i}(x) = j\omega\mu_0 H_{y_i}(x)x \quad (7)$$

Calculând $H_{y_i}(0)$ - câmpul în centrul ecranului (în axa longitudinală), rezultă:

$$H_{y_i}(0) = 2C = H_i \text{ (constant)} \quad (8)$$

respectiv:

$$H_{y_i}(x) = H_i \cos(\Gamma_0 x) \quad (9)$$

Relația (9) arată neuniformitatea câmpului în interiorul ecranului - câmpul având caracter de undă staționară -, spre deosebire de cazul neglijării curentului de deplasare, când acesta este constant.

Câmpul electric din interior devine în acest caz:

$$E_{z_i}(x) = j\frac{\omega\mu_0}{\Gamma_0} H_i \sin(\Gamma_0 x) + C, \quad (10)$$

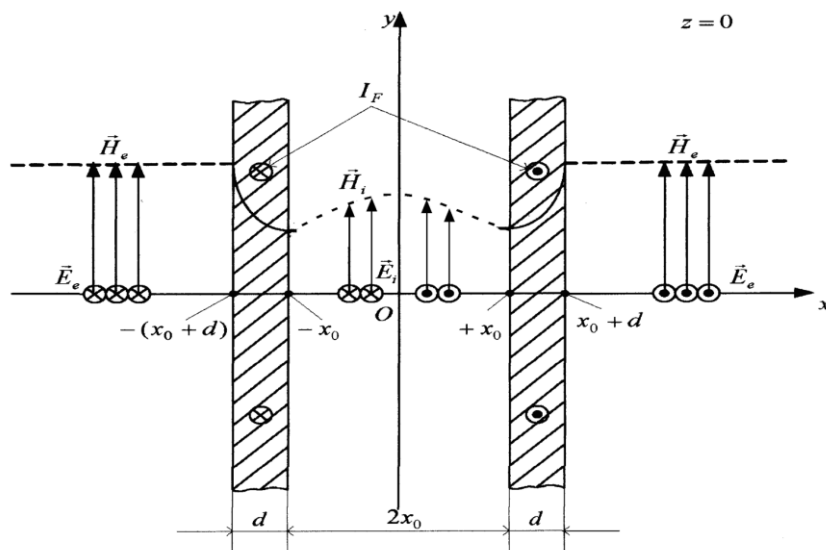


Fig. 2. Câmpul magnetic în interiorul și exteriorul ecranului.²

² Mărimile de stare ale câmpului, $H_y(x)$, $E_z(x)$, sunt în aceste ecuații mărimi complexe, dar, pentru simplificare, acestea nu s-au mai subliniat.

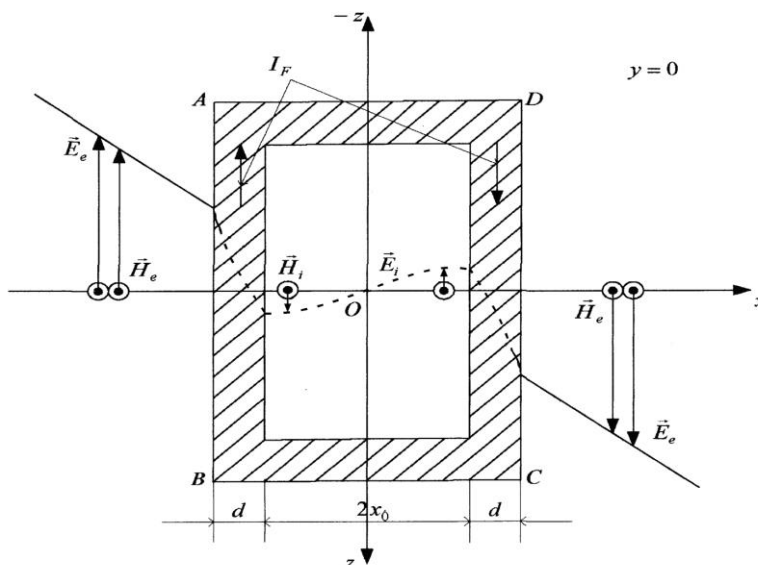


Fig. 3. Câmpul electric în interiorul și exteriorul ecranului.

respectiv

$$Ez_i(x) = j \frac{\omega \mu_0}{\Gamma_0} H_i \sin(\Gamma_0 x); \quad C = 0, \quad (11)$$

deoarece câmpul este considerat armonic.

Cum:

$$\begin{aligned} \frac{\mu_0}{\Gamma_0} &= \frac{\mu_0}{\frac{2\pi}{\lambda_0}} = \frac{\mu_0 \cdot \lambda_0}{2\pi} = \frac{\mu_0}{2\pi} c_0 T = \frac{\mu_0}{2\pi} c_0 f = \\ &= \frac{\mu_0}{\omega \sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} = \frac{1}{\omega \sqrt{\epsilon_0}} = \frac{Z_0}{\omega}, \end{aligned} \quad (12)$$

unde $Z_0 = 120\pi = 377(\Omega),$ (13)

se obține:

$$Ez_i(x) = j\omega \frac{Z_0}{\omega} H_i \sin(\Gamma_0 x) = jZ_0 H_i \sin(\Gamma_0 x); \quad x \leq x_0 \quad (14)$$

2. CALCULUL CÂMPULUI ÎN EXTERIORUL ECRANULUI

Pornind de la ecuația lui Helmholtz:

$$\frac{d^2 Hy_e}{dx^2} = \Gamma_e^2 Hy_e, \quad \sigma=0; \quad \Gamma_e = j\Gamma_0 = \Gamma_i(\text{aer}), \quad (15)$$

se obține:

$$Hy_e(x) = C_1 e^{j\Gamma_0 x} + C_2 e^{-j\Gamma_0 x}; \quad |x| \leq x_0 + d \quad (16)$$

Câmpul nefiind de valoare infinită, se poate scrie:

$$\lim_{x \rightarrow \infty} Hy_e(x) = \text{finit} \quad (17)$$

și rezultă:

$$C_1 = 0. \quad (18)$$

Ca urmare:

$$Hy_e(x) = C_2 e^{-j\Gamma_0 x}; \quad (19)$$

și:

$$|Hy_e(x)| = C_2 = He(\text{constant}),$$

unde „He” este câmpul emis de sursă la distanță de ecran, având o valoare constantă și cunoscută (măsurată /calculată). Câmpul magnetic exterior devine:

$$Hy_e(x) = He \cdot e^{-j\Gamma_0 x}; \quad |x| \geq x_0 + d \quad (20)$$

Câmpul magnetic în exteriorul ecranului, dar în imediata vecinătate a acestuia va fi afectat de câmpul de reacție (din peretele ecranului) datorită efectului de capăt (ecran de dimensiuni finite); calculul câmpului de reacție făcând obiectul fazei 3.

Câmpul electric din exterior devine:

$$Ez_e(x) = j\omega \mu_0 Hy_e(x) dx; \quad (21)$$

$$Ez_e(x) = j\omega \mu_0 Hy_e \int e^{-j\Gamma_0 x} dx = -\frac{\omega \mu_0}{\Gamma_0} He \cdot e^{-j\Gamma_0 x} + C \quad (22)$$

Câmpul fiind armonic, $C=0$, astfel că:

$$Ez_e(x) = -Z_0 He \cdot e^{-j\Gamma_0 x}; \quad He=ct; \quad |x| \geq x_0 + d \quad (23)$$

3. CALCULUL CÂMPULUI ÎN PERETELE ECRANULUI

Ecuția de propagare (Helmholtz):

$$\frac{d^2 Hy_p}{dx^2} = \Gamma_p^2 Hy_p \quad (24)$$

au soluția:

$$Hy_p(x) = Ae^{\Gamma x} + Be^{-\Gamma x}; \quad x_0 \leq |x| \leq x_0 + d, \quad (25)$$

cu precizarea că : $\sigma \neq 0, \Gamma_p \neq 0$.

Câmpul electric este de forma (a se vedea relația (13) din cazul neglijării curentului de deplasare):

$$Ez_p(x) = \frac{\Gamma_p}{\sigma} (Ae^{\Gamma x} - Be^{-\Gamma x}) = Z_s (Ae^{\Gamma x} - Be^{-\Gamma x}) \quad (26)$$

unde Z_s este impedanța (față de câmp) a ecranului (impedanța intrinsecă a ecranului).

Pentru determinarea constantelor se pun condițiile la limită:

$$Ht(x_0)^- = Ht(x_0)^+ \quad (27)$$

$$Ht(x_0 + d)^- = Ht(x_0 + d)^+ \quad (28)$$

$$Et(x_0)^- = Et(x_0)^+ \quad (29)$$

Observație .

Datorită luării în considerație a **efectului de capăt** (dimensiuni finite pentru ecran) nu se poate pune o condiție similară și pentru „ $Et(x_0 + d)^+$ ” - respectiv pentru câmpul electric la suprafața exterioară a ecranului.

În relațiile de mai sus:

$Ht(x_0)^-$ - câmpul $Hy_i(x)$, pentru $x=x_0$;

$Ht(x_0)^+$ - câmpul $Hy_p(x)$, pentru $x=x_0$;

$Ht(x_0 + d)^-$ - câmpul $Hy_p(x)$, pentru $x=x_0+d$;

$Ht(x_0 + d)^+$ - câmpul $Hy_e(x)$, pentru $x=x_0+d$;

$Et(x_0)^-$ - câmpul $Ez_i(x)$, pentru $x=x_0$;

$Et(x_0)^+$ - câmpul $Ez_p(x)$, pentru $x=x_0$.

Ținând cont de aceste condiții, se obțin relațiile:

$$\begin{cases} H_i \cdot \cos(\Gamma_0 x_0) = Ae^{\Gamma_p x_0} + Be^{-\Gamma_p x_0} \\ Ae^{\Gamma_p(x_0+d)} + Be^{-\Gamma_p(x_0+d)} = H_e \cdot e^{-j\Gamma_p(x_0+d)} \\ jZ_0 H_i \sin(\Gamma_0 x_0) = Z_s (Ae^{\Gamma_p x_0} - Be^{-\Gamma_p x_0}) \end{cases} \quad (30)(31)(32)$$

Ordonând aceste ecuații, se obține:

$$Ae^{\Gamma_p x_0} + Be^{-\Gamma_p x_0} = H_e \cos(\Gamma_0 x_0)$$

$$Ae^{\Gamma_p(x_0+d)} + Be^{-\Gamma_p(x_0+d)} = H_e \cdot e^{-j\Gamma_0(x_0+d)}$$

$$Ae^{\Gamma_p x_0} - Be^{-\Gamma_p x_0} = j \cdot \frac{Z_0}{Z_s} H_i \cdot \sin(\Gamma_0 x_0)$$

Din aceste trei ecuații se calculează A și B :

$$A = \frac{e^{\Gamma_p x_0} [H_e \cdot e^{\Gamma_p x_0} - H_i \cos(\Gamma_0 x_0)]}{1 - e^{2\Gamma_p x_0}} \quad (33)$$

$$B = e^{3\Gamma_p x_0} [H_e \cdot e^{\Gamma_p x_0} - H_i \cos(\Gamma_0 x_0)] - K_0 H_i \sin(\Gamma_0 x_0) e^{\Gamma_p x_0} \quad (34)$$

$$\text{unde:} \quad K_0 = \frac{\mu_0}{\mu} \frac{\Gamma}{\Gamma_0} = j \frac{Z_0}{Z_s} \quad (35)$$

În relațiile (33) și (34) apar trei necunoscute și anume: A, B, H_i , unde $H_i = ct$ (în centrul ecranului). Ca urmare, mai este necesară o ecuație pentru determinarea acestora, respectiv a câmpului de reacție, $Hy_{ip}(x_0+d)$.

Se aplică teorema conservării componentelor tangențiale ale câmpului electric la suprafața interioară de separație perete ecran – spațiu liber (interior ecranului):

$$Ez_{pt} = Ez_{it} \quad (36)$$

Observație.

Aplicarea teoremei este posibilă deoarece se consideră ecranul paralelipipedic complet închis, astfel încât nu există surse de câmp electric pe suprafața interioară a ecranului.

$$\text{Cum:} \quad \bar{E} = Ez(x)\bar{k}, \quad (37)$$

$$\text{se calculează:} \quad \text{rot} \bar{E} = -j \left(\frac{\partial Ez(x)}{\partial x} \right) \quad (38)$$

Se scrie legea inducției electromagnetice:

$$\text{rot} \bar{E} = -\frac{\partial \bar{B}}{\partial t}, \quad (39)$$

care devine în complex:

$$\text{rot} \bar{E} = -j\omega B y \bar{j} = -j\omega \mu H y \bar{j}, \quad (40)$$

făcând aproximația (pentru simplificare) a mediului de propagare liniar.

Prin compararea relațiilor 38 și 39 se obține:

$$\frac{dEz(x)}{dx} = j\omega \mu Hy(x), \quad (41)$$

$$\text{sau:} \quad dEz(x) = j\omega \mu Hy(x) dx. \quad (42)$$

Relația 42 este valabilă în oricare din cele trei zone: interiorul ecranului, peretele ecranului, exteriorul ecranului (ca o consecință a unei legi generale).

În interiorul ecranului se cunosc:

$$\mu = \mu_0 \quad (43)$$

$$Hy_i(x) = Hi \cos(\Gamma_p x_0); \quad x = x_0. \quad (44)$$

Aceste relații sunt valabile și la peretele interior al ecranului (a se vedea rel.(9)).

Ca urmare relația (42) devine:

$$dEz(x) = j\omega\mu_0 Hi \cos(\Gamma_p x_0) dx, \quad (45)$$

de unde, prin integrare, rezultă:

$$Ez(x) = j\omega\mu_0 Hi \cos(\Gamma_p x_0) x + C. \quad (46)$$

Din motivele arătate (ecuații de propagare liniare, excitație armonică), câmpul interior este și el armonic, deci $C=0$, ca urmare:

$$Ez(x) = j\omega\mu_0 Hi \cos(\Gamma_p x_0) x. \quad (47)$$

Relația (44) arată că $Ez(x)$ este o funcție impară, iar pentru $x=0$ (în planul YoZ, la mijlocul ecranului), câmpul $Ez(x)=0$.

Dacă în relația (42) se înlocuiește $Hy(x)$ cu relația sa din perete (25), se obține:

$$dEz(x) = j\omega\mu (Ae^{\Gamma_p x} + Be^{-\Gamma_p x}) dx. \quad (48)$$

Pentru:

$$x_0 \leq |x| \leq x_0 + d \quad (\text{în perete}),$$

se obține, prin integrare și notând $j\omega\mu = \Gamma^2/\sigma$:

$$E_z(x) = \frac{\Gamma_p}{\sigma} (Ae^{\Gamma_p x} - Be^{-\Gamma_p x}) \quad (49)$$

La peretele interior al ecranului ($x=x_0$), relațiile (47) și (48) devin:

$$Ez(x_0) = j\omega\mu_0 Hi \cdot \cos(\Gamma_p \cdot x_0) x_0 \quad (50)$$

$$Ez(x_0) = \frac{\Gamma_p}{\sigma} (Ae^{\Gamma_p x_0} - Be^{-\Gamma_p x_0}) \quad (51)$$

Pe baza teoremei conservării componentelor tangențiale (cele două relații au modulele egale) și ținând seama de expresia lui Γ_p din:

$$\Gamma^2 = j\omega\sigma\mu \quad (\text{constanta de propagare în perete}), \quad (52)$$

se obține o a treia ecuație:

$$Ae^{\Gamma_p x_0} - Be^{-\Gamma_p x_0} = KH_i \cos(\Gamma_p x_0), \quad (53)$$

unde:
$$K = \frac{\mu_0}{\mu} \Gamma_p x_0. \quad (54)$$

Sistemul format din cele trei ecuații devine:

$$A = \frac{e^{\Gamma_p x_0} [H_e \cdot e^{\Gamma_p x_0} - H_i \cos(\Gamma_0 x_0)]}{1 - e^{2\Gamma_p x_0}}; \quad (55)$$

$$B = e^{3\Gamma_p x_0} [H_e \cdot e^{\Gamma_p x_0} - H_i \cos(\Gamma_0 x_0)]; \quad (56)$$

$$\cdot K_0 H_i \sin(\Gamma_0 x_0) e^{\Gamma_p x_0}$$

$$Hi = \frac{Ae^{\Gamma_p x_0} - Be^{-\Gamma_p x_0}}{K \cos(\Gamma_p x_0)}, \quad (57)$$

unde, așa cum s-a arătat:

$$K_0 = \frac{\mu_0}{\mu} \frac{\Gamma_p}{\Gamma_0} = j \frac{Z_0}{Z_s}; \quad K = \frac{\mu_0}{\mu} \Gamma_p x_0;$$

$$\Gamma_e = j\Gamma_0 = \Gamma_i.$$

Din relațiile (55), (56), (57) se calculează câmpul Hi , în centrul ecranului, precum și constantele A și B . Înlocuind pe A și B în relația (25) și punând $x=x_0+d$, se obține câmpul de reacție la suprafața peretelui.

Se obține câmpul Hi sub forma:

$$Hi = \frac{e^{4\Gamma_p x_0}}{K \cos \Gamma_p x_0 - K_0 \sin \Gamma_0 x_0 - 1 - e^{2\Gamma_p x_0} - \cos \Gamma_0 x_0} He \quad (58)$$

Cunoscând pe Hi , constantele A și B se calculează în funcție de acesta (se consideră că He este cunoscut de la început).

Cu relația (25) se calculează acum câmpul magnetic în peretele ecranului (câmpul de reacție). Dând lui x valoarea $x+d$ se obține expresia acestui câmp la fața exterioară a peretelui:

$$H_{pe} = Ae^{\Gamma(x_0+d)} + Be^{-\Gamma(x_0+d)} \quad (59)$$

4. CALCULUL CÂMPULUI ELECTRIC INDUS ÎN PERETE

Conform relației (13) - cazul când se neglijează curentul de deplasare, se calculează câmpul electric indus în ecran, sub forma:

$$Ez_p(x) = \frac{\Gamma}{\sigma} (Ae^{\Gamma_p x} - Be^{-\Gamma_p x}) \cos(\Gamma_0 x) \quad (60)$$

unde:

$$x_0 \leq |x| \leq x_0 + d$$

La suprafața exterioară a ecranului, câmpul electric indus va fi:

$$Ez_{pe}(x) = \frac{\Gamma_p}{\sigma_{Fe}} (Ae^{\Gamma_p(x_0+d)} - Be^{-\Gamma_p(x_0+d)}) \cos(\Gamma_0(x_0 + d)) \quad (61)$$

Și câmpul electric în peretele ecranului, respectiv la peretele exterior este neuniform, având caracter de undă staționară.

CALCULUL CÂMPULUI DE RADIAȚII REFLECTAT DE UN ECRAN METALIC, CU APLICAȚII

Constantele A și B sunt date de relațiile (55) și (56).

- Calculul densității curentului indus în peretele ecranului:

Cum câmpul magnetic în perete este:

$$\overline{H}_{yp}(x) = \overline{jH}_{yp}(x), \quad (62)$$

rezultă că singurele componente nenule ale lui \overline{rotH}_y sunt dirijate după axa Oz, respectiv paralel cu axa ecranului și perpendicular pe direcția lui H_y :

$$\overline{J}_{zp}(x) = \overline{rotH}_{yp}(x) = \overline{k}J_{zp}(x) \quad (63)$$

Dezvoltând rotorul, se obține:

$$J_{zp} = -\frac{\partial H_{yp}}{\partial x} = -\frac{\partial}{\partial x} \left(Ae^{\Gamma_p x} - Be^{-\Gamma_p x} \right) = \Gamma_p \left(Ae^{\Gamma_p x} + Be^{-\Gamma_p x} \right) \quad (64)$$

Acest curent va crea câmpul de reacție din peretele ecranului, $H_{yp}(x)$, care are sens opus câmpului de excitație (exterior).

- Calculul puterii radiate de câmpul de reacție al peretelui

Se calculează componentele câmpului, respectiv $H_{yp}(x)$ și $E_{zp}(x)$, pentru $x=x_0+d$, cu relațiile (25), respectiv (26):

$$H_{ype}(x) = \left(Ae^{\Gamma_p(x_0+d)} + Be^{-\Gamma_p(x_0+d)} \right) \quad (65)$$

$$E_{zpe}(x) = Z_s \left(Ae^{\Gamma_p(x_0+d)} - Be^{-\Gamma_p(x_0+d)} \right) \quad (66)$$

Ca urmare, densitatea de putere radiată de (la) perete, în exterior (reacția ecranului) va fi:

$$S_{xrpe} = E_{zpe} \cdot H_{ype} = Z_s \left(Ae^{\Gamma_p(x_0+d)} + Be^{-\Gamma_p(x_0+d)} \right) \left(Ae^{\Gamma_p(x_0+d)} - Be^{-\Gamma_p(x_0+d)} \right) \quad (\text{W/m}^2)$$

$$S_{xrpe} = Z_s \left(A^2 e^{2\Gamma_p(x_0+d)} - B^2 e^{-2\Gamma_p(x_0+d)} \right) \quad (\text{W/m}^2)$$

5. CONCLUZII

Lucrarea de față, unicat în literatura de specialitate pe plan mondial, propune o metodă de calcul a câmpului de radiații reflectat de pereți metalici sau alte structuri metalice, câmp produs de antenele radio și radar de pe o navă, pe baza Teoriei Ecranării. De asemenea, metoda poate fi utilizată și la uscat, având în vedere faptul că tot mai multe construcții industriale și rezidențiale conțin astfeș de structuri. Avantajul metodei constă în faptul că, prin cunoașterea nivelului câmpului reflectat, se pot lua măsuri de protecție adecvate pentru personalul care lucrează sau staționează în vecinătate, dar și pentru aparatura electronică din zonă, sensibilă la astfel de câmpuri.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Radu, S., *Introduction in Electromagnetic Compatibility, Vol.1 (Electronic Devices Shielding)*, „Gheorghe Asachi” Publishing House, Iasi, 1995
- [2] Mocanu, C.I., *Electromagnetic Field Theory*, Didactics and Pedagogy Publishing House Bucharest, 1981
- [3] Goedbloed, J.J., *Electromagnetic Compatibility, Philips Research Laboratories, Eindhoven, Holand, 1992* (English translation by Tom Holmes)
- [4] Sotir, A., *Disruptive Electromagnetic Interferences. Theory Fundamentals*, Military Publishing House, Bucharest, 2005
- [5] Niculescu, T., Cristea, I., Popa, V., *Antennas and Fiders – Designing Elements*, (Vol.1), Military Publishing House, București, 1986
- [6] *** European Standard ICNIRP – *GUIDE LINES FOR LIMITING EXPOSURE TO TIME-VARIING ELECTRIC, MAGNETIC AND ELECTROMAGNETIC FIELDS (UP TO 300 GHz)*.
- [7] *** NATO: STANAG – *Evaluation and Control of Personnel Exposure to Radio Frequency Fields – 3 kHz to 300GHz*
- [8] Ciocoi, I., *Research regarding electromagnetic compatibility on naval radio location equipment*, doctoral thesis, „Dunarea de Jos”, of Galatzi University, 2008.

Despre autor

Prof. em. dr. ing. **Alexandru SOTIR**

Academia Navală „Mircea cel Batrân” din Constanța

Profesor universitar emerit în cadrul departamentului Inginerie Electrică și Electronică Navală al Academiei Navale *Mircea cel Batrân* din Constanța. Este autorul unui număr de 15 cărți și 150 de articole științifice, în special în domeniul Compatibilității Electromagnetice, din care 12 cu cotație ISI. De asemenea a elaborat un număr de 25 de manuale, culegeri de probleme, sinteze și teste în domeniul Electrotehnicii. A obținut Ordinul *Virtutea Maritimă* în Grad de Cavaler și *Virtutea Maritimă* în Grad de Ofițer de la doi Președinți ai României, în anii 2002 și 2010. A primit un număr de 15 premii, medalii și diplome din partea Academiei Navale și a altor instituții de învățământ și cercetare, ca recunoaștere științifică a activității de cercetare în domeniile Ingineriei Electrice și Compatibilității Electromagnetice. A primit, de asemenea, medalii de aur și argint la Saloanele Internaționale de Inventică de la Iași, Bruxelles și Geneva. Este inițiatorul cercetărilor în domeniul Compatibilității Electromagnetice navale, în România, din anul 1994. Este membru fondator al ACER (Asociația de Compatibilitate Electromagnetică din România) și SRPRNI (Societatea Română de Protecție față de Radiațiile Electromagnetice Neionizante).