

1. TESTE de PRECONFORMITATE în CÂMP APROPIAT

1.1. Noțiuni de bază pentru generarea și propagarea câmpurilor electromagnetice

Orice conductor, aproximativ rectiliniu sau curbiliniu, supus unei diferențe de potențial rapid variabile sau parcurs de un curent electric de radio-frecvență, acționează ca o antenă emițătoare (parazită), radiind câmp electromagnetic (perturbator), care poate produce interferențe electromagnetice.

Factorul de legătură dintre diferența de potențial la care este supus un circuit și curentul stabilit prin el îl reprezintă impedanța Z a circuitului respectiv; impedanța unui circuit este un parametru care depinde de frecvența semnalului electric.

$$\frac{du}{dt} = Z \frac{di}{dt}, \quad (1.1)$$

O variație de tensiune va fi sursa unui câmp electric, în timp ce o variație de curent va fi sursa unui câmp magnetic.

În jurul oricărei antene emițătoare (parazite sau nu), se definește o suprafață sferică al cărei centru coincide cu antena, având raza invers proporțională cu frecvența emisiei.

Această suprafață sferică reprezintă o graniță aproximativă dintre două regiuni distincte din punct de vedere al propagării câmpurilor electromagnetice emise:

- în interiorul sferei avem regiunea de câmp apropiat;
- în exteriorul sferei avem regiunea de câmp depărtat.

Între aceste două regiuni principale există o zonă de tranziție, cu caracteristici intermediare.

Suportul matematic pentru explicarea acestor diferențe importante îl constituie ecuațiile deduse de Sckelkunoff din relațiile fundamentale ale lui Maxwell, referitoare la radiația dipolului electric, respectiv magnetic elementar, [1.1].

Prin definiție, raportul dintre componenta intensității câmpului electric și componenta intensității câmpului magnetic, situate în planul

TESTE de PRECONFORMITATE în CÂMP APROPIAT

perpendicular pe direcția de propagare, măsurate în același punct al spațiului, se numește impedanța de undă:

$$Z_u [\Omega] = \frac{E[V/m]}{H[A/m]} \quad (1.2)$$

Dacă sursa este un circuit deschis (la limită, un dipol-baston infinitesimal, elementar), impedanța Z a acestei surse va avea valori mari, (implicit, conform (1.1), variațiile de tensiune vor fi mari), câmpul predominant în zona limitrofă, apropiată, este electric, energia acestuia fiind atât radiantă (se propagă prin unde electromagnetice) cât și reactivă (înmagazinată capacitiv, nu se propagă prin radiație).

Dacă sursa este un circuit închis (la limită, o buclă elementară de suprafață infinitesimală), impedanța Z a acestei surse va avea valori mici, (implicit, conform (1.1), variațiile de curent vor fi mari) câmpul predominant în zona limitrofă, apropiată, este magnetic, energia acestuia fiind atât radiantă (se propagă prin unde electromagnetice) cât și reactivă (înmagazinată inductiv, nu se propagă prin radiație).

În esență, conform teoriei lui Maxwell și calculelor lui Sckelkunoff, un fir de lungime L (dipol electric), parcurs de un curent staționar de amplitudine I și frecvență f , produce la distanța r (mult mai mare decât L), un câmp staționar cu trei componente, două de câmp electric (una radiantă, E_θ și una reactivă E_r) și una câmpului magnetic, radiant H_ϕ (Fig. 1.1), exprimate în coordonate sferice cu formulele (1.3)÷(1.5):

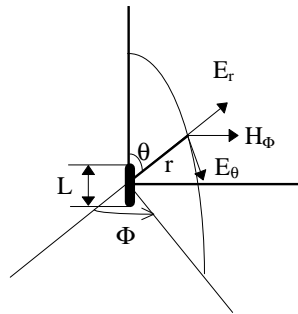


Fig. 1.1. Emisia dipolului electric elementar

$$E_\theta = \frac{IL\beta^3}{4\pi\epsilon\omega} \cdot \left[-\frac{1}{j(\beta r)} + \frac{1}{(\beta r)^2} + \frac{1}{j(\beta r)^3} \right] \cdot \sin\theta; \quad (1.3)$$

TESTE de PRECONFORMITATE în CÂMP APROPIAT

$$E_r = \frac{IL\beta^3}{2\pi\epsilon\omega} \cdot \left[\frac{1}{(\beta r)^2} + \frac{1}{j(\beta r)^3} \right] \cdot \cos \theta; \quad (1.4)$$

$$H_\phi = \frac{IL\beta^2}{4\pi} \cdot \left[-\frac{1}{j(\beta r)} + \frac{1}{(\beta r)^2} \right] \cdot \sin \theta; \quad (1.5)$$

În mod dual, câmpul generat de o buclă de arie foarte mică A , (dipol magnetic), parcursă de un curent staționar de amplitudine I și frecvență f , într-un punct situat la o distanță $r \gg \sqrt{\frac{A}{\pi}} \sqrt{\frac{A}{\pi}}$, are tot trei componente, două magnetice (una radiantă, H_θ și una reactivă H_r) și una electrică, radiantă, E_ϕ , (fig. 1.2), exprimate în coordonate sferice cu relațiile (1.6)÷(1.8):

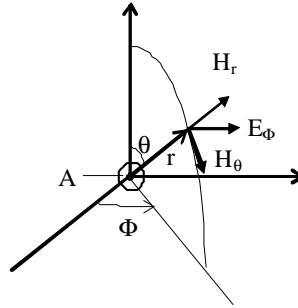


Fig. 1.2. Emisia dipolului magnetic elementar

$$H_\theta = \frac{IA\beta^3}{4\pi} \cdot \left[-\frac{1}{(\beta r)} - \frac{1}{j(\beta r)^2} + \frac{1}{(\beta r)^3} \right] \sin \theta; \quad (1.6)$$

$$H_r = \frac{IA\beta^3}{2\pi} \cdot \left[-\frac{1}{j(\beta r)^2} + \frac{1}{(\beta r)^3} \right] \cos \theta; \quad (1.7)$$

$$E_\phi = \frac{IA\beta^4}{4\pi\epsilon\omega} \cdot \left[-\frac{1}{(\beta r)} - \frac{1}{j(\beta r)^2} \right] \sin \theta; \quad (1.8)$$

În relațiile (1.3)÷(1.8), β reprezintă constanta de fază, egală cu $\frac{2\pi}{\lambda}$,

TESTE de PRECONFORMITATE în CÂMP APROPIAT

ω este frecvența radială, egală cu $2\pi f$, iar ε este permitivitatea electrică a mediului de propagare care, pentru valabilitatea formulelor de mai sus, trebuie să fie nemagnetic, neconductor și să nu conțină în apropiere mari suprafețe conductoare.

S-a notat cu λ lungimea undei prin care se propagă energia produsă de semnalul electric având frecvența f , mărime ce reprezintă spațiul parcurs de unda (care are viteza de propagare v în mediul respectiv), în timp de o perioadă, fiind deci invers proporțională cu frecvența semnalului generator.

$$\lambda = \frac{v}{f}; \quad (1.9)$$

Strict matematic, putem trasa în jurul fiecărei surse emițătoare de radiație electromagnetică având lungimea de undă λ , o suprafață sferică de rază $r = \lambda/2\pi$. Valoarea acestei raze virtuale este dedusă din condiția ca termenii de grad unu, doi și respectiv trei, din relațiile (1.3)-(1.8), să fie egali (în modul) între ei:

$$\frac{1}{\beta r} = \frac{1}{(\beta r)^2} = \frac{1}{(\beta r)^3} \text{ sau } r = \frac{1}{\beta} = \frac{\lambda}{2\pi} \quad (1.10)$$

În interiorul acestei sfere, așa numita zonă de câmp apropiat $r < \frac{\lambda}{2\pi}$,

produsul βr este subunitar, dominanți sunt termenii de grad mare (2 și 3) din relațiile (1.3)-(1.8). Componentele reactive (radiale, pe direcția razei ce unește „centrul” de radiație cu punctul de măsură) ale câmpului electric E_r , respectiv magnetic, H_r , au valori mari, dar scad cu pătratul distanței față de sursă.

Din formulele (1.2), (1.3) și (1.5) găsim impedanța undei prin care se propagă câmpul electric, în regiunea apropiată (se rețin în (1.3) și (1.5) termenii de grad maxim, 3 respectiv 2):

$$Z_e = \frac{E_\theta}{H_\phi} \cong \frac{IL\beta^3}{4\pi\varepsilon\omega} \times \frac{1}{j(\beta r)^3} \times \sin\theta \times \frac{4\pi}{IL\beta^2} \times \frac{(\beta r)^2}{\sin\theta} = \frac{1}{j\omega\varepsilon r} \quad (1.11)$$

Impedanța câmpului electric variază invers proporțional cu distanța față de centrul de radiație dar și cu frecvența oscilației generatoare, depinzând și de caracteristicile (permitivitatea electrică) mediului de propagare.

Din formulele (1.2), (1.6) și (1.8) găsim impedanța undei prin care se propagă câmpul magnetic în regiunea apropiată (se rețin în (1.6) și (1.8)

TESTE de PRECONFORMITATE în CÂMP APROPIAT

termenii de grad maxim, 3 respectiv 2):

$$Z_m = \frac{E_\phi}{H_\theta} = \frac{IA\beta^4}{4\pi\epsilon\omega} \times \frac{j}{(\beta r)^2} \times \sin\theta \times \frac{4\pi}{IA\beta^3} \times \frac{(\beta r)^3}{\sin\theta} \frac{j\beta^2 r}{\epsilon\omega} = j\omega\mu r \quad (1.12)$$

Impedanța câmpului magnetic variază direct proporțional cu distanța față de centrul de radiație dar și cu frecvența oscilației generatoare, depinzând și de caracteristicile (permeabilitatea magnetică) mediului de propagare.

Cu totul altfel se petrece propagarea în exteriorul acestei sfere, zona de câmp depărtat. Deoarece $r > \frac{\lambda}{2\pi}$, βr este supraunitar, dominanți devin termenii de grad unu, conținuți în componentele „radiative” E_θ H_ϕ , respectiv E_ϕ , H_θ situate în planul perpendicular pe direcția de propagare, în timp ce componentele reactive devin neglijabile.

Din formulele (1.2), (1.3), (1.5) respectiv (1.2), (1.6), (1.8) se obține aceeași valoare pentru impedanța de undă în câmp depărtat:

$$Z_u = \frac{E_\phi}{H_\theta} = \frac{E_\theta}{H_\phi} = \frac{\beta}{\epsilon\omega} = \frac{1}{v_u \epsilon} = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \quad (1.13)$$

În câmp depărtat, impedanța de undă depinde doar de proprietățile electrice și magnetice ale mediului, nu mai depinde de distanța față de sursă (raza sferei asociată punctului de măsură). Din acest motiv, unda electromagnetică de propagare în câmp depărtat se mai numește și undă plană.

Viteza de propagare a undelor electromagnetice într-un mediu nemagnetic și neconducător, având permitivitatea electrică ϵ și permeabilitatea magnetică μ , se calculează cu relația:

$$v_u = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\mu}} \quad (1.14)$$

Pentru cazul spațiului liber (vidul este limita teoretică a acestui concept), avem: $\epsilon_0 = \frac{1000}{36\pi} \cdot 10^{-12}$ F/m și $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m.

Înlocuind în relația (1.13) se obține pentru impedanța de undă în câmp depărtat valoarea 120π sau aproximativ 377Ω .

Înlocuind în relația (1.14) obținem 3×10^8 m/s, valoarea binecunoscută a vitezei de propagare în vid a luminii (undă

TESTE de PRECONFORMITATE în CÂMP APROPIAT

electromagnetică având frecvența în intervalul 430-750 THz).

Se observă din relațiile (1.11), (1.12) și (1.13) că impedanța undei plane este media geometrică a celor două impedanțe din câmp apropiat.

$$Z_u = \sqrt{Z_e Z_m} \quad (1.15)$$

În fig. 1.3 este reprezentată grafic variația impedanței de undă a radiației emise de cele două antene elementare (dipolul electric, respectiv magnetic), distanța dintre sursă și punctul de măsurare fiind normalizată prin $\lambda/2\pi$.

O abordare mai nuanțată trebuie să țină cont și de o firească zonă de tranziție.

Fie L cea mai mare dimensiune fizică a antenei emițătoare. Intervalul dintre $\lambda/2\pi$ și $2L^2/\lambda$ reprezintă zona de tranziție, numită și zona de radiație în câmp apropiat. Componenta radiantă a devenit dominantă, dar distribuția unghiulară a componentelor electric, respectiv magnetic se modifică încă cu distanța.

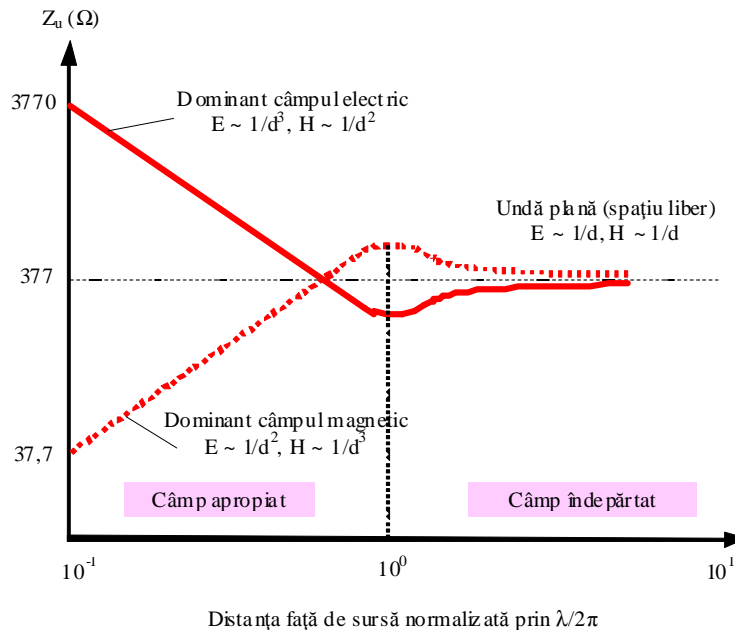


Fig. 1.3. Impedanța de undă a radiației emise de dipolul electric, respectiv magnetic, funcție de distanța dintre punctual de măsură și sursă.

În figura 1.4.a sunt reprezentate câmpul magnetic (linie continuă) și

TESTE de PRECONFORMITATE în CÂMP APROPIAT

câmpul electric (linie întreruptă), radiate de dipolul electric elementar iar în figura 1.4,b, aceleași câmpuri (cu aceeași convenție grafică), radiate de dipolul magnetic elementar.

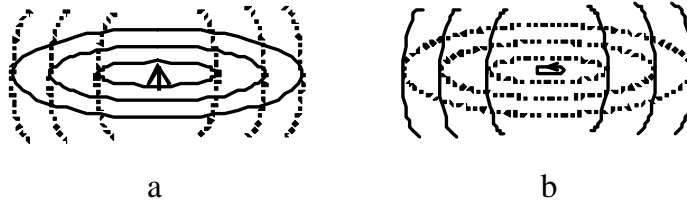


Fig. 1.3. Radiația electromagnetică a dipolilor elementari:
a) dipol electric , b) dipol magnetic

1.2. Locul și rolul măsurărilor în câmp apropiat

Testele de compatibilitate electromagnetică, obligatorii pentru aprobarea introducerii pe piață a unui produs electric sau electronic, se desfășoară conform unor norme riguroase, care impun utilizarea unor amenajări de testare scumpe: camere dublu ecranate, fără ecou și/sau spații deschise, libere de orice alte emisii electromagnetice (în engleză, Open Area Test Site, OATS). Aceste amenajări sunt greu de realizat, implicând și costuri de întreținere considerabile. OATS sunt și dificil de accesat, fiind de regulă situate la distanțe mari față de aglomerările urbane.

Este clar că achiziția, amplasarea și menținerea în stare de folosință, implicând și angajarea unor operatori cu înaltă calificare, a unor astfel de spații pentru testare, în condițiile dure impuse de omologare și acreditare, reprezintă un lux pe care nu și-l poate permite decât o instituție puternică, specializată, capabilă să asigure o încărcare economică permanentă a instalațiilor de test.

În esență, standardele de compatibilitate electromagnetică impun două tipuri de teste: de emisie și de susceptibilitate (sau imunitate). Distanța dintre antenă (antena receptoare, pentru testele de emisie, respectiv antena emițătoare, pentru testele de imunitate) și dispozitivul supus testării este de 3m și apoi de 10m. Un calcul imediat arată că distanța de 10 metri reprezintă limita inferioară a zonei de câmp depărtat pentru frecvențe de 4,8 MHz. Cu alte cuvinte, pentru larga majoritate a spectrului de radiofrecvențe, testele impuse de standarde implică măsurări în câmp depărtat.

TESTE de PRECONFORMITATE în CÂMP APROPIAT

În concluzie, măsurările în câmp depărtat, general acceptate și obligatorii, sunt mult mai precise și repetabile dar implică costuri considerabile și un consum de timp apreciabil. În plus, au o limitare esențială: nu indică exact care anume componentă sau subansamblu al echipamentului supus testării este emițătoare de perturbații în exces sau, în sens invers, care element este mai expus emisiilor perturbative. De asemenea nu oferă informații asupra locului pe unde „ies” din echipament emisiile perturbative sau pe unde „pătrund” preponderent aceste emisii în interiorul echipamentului. Mai simplu spus, măsurările în câmp depărtat certifică dacă echipamentul îndeplinește sau nu standardele specifice de compatibilitate electromagnetică, neoferind informații privind cauzele care determină neîncadrarea în standarde (atunci când este cazul).

Proiectanții, producătorii dar și utilizatorii cu personal calificat, au la dispoziție varianta pregătitoare, de „casă” sau de „pre-conformitate”, a testelor în câmp apropiat. Acestea se pot realiza cu aparatură accesibilă oricărui laborator. În general, o antenă receptoare este un traductor care convertește câmpul electromagnetic din zona respectivă, într-o diferență de potențial măsurabilă. Pentru cazul particular al măsurărilor în zona apropiată, traductorii de câmp sunt denumiți cu termenul generic de „probă”, folosit de regulă pentru cazul când traductorul lucrează într-un mediu fluid.

Principalul inconvenient al determinărilor de câmp în zona apropiată este precizia redusă, proba de câmp apropiat introducând deformări (imprevizibile și greu de cuantificat) ale geometriei liniilor câmpurilor măsurate, putând chiar acționa ca o nouă antenă emițătoare secundară. Altfel spus, măsurările în câmp apropiat au un caracter relativ, preponderent calitativ.

Principalul avantaj este că oferă informații asupra localizării surselor de emisie electromagnetică, a spectrului de frecvențe dar mai ales a naturii lor (predominant electrică, respectiv magnetică). Acest tip de măsurări pot identifica care sunt căile de ieșire către exterior a perturbațiilor electromagnetice generate în interiorul echipamentului. Aceste informații sunt esențiale pentru tratarea punctelor sensibile în raport cu emisia sau recepția perturbatoare încă din etapele de proiectare sau execuție prototip, atunci când soluțiile avute la dispoziție sunt mai variate, accesibile și au costuri reduse. Aceste date pot fi folositoare și în faza de utilizare, atunci când un operator avizat își ia propriile măsuri privind limitarea emisiilor electromagnetice parazite.

Așa cum s-a arătat în Fig. 1.3, în câmp apropiat, sursele pot genera

TESTE de PRECONFORMITATE în CÂMP APROPIAT

preponderent câmp magnetic sau câmp electric. Această informație care evident, poate fi disponibilă doar în urma măsurărilor în câmp apropiat, este utilă în alegerea metodelor celor mai eficiente de reducere a emisiilor corespunzătoare.

Un echipament considerat „zgomotos” în urma măsurărilor în câmp apropiat va avea șanse minime de încadrare în limitele impuse de normele de CEM, a căror respectare se certifică în baza unor măsurări în câmp depărtat, mult mai elaborate și mai costisitoare.

Complementar, trecerea cu succes a acestor teste de „preconformitate” sporește șansele de îndeplinire a condițiilor impuse de testele standardizate de conformitate.

O regulă empirică afirmă că dacă există o perturbație sesizată la măsurări în câmp depărtat, cu siguranță va exista o corespondență directă cu o perturbație sesizabilă în câmp apropiat (nu neaparat de aceeași frecvență).

Reciproca nu este valabilă. Este foarte posibil ca o perturbație identificată în câmp apropiat să nu se propage, să nu se regăsească practic în câmpul depărtat. Acest lucru se poate datora fie absenței unei „antene” emițătoare de dimensiune corelată cu lungimea de undă, fie datorită unui ecran eficient sau chiar faptului că energia este preponderent reactivă, nu radiantă.

Dacă proba de câmp apropiat are dimensiuni mai reduse, va avea o sensibilitate mai mică dar va permite localizarea cât mai precisă a sursei emițătoare. Pentru aceste probe se utilizează în literatura de limbă engleză și termenul „sniffer”, care adușmeacă, (asemeni unui ogar de vânătoare), identificând locația sursei care emite câmpuri electrice, respectiv magnetice cu potențial interferențial.

Probele de câmp apropiat sunt relativ ieftine, putând fi realizate și artizanal. Pentru calibrare este în principal necesară o celulă TEM (o incintă în care este generată o undă electromagnetice de frecvență variabilă, care se propagă în modul transversal, având practic aceleași proprietăți ca și o undă plană). Inclusiv pentru aceste celule TEM se pot realiza prototipuri de laborator, cu un cost redus, cu greutate mică, care acoperă cerințele unor teste de pre-conformitate, [1.2].

1.3. Probe pasive pentru măsurarea câmpului magnetic apropiat

În principiu, este vorba de o bobină cu una sau mai multe spire, care furnizează la borne o tensiune electromotoare proporțională cu viteza de variație a fluxului magnetic delimitat, conform legii inducției (Faraday).

Tensiunea indusă de un câmp magnetic variabil, $H \sin \omega t$ (având

TESTE de PRECONFORMITATE în CÂMP APROPIAT

frecvența $f = \frac{\omega}{2\pi}$) într-o bobină cu n spire, de suprafață S , situată perpendicular pe liniile de câmp magnetic, este dată de relația :

$$V(t) = -\frac{d\phi}{dt} = -\mu_0 n S H \frac{d \sin \omega t}{dt} = -2\pi f \mu_0 n S H \cos \omega t \quad (1.16)$$

Tensiunea indusă este proporțională cu intensitatea câmpului magnetic și cu frecvența acestuia. Sensibilitatea unei astfel de probe este direct proporțională cu suprafața transversală a bobinei și cu numărul de spire.

Creșterea suprafeței afectează rezoluția cu care proba poate identifica sursele de emisii perturbative iar creșterea numărului de spire poate limita funcționarea la frecvențe mai mari, datorită cuplajelor capacitive interspire.

Acest tip de probe este puternic directiv. Liniile de câmp paralele cu suprafața bobinei nu vor induce tensiune la bornele acesteia.

În esență, răspunsul unei astfel de probe este proporțional cu dI/dt , care este dominant atunci când impedanța sursei este mică.

1.3.1. Studiul experimental al unor semnale periodice de bază

Fiind vorba practic de o buclă în scurtcircuit, deci având impedanță redusă, proba este destinată măsurării cu preponderență a câmpurilor magnetice (sursă de impedanță mică) sau, altfel spus, perturbațiilor de mod diferențial!

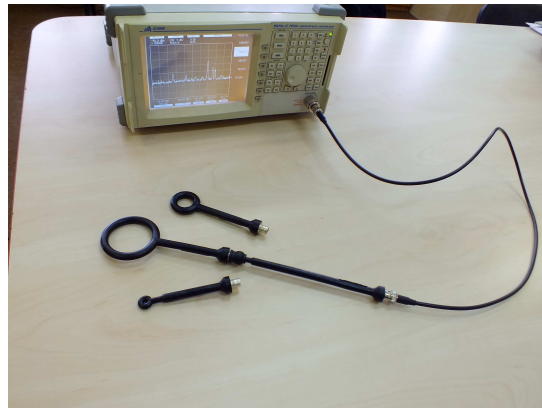


Fig.1.5. Setul de trei probe de câmp magnetic, 7405 ETS Lindgren

TESTE de PRECONFORMITATE în CÂMP APROPIAT

Legătura dintre proba tip „buclă” și circuitul inspectat este dată de inductanța lor mutuală.

Aceste probe pot fi realizate industrial (fig. 1.5) sau „artizanal”, într-un laborator de măsurări cu dotare obișnuită.

Cele trei probe au diametrele de 6 cm (cea mai mare sensibilitate), 3 cm, respectiv 1 cm (asigură cea mai bună rezoluție a identificării emisiei, dar cu prețul unei sensibilități mult reduse), [1.3].

Cea mai simplă modalitate de realizare în laborator a unei astfel de probe este bazată pe folosirea unui cablu coaxial ecranat, având impedanța caracteristică în RF de 50Ω . Se îndepărtează pe o porțiune de 5-15 cm, atât învelișul protector din PVC, cât și ecranul dar și izolația din polietilenă, rămânând doar miezul “cald” din cupru, a cărui extremitate rămasă liberă este lipită prin cositorire pe capătul învelișului de ecranare, fig.1.6. La cealaltă extremitate a cablului ecranat este lipit un conector coaxial de RF având tot impedanța standard de 50Ω cel mai uzual, □ tip BNC sau SMA).

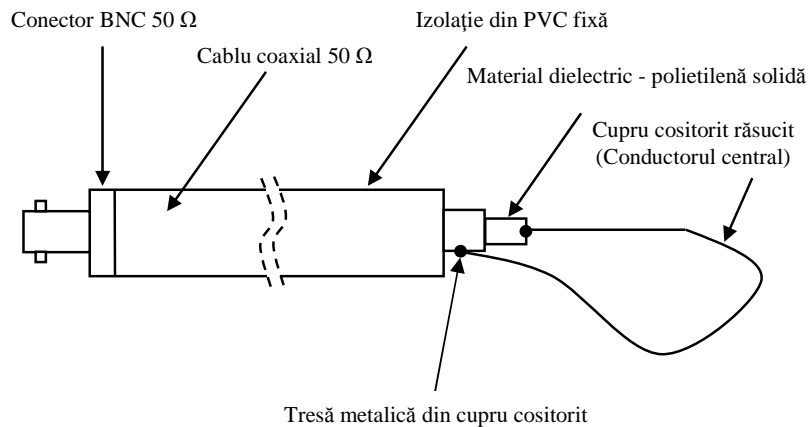


Fig.1.6. Probă tip buclă pentru identificarea emisiilor de câmp magnetic apropiat.

Proba din fig. 1.6 are două dezavantaje majore, [1.4]:

- nu este ecranată împotriva câmpurilor electrice, având în consecință un raport de rejecție H/E modest, lucru care deranjează atunci când se dorește stabilirea naturii dominante a sursei perturbatoare studiate;
- firul “cald”, conductor al buclei poate produce scurt-circuit atunci când sunt inspectate din apropiere diferite componente sau trasee de cablaj.

Soluția de principiu pentru aceste inconveniente este prezentată în fig.1.7.

TESTE de PRECONFORMITATE în CÂMP APROPIAT

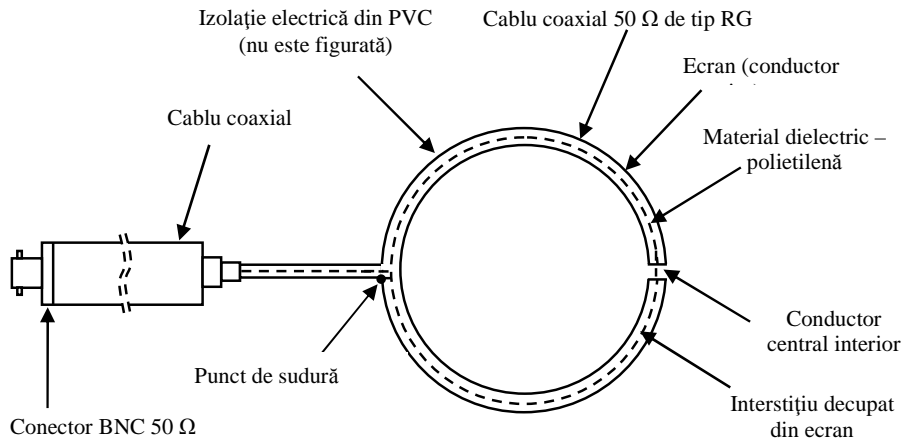


Fig.1.7. Probă de câmp magnetic realizată din cablu coaxial.

Se taie o bucată de cablu coaxial semi-rigid, având impedanța caracteristică de 50Ω , la un terminal se leagă conectorul dorit, celălalt capăt se dezizolează pe o porțiune mică, se îndoaie sub forma unei bucle circulare și se lipesc, atât firul central cât și ecranul buclei, la ecranul „mânerului” (prin cositorire, de jur împrejurul întregii circumferințe). La „mijlocul” buclei, în punctul diametral opus celui de „cositorire” se practică o fantă de câțiva mm în ecranul cablului coaxial, care este un ecran conductor tip Faraday, împotriva câmpurilor electrice. Această fantă crează un ecran „echilibrat”, care asigură o mai bună rejecție a câmpurilor electrice. În plus, această fantă nu permite stabilirea unor curenți induși în ecran, curenți ce ar produce câmpuri magnetice care s-ar suprapune în mod nedorit peste câmpul măsurat.

Învelișul din PVC al cablului coaxial (nedesenat în fig. 1.7, pentru claritatea figurii), are rol de izolator electric și nu este îndepărtat decât în zona necesară cositoririi.

Dacă se dorește identificarea traseelor de cablaj care emit câmpuri magnetice în exces, soluția cea mai bună o reprezintă proba dreptunghiulară, fig. 1.8, [1.5].

TESTE de PRECONFORMITATE în CÂMP APROPIAT

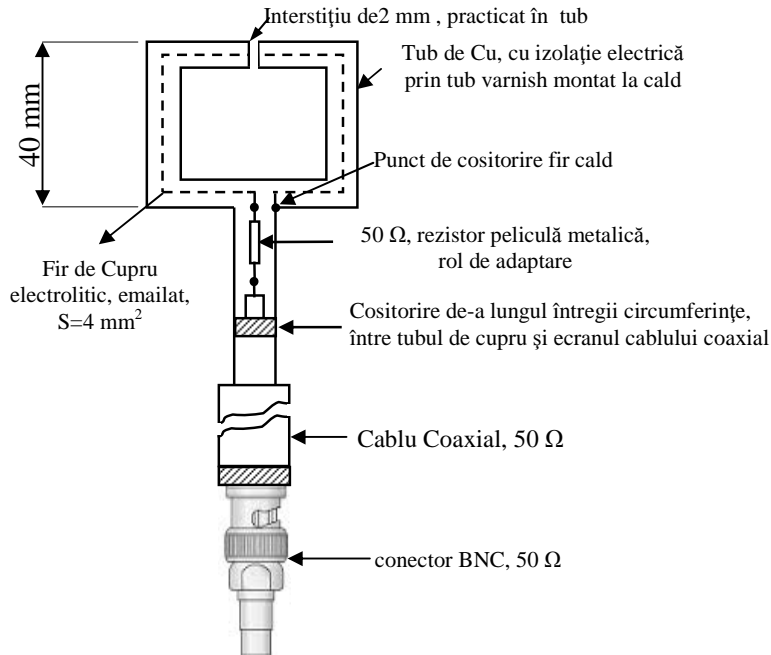


Fig.1.8. Probă dreptunghiulară de câmp magnetic

Proba este realizată din fir de Cupru electrolitic, masiv, conectat la un capăt prin intermediul unui rezistor cu peliculă metalică, tot de 50 Ω, la firul central al conectorului BNC, celălalt capăt fiind conectat la ecranul cablului coaxial cu rol de mâner. Rezistorul de 50 Ω minimizează reflexiile ce s-ar putea produce la conectarea probei la un osciloscop sau analizor spectral. Firul de Cupru este ecranat electric de o țevă tot din Cupru, având în punctul opus mânerului, o fantă de 2 mm. Pentru a nu produce scurtcircuite, țeava ecran este izolată cu un tub tip „varnish” montat la cald (prin răcire se contractă și rămâne fix).

Aceste probe tip buclă se plasează, pentru o maximă sensibilitate, de-a lungul traseelor de cablaj sau firelor care sunt suspectate de emisii magnetice în exces, fig. 1.9 (proba să conțină în planul ei porțiunea de fir sau de traseu de cablaj inspectată).

TESTE de PRECONFORMITATE în CÂMP APROPIAT

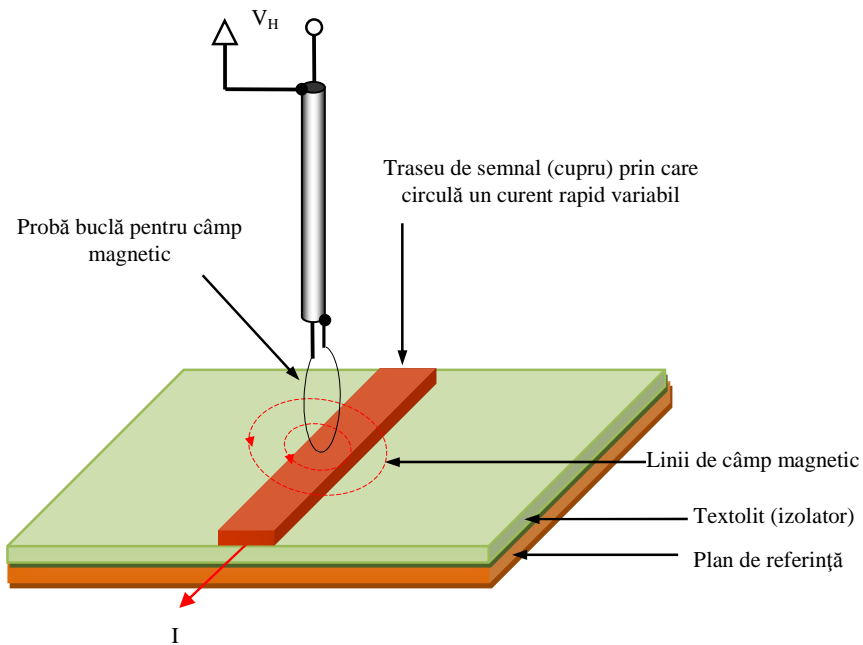


Fig.1.9. Poziționarea probei buclă de-a lungul traseului de cablaj

Un traseu de cablaj imprimat parcurs de un curent rapid variabil poate avea rolul de „antena emițătoare” a unui câmp magnetic perturbator.

Dacă prin rotirea cu 90^0 a planului buclei se obține o citire considerabil mai mică, cu siguranță traseul inspectat este parcurs de curenți care produc câmpuri magnetice ale căror linii sunt perpendiculare pe suprafața probei numai atunci când ea a fost poziționată de-a lungul traseului.

Un parametru foarte important pentru probele tip buclă îl reprezintă frecvența superioară de rezonanță. Este frecvența la care, datorită inductanței și capacității proprii a bobinei, au loc fenomene de rezonanță (oscilații) care afectează răspunsul probei.

$$f_{rez} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_p C_p}} \quad (1.17)$$

Se poate accepta aproximarea că atât capacitatea cât și inductanța proprie a probei sunt direct proporționale cu dimensiunea ei geometrică

TESTE de PRECONFORMITATE în CÂMP APROPIAT

maximă, în cazul cel mai uzual, diametrul ei D.

Pornind de la (1.17), pe baza unor alte aproximări, se ajunge la o formulă de calcul a frecvenței de rezonanță a unei probe, cu valoare orientativă:

$$f_{rez} = \frac{3 \times 10^8}{2\pi D} \quad (1.18)$$

Astfel, pentru proba buclă având diametrul de 6 cm se obține o frecvență de rezonanță de aproximativ 800MHz, în timp ce pentru proba mai mică, de diametru 3 cm, frecvența de rezonanță calculată se dublează, ajungând la 1600 MHz.

1.3.2 Probe de câmp magnetic cu mai multe spire

Din relația (1.16) rezultă o posibilitate de creștere a sensibilității probelor pasive destinate măsurării câmpului magnetic apropiat: creșterea numărului de spire. Este o posibilitate totuși limitată, mai ales datorită cuplajelor capacitive dintre spire, care nu mai pot fi neglijate odată cu creșterea frecvenței dar și de îndepărtarea de valoarea optimă, 50 Ω a impedanței la bornele probei. Odată cu creșterea numărului de spire, scade atât frecvența de rezonanță cât și rejecția câmpului electric.

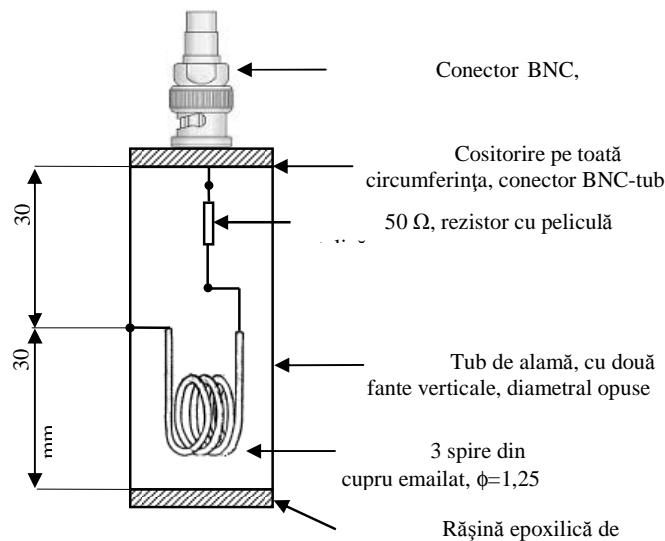


Fig.1.10. Probă de câmp magnetic cu trei spire, cu axa orizontală

TESTE de PRECONFORMITATE în CÂMP APROPIAT

Un compromis acceptabil privind creșterea sensibilității fără reducerea rezoluției îl reprezintă bobinele cu 3 până la maxim 5 spire, [1.5].

Proba din Fig. 1.10 este destinată măsurării câmpurilor magnetice ale căror linii sunt paralele cu placa de cablaj imprimat. Tubul de alamă asigură o bună ecranare electrică, cele două fante garantând întreruperea curenților eventual induși. Pe o lungime de 30 mm, jumătate din ecran este decupată și îndepărtată, pentru a putea permite intrarea liniilor de câmp în bobina de măsură. Tubul ecran este cositorit de-a lungul întregii circumferințe la ecranul unui conector BNC. Bobina senzor este formată din trei spire cu raza de 1,5 cm, având un capăt lipit la tubul ecran din alamă iar celălalt, prin intermediul unei rezistențe cu peliculă metalică de 50 Ω , la pinul central al conectorul BNC. Pentru a evita eventualele scurtcircuite ce s-ar putea produce în timpul măsurărilor, tubul de alamă a fost „îmbrăcat” cu un varnish din PVC montat la cald (prin răcire se fixează ferm) iar capătul de inspecție al probei a fost izolat electric (astupat) prin depunerea unei rășini epoxilice de uz dentar, cu o grosime de 2 mm.

În fig.1. 11 este prezentată o variantă constructivă foarte asemănătoare. De această dată, axa bobinei este verticală, permițând măsurarea emisiilor emergente din placa de circuit imprimat. Spirele bobinei pot fi mai multe, aici 5, dar datorită restricțiilor impuse de tubul ecran, dimensiunile lor sunt mai reduse, raza fiind doar de 1 cm.

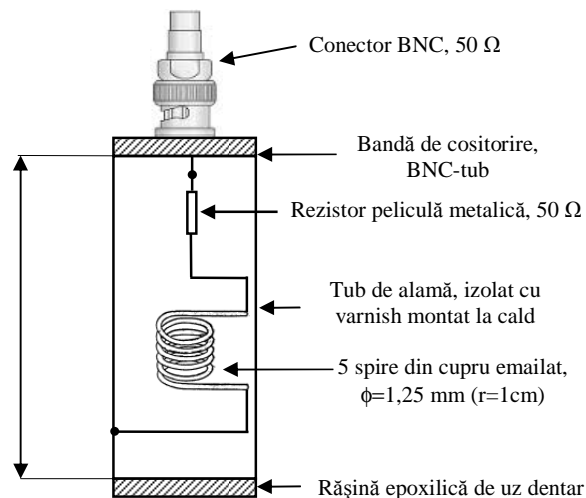


Fig. 1.11. Probă de câmp magnetic apropiat, cu 5 spire, axa perpendiculară pe placa de circuit, pentru măsurarea emisiilor emergente

TESTE de PRECONFORMITATE în CÂMP APROPIAT

1.4. Probe pasive pentru măsurarea câmpului electric (apropiat)

Sursele de câmp electric dominant au impedanță mare. Probele, care lucrează pe principiul tensiunii induse, sunt circuite practic deschise, neexistând posibilitatea închiderii unor curenți induși, asigurându-se astfel o foarte bună rejecție (peste 30dB) a câmpurilor magnetice. Altfel spus, aceste probe sunt destinate măsurării perturbațiilor de mod comun (care sunt produse de surse având impedanța internă foarte mare, de exemplu variațiile rapide de potențial ale traseelor de semnal față de referința sau împământarea generală).



Fig 1.12. Setul de două probe de câmp electric, 7405 ETS Lindgren

Răspunsul (tensiunea indusă pe o astfel de probă) este proporțional cu dV/dt .

Cele două tipuri uzuale de probe pasive de câmp electric apropiat sunt proba ciot (sau proba capăt liber), respectiv proba sferă (numită și probă minge), fig. 1.12.

Proba ciot este realizată foarte simplu, pe structura clasică a antenei monopol. Se ia o bucată de cablu coaxial de RF (semi-rigid, având impedanța de RF de 50Ω), se conectează la un capăt un conector (BNC sau SMA, tot de 50Ω), iar la celălalt capăt, devenit vârful probei, pe o lungime de 5-10 mm, se îndepărtează ecranul și izolațiile din PVC și polietilenă, rămânând expus la câmpuri electrice variabile doar conductorul central, fig.1.13.

TESTE de PRECONFORMITATE în CÂMP APROPIAT

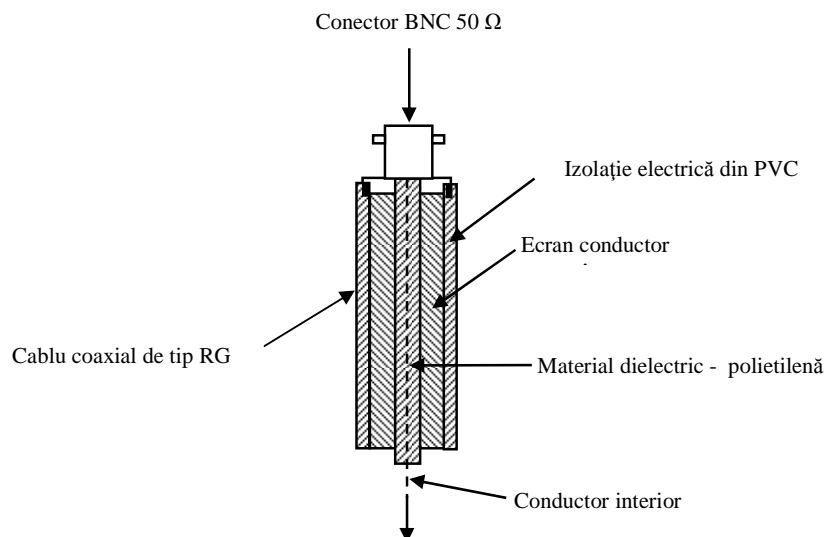


Fig.1.13. Principiul probei de câmp electric (capăt liber sau ciot).

Datorită lungimii relativ reduse, această probă are sensibilitate mică, dar prezintă avantajul unei localizări precise a sursei de radiație interferențială, la nivel de pin al unei anume componente.

Dacă se dorește o probă mult mai sensibilă (care să poată „culege” și câmpuri de valoare mai mică) cu prețul reducerii rezoluției, soluția o reprezintă proba tip „sferă”. Mânerul este construit din cablu coaxial semirigid de 50 Ω, legat la conectorul BNC prin intermediul unei rezistențe de 50 Ω, cu rol în adaptarea de impedanță. La celălalt capăt al cablului coaxial, conductorul central este lipit la o sferă conductoare, având diametrul de 3-5 cm. Ansamblul este rigidizat cu ajutorul unui material plastic care are și rol de izolație electrică, pentru prevenirea scurt-circuitelor ce s-ar putea produce în timpul măsurărilor.

Datorită simetriei spațiale prezentate, atât de proba ciot cât și de cea sferă sunt omnidirecționale.

Principial, câmpul electric este generat de diferența de potențial rapid variabilă, existentă între două suprafețe situate față în față. O astfel de situație des întâlnită este diferența de potențial dintre un traseu de semnal (situat pe o parte a cablajului dublu imprimat) și suprafața de referință (comunul), aflată pe cealaltă parte a plăcii. Pentru maximă sensibilitate, proba de câmp electric se poziționează perpendicular pe placa de circuit

TESTE de PRECONFORMITATE în CÂMP APROPIAT

imprimat, fig.1.14.

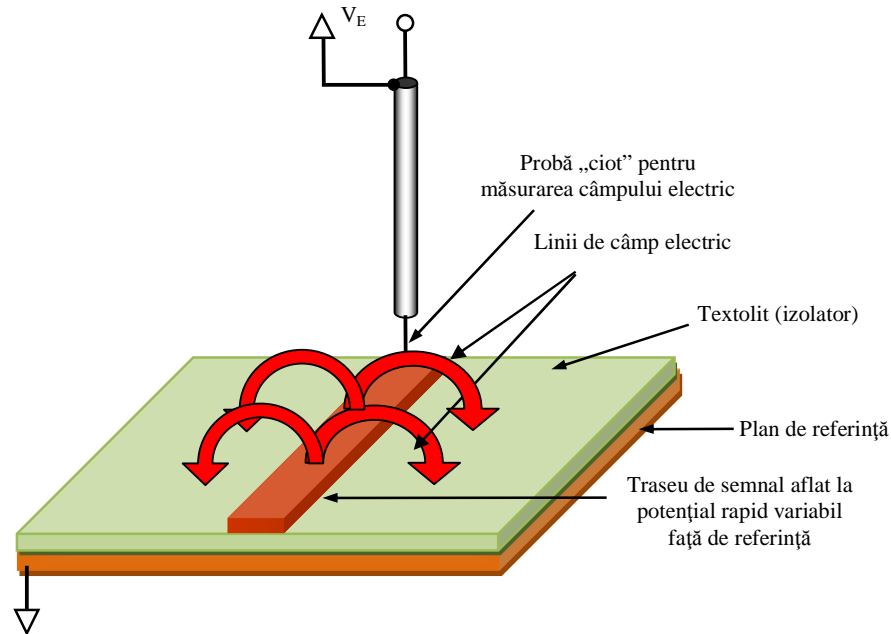


Fig. 1.14 Probă de câmp electric, plasată perpendicular pe placa de circuit dublu imprimat

1.5. Factorul de performanță al probelor de câmp

Probele de câmp (electric sau magnetic) sunt în esență niște traductoare care convertesc o anumită valoare a câmpului din spațiul în care se află plasate, în tensiune electrică, care poate fi ulterior prelucrată de instrumente de măsură. Ele au rol de antenă receptoare. De altfel, în literatura de specialitate, cuvântul probă este utilizat pentru a denumi un traductor care este introdus într-un fluid (aici, aerul).

Legătura dintre valoarea semnalului de intrare și semnalul electric măsurat la ieșire se numește caracteristica (funcția) de transfer a traductorului.

Pentru probele de câmp, această funcție de transfer se numește „factor de performanță (FP)”, reprezentând raportul dintre intensitatea câmpului (electric) existent în jurul probei și tensiunea indusă la bornele acesteia (în condiții cât mai apropiate de circuitul deschis ideal, adică impedanța de intrare a aparatului care va prelucra tensiunea electrică să fie

TESTE de PRECONFORMITATE în CÂMP APROPIAT

cel puțin de ordinul $M\Omega$).

$$FP[1/m] = \frac{E[V/m]}{V[V]} = \frac{H[A/m] \times Z_U[\Omega]}{V[V]} \quad (1.19)$$

O simplă analiză dimensională, ilustrată în fig. 1.15 arată că Factorul de performanță este exprimat în 1/m.

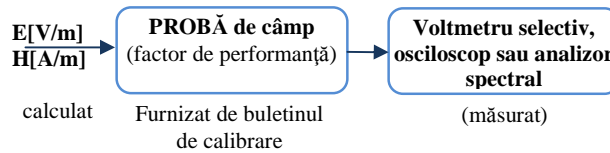


Fig. 1.15. Analiza dimensională pentru factorul de performanță

FP este dependent de frecvență și determinarea lui pentru o anumită probă (așa numita calibrare) se realizează în celule TEM (incinte ecranate, realizate din pereți absorbantți, în care este generată o undă electromagnetică transversală, asimilabilă cu o undă plană), impedanța de undă fiind 377Ω .

Practic toate graficele (de calibrare) pe care le oferă producătorii indică corespondența dintre câmp electric și tensiunea indusă, chiar dacă, în cazul în care e vorba de o probă de câmp magnetic, ea este relativ imună la câmp electric.

Această convenție este impusă de necesitatea ca proba să poată fi utilizată și la măsurări în câmp depărtat, când suntem în situația unei plane având impedanța de 377Ω .

Astfel, în baza formulei (1.2), se poate afla valoarea câmpului magnetic prin împărțirea valorii rezultate din graficul de calibrare la 377 .

Există multe situații în care, din dorința unei abordări uniforme, câmpul magnetic nu este exprimat în A/m sau Tesla, nici în Oersted sau Gauss, ci în V/m, divizarea prin 377Ω fiind subînțeleasă.

Relația (1.19) poate fi convertită în dB, prin logaritmare în baza 10 și multiplicare cu 20. Deoarece câmpurile măsurate cu astfel de probe sunt de regulă foarte mici, vom considera valori de referință pentru câmp $1\mu V/m$, respectiv $1\mu A/m$, tensiunea de referință corespunzătoare fiind $1\mu V$.

$$E\left[\frac{dB\mu V}{m}\right] = U_E[dB\mu V] + FP\left[\frac{dB}{m}\right] \quad (1.20)$$

TESTE de PRECONFORMITATE în CÂMP APROPIAT

$$H \left[\frac{dB\mu A}{m} \right] = U_H [dB\mu V] + FP \left[\frac{dB}{m} \right] - 20 \log 377 \quad (1.21)$$

Relația (1.21) poate fi interpretată în felul următor: pentru a calcula intensitatea câmpului magnetic (exprimată în dBμA/m), pornind de la tensiunea măsurată la bornele probei (exprimată în dBμV), adunăm valoarea FP, exprimată în dB/m, (citită pe graficul de calibrare, pentru frecvența la care se face măsurarea) și scădem corecția de $20 \log 377 = 51,52$ dB.

Deoarece proba de câmp magnetic (bucla în scurt-circuit) este puternic directivă, cu relația (1.21) se poate calcula doar componenta câmpului magnetic normală pe suprafața buclei.

Pentru frecvențe mai mici de 1 GHz, se poate accepta că valoarea tensiunii măsurată în circuit deschis este practic egală cu tensiunea electromotoare.

Dacă trecem în relația (1.16) la valori efective, obținem pentru raportul dintre H și V (tensiunea indusă la borne) valoarea din (1.22):

$$\frac{H}{V} = \frac{1}{2\pi\mu nS} \times \frac{1}{f} \quad (1.22)$$

Prin logaritmare și înmulțire cu 20 se obține relația în dB:

$$20 \log \frac{H}{V} [dB/m] = 20 \log \frac{1}{2\pi\mu nS} - 20 \log f = K_1 - 20 \log f [dB] \quad (1.23)$$

Din formula (1.23) se deduce că dependența dintre FP (exprimat în dB/m) și $lg f$ este descrescător liniară, panta fiind de 20 dB/m/decadă.

Dacă considerăm relația (1.2) pentru câmp depărtat, spațiul liber, relația (1.23) devine:

$$20 \log \frac{E}{V} [dB/m] = 20 \log \frac{377}{2\pi\mu nS} - 20 \log f = K_2 - 20 \log f [dB] \quad (1.24)$$

aceeași dependență descrescător liniară dintre FP și $lg f$ cu aceeași pantă de 20 dB/m/decadă.

Dependența se abate de la liniaritatea teoretică atât în domeniul frecvențelor joase cât și la valori ce depășesc frecvența de rezonanță proprie a probei!

Acest lucru este confirmat și de graficile de calibrare ridicate într-o celulă TEM, pentru 2 probe de câmp magnetic (Fig.1.16), respectiv câmp electric (Fig.1.17), [1.6].

TESTE de PRECONFORMITATE în CÂMP APROPIAT

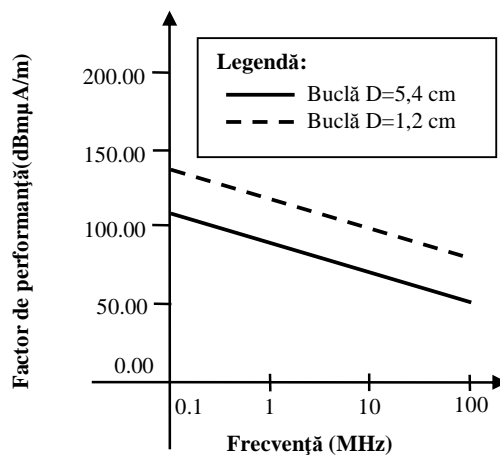


Fig. 1.16. Graficul de calibrare (trasat în celulă TEM) pentru două probe de câmp magnetic, având diametrul buclei de 5,4 cm, respectiv 1,2 cm. (*FP* exprimat în dB/m și scară logaritmică pentru axa frecvențelor).

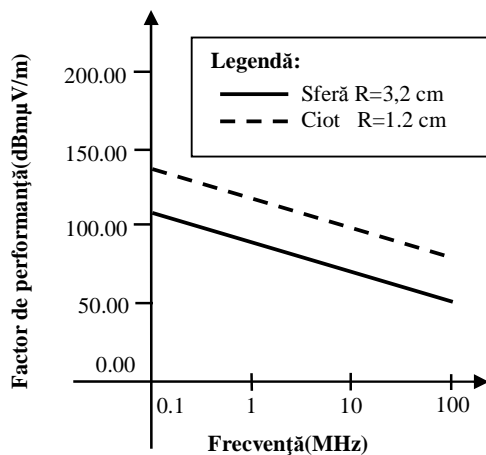


Fig. 1.17 Graficul de calibrare (trasat în celulă TEM) pentru două probe de câmp electric, „sferă” cu diametrul de 3,2 cm, respectiv „ciot”, cu lungimea de 8 mm. (*FP* exprimat în dB/m și scară logaritmică pentru axa frecvențelor).

Se observă și în fig. 1.16 și 1.17, dar se poate deduce și din relația (1.19), cu cât proba este mai puțin sensibilă, cu atât factorul de performanță are o valoare mai mare.

Deoarece tensiunea indusă la bornele probei crește direct

TESTE de PRECONFORMITATE în CÂMP APROPIAT

proporțional cu frecvența câmpului, graficul $FP(dB/m)$ vs. lgf va fi descrescător.

O altă modalitate (asemănătoare) de exprimare a “sensibilității” probei o reprezintă trasarea puterii măsurate la ieșire (exprimată în dBm(watt)) funcție de logaritmul frecvenței, atunci când sunt expuse unor câmpuri electrice sau magnetice calibrate. Ca ordin de mărime, e bine de reținut că valorile câmpurilor calibrate uzuale sunt de regulă, (pentru a facilita inter-comparațiile), 1 V/m, respectiv 1 mT.

Graficul puterii la ieșirea probei, exprimată în dBm (măsurată pe impedanța standard de RF de 50 Ω), funcție de lgf va fi tot liniar, dar de această dată crescător.

Liniaritatea graficului este respectată tot până în apropierea frecvenței de rezonanță specifice probei respective, calculată orientativ cu relațiile (1.17) și (1.18).

Obs. În literatura de specialitate se utilizează în general termenul „factor de antenă”, exprimat în 1/m, respectiv dB/m, fiind definit de asemenea ca raport între intensitatea câmpului electric în punctul stabilit și tensiunea corespunzător indusă la bornele antenei.

Pentru măsurări în câmp depărtat, când aproximarea privind frontul drept al unde plane devine acceptabilă, vorbim de antene caracterizate prin factorul de antenă.

Pentru măsurări în câmp apropiat, „antenele” folosite sunt denumite „probe” iar factorul lor de antenă poartă denumirea specifică de „factor de performanță”. Altfel spus, „factorul de performanță-FP” este denumirea specifică a „factorului de antenă-FA” pentru aceste probe, antene receptoare special destinate măsurărilor în câmp apropiat.

1.6. Tehnici de lucru cu probele de câmp apropiat

1.6.1. Transformarea din domeniul frecvență în domeniul timp

Să presupunem că măsurările de emisie pentru un anumit echipament supus testării (EST) efectuate, conform normelor, în câmp depărtat, indică o depășire cu 12 dB a nivelului acceptat la o anumită frecvență, de exemplu 50 MHz, problemă semnalată de analizorul spectral.

Pentru depanarea corectă a acestei probleme, inginerul EMC trebuie să identifice, prin măsurări în câmp apropiat, care circuit sau subsamblu al EST este responsabil de această emisie în exces și care este „fisura” prin carcasa ecran a echipamentului care permite propagarea perturbației în spațiu. Aici trebuie identificată atât sursa de energie propriu-zisă cât și

TESTE de PRECONFORMITATE în CÂMP APROPIAT

„antena” care permite propagarea acestei energii, sub formă de undă electromagnetică.

În prima etapă trebuie „demodulat” semnalul perturbator, așa cum este el recepțional în câmp depărtat. Ca principiu, utilitatea acestei demodulări se bazează pe faptul că o perturbație de joasă sau medie frecvență are un potențial de propagare redus, vezi relațiile (1.3)-(1.8). Concret, semnalul de 42 kHz asociat funcționării unei surse în comutație, nu poate determina o depășire a nivelului admis, măsurat la 10 metri de EST, decât dacă modulează un semnal de o frecvență mult mai ridicată, care are caracteristici de propagare mult mai bune.

Obs. Existența multiplelor procese de modulare este cea mai bună justificare a faptului că de cele mai multe ori, nu se poate pune semnul egal între frecvența la care se înregistrează depășiri în câmp depărtat și frecvența proprie a sursei de energie ce cauzează interferența.

Pentru demodulare, cea mai eficientă tehnică este oferită de facilitatea „0 span” a analizorului spectral. În exemplul nostru, se setează atât frecvența inferioară cât și frecvența superioară a intervalului testat la aceeași valoare de 50 MHz. În acest fel analizorul spectral devine un receptor acordat, un osciloscop care afișează pe ecran evoluția în timp a semnalului recepționat, având frecvența de 50 MHz. Putem spune că s-a făcut transformarea din domeniul frecvență (analizor spectral) în domeniul timp (osciloscop). Din forma de undă vizualizată pe ecran se pot desprinde concluzii referitoare la sursa de perturbații de joasă-medie frecvență care modulează semnalul de 50 MHz și care se propagă în exteriorul EST. Cu alte cuvinte, am transformat o problemă identificată în domeniul frecvență într-o formă de undă vizibilă, desfășurată în domeniul timp, care permite extragerea unor concluzii practice corecte.

De exemplu, dacă semnalul de 50 MHz pulsează cu o frecvență de 42 kHz, atunci cu siguranță trebuie limitată emisia datorată sursei care are frecvența de comutație 42 kHz.

Un alt element care poate fi utilizat pentru identificarea sursei emițătoare este legat de spectrul de frecvențe crescut conținut în fronturile crescătoare sau descrescătoare ale unui semnal de tact. De exemplu, pe ecranul analizorului spectral devenit osciloscop, apare o formă de undă cu o frecvență de 160 MHz, deși oscilatorul de tact lucrează pe frecvența de 20 MHz. Trebuie reținut faptul că un semnal perturbator de frecvență relativ ridicată, se poate datora fronturilor crescătoare sau descrescătoare ale unui semnal dreptunghiular care are frecvența de 4 până la 8 ori mai mică. În cazul aici prezentat, este posibil ca perturbația de 160 MHz să fie datorată

TESTE de PRECONFORMITATE în CÂMP APROPIAT

fronturilor crescătoare sau descrescătoare ale tactului de 20 MHz.

1.6.2. Identificarea surselor de radiație

Pentru a stabili cât mai rapid și mai exact locația sursei de perturbații, este recomandabil să se efectueze următoarea succesiune de determinări.

- a. Se încep măsurările în afara EST, utilizând proba buclă de cel mai mare diametru (în laborator, proba 901, ETS Lindgren, buclă cu diametru de 6 cm). Este cea mai sensibilă și directivă. Se setează analizorul spectral pe frecvența centrală identificată pe baza celor expuse în subcapitolul 1.6.1, cu opțiunea „0 span”. Pentru creșterea sensibilității, între probă și analizor se poate insera opțional un preamplificator de bandă largă. Pe suprafața unei sfere cu raza de aproximativ 1 m, având drept centru EST, menținând suprafața senzorului buclă aproximativ tangentă la această sferă imaginară, se caută punctul de maximă recepție. Se apropie senzorul buclă de EST, urmând aceasta „rază” imaginară a „emisiei maxime”.
- b. Se stabilește în acest fel zona „vulnerabilă” a ecranului EST prin care radiația electromagnetică părăsește echipamentul propriu-zis și se propagă în mediul înconjurător.
- c. Se înlătură (eventual doar parțial) ecranul-carcasă al EST, urmărindu-se identificarea sursei de radiație perturbatoare în exces, la nivel de componentă (sau traseu pe cablaj). Pentru o cât mai bună rezoluție (spațială) în determinarea locației sursei de putere radiantă (se poate merge până la nivel de pin de circuit integrat), se înlocuiesc treptat probele de dimensiuni mai mari cu cele de dimensiuni mai mici; deoarece la acest moment nu se cunoaște exact natura câmpului dominant se vor folosi atât probe de câmp magnetic cât și de câmp electric.

Obs. În această etapă a identificării sursei de putere radiantă, se poate folosi un osciloscop standard, cu probe obișnuite de osciloscopsau cu probe de câmp electric sau magnetic apropiat, pentru a putea vizualiza în domeniul timp, forma de undă a diverselor semnale cu potențial perturbator.

În figura 1.18 este prezentat un ecran salvat în urma unei măsurări efectuate cu osciloscopul Tektronix DPO 7254, având lățimea de bandă de 2,5 GHz și o viteză de eșantionare în timp real de 40GS/s. Osciloscopul este echipat cu o probă de câmp electric tip „sferă” plasată în apropierea sursei de alimentare în comutație.

TESTE de PRECONFORMITATE în CÂMP APROPIAT

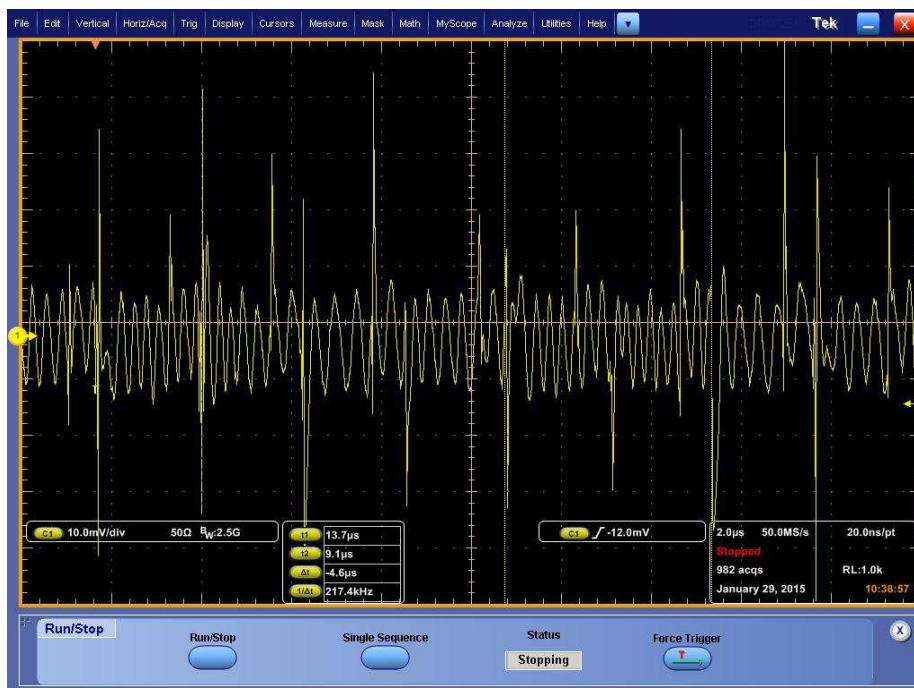


Fig. 1.18 Semnalul captat de o probă tip „sferă” conectată la osciloscopul DPO 7254

Identificarea emisiilor perturbatoare produse de oscilatorul de tact se poate face în aceeași manieră. În cazul utilizării unor probe de câmp magnetic apropiat în legătură cu osciloscopul, se poate captura imaginea din figura 1.19.

Aceste osciloscopuri digitale moderne au și opțiunea calculării și afișării spectrului semnalului inspectat. Practic, pe unul din canale avem afișat semnalul în domeniul timp iar pe celălalt în domeniul frecvență, așa cum se arată în figura 1.19

Altfel spus, identificarea unei probleme de interferențe electromagnetice se face în baza unei măsurări în domeniul frecvență, cu analizorul spectral și antena (proba) asociată. Pentru vizualizarea semnalului electric (curent sau tensiune) răspunzător de această interferență, se face o măsurare în domeniul timp, cu osciloscopul și probele specifice.

O metodă de localizare infailibilă a sursei este decuplarea alimentării etajului „suspectat”. Dacă perturbația dispare odată cu suprimarea alimentării unui anume etaj, concluzia privind locația sursei perturbatoare este imediată.

TESTE de PRECONFORMITATE în CÂMP APROPIAT



Fig. 1.19 Semnalul captat de o probă tip „buclă” conectată la osciloscopul DPO 7254

1.6.3. Identificarea surselor de radiație

Este o etapă esențială în justificarea utilității deosebite a măsurărilor în câmp apropiat.

În esență, metodele eficiente în reducerea radiației unei surse de câmp magnetic dominant sunt diferite față de metodele care au eficiență în reducerea radiației unei surse de câmp electric dominant.

Din considerente de gabarit, greutate și mai ales cost, proiectantul unui anumit dispozitiv este constrâns să adopte din multitudinea de soluții generale, doar acele variante antiinterferențiale care sunt cu adevărat eficiente și necesare.

Impedanța unei surse de câmp (sursă de curent rapid variabil sau de tensiune rapid variabilă) este cea care determină impedanța de undă a câmpului radiat în zona apropiată.

Așa cum rezultă din Fig.1.3, în zona apropiată, dacă raportul dintre valoarea

TESTE de PRECONFORMITATE în CÂMP APROPIAT



Fig. 1.20 Semnal analizat și afișat în domeniul timp (trasa galbenă) și în domeniul frecvență (trasa violetă)

câmpului electric și cea a câmpului magnetic într-un anumit punct (impedanța de undă, conform definiției din relația (1.2)) este mai mare decât 377Ω , atunci dominant este câmpul electric E , care apare de regulă datorită unei variații rapide a diferenței de potențial a unei componente sau a unui traseu față de referința comună. Altfel spus, natura perturbației este de mod comun, impedanța circuitului activ față împământarea generală fiind mare.

Prin antiteză, dacă în zona apropiată, raportul dintre valoarea câmpului electric și cea corespunzătoare a câmpului magnetic este mai mică decât 377Ω , atunci dominant este câmpul magnetic H , care apare datorită unei variații rapide a unui curent, printr-un traseu care are impedanță relativ mică. Natura perturbației este de mod diferențial.

Metodologia de lucru este următoarea:

- a. Se alege două sau trei linii imaginare, aproximativ drepte, care converg către sursa de energie radiantă identificată conform metodologiei de la punctul 1.6.2.

TESTE de PRECONFORMITATE în CÂMP APROPIAT

- b. Se aleg pe fiecare din aceste linii trei puncte, situate de exemplu la 0,3, 0,6 și respectiv 0,9 metri față de sursa studiată. Aceste distanțe relativ mici garantează că măsurările se vor efectua în regiunea de câmp apropiat.
- c. În fiecare din punctele anterior alese, se măsoară cu o probă de câmp electric valoarea E iar cu o probă de câmp magnetic (orientată tangent la suprafața sferei care are centrul în sursa de perturbații) valoarea H . Cu alte cuvinte, se face o estimare a impedanței de undă a câmpului existent în punctele alese.
- d. Dacă se constată o scădere a impedanței de undă, mergând de la sursă către exterior, înseamnă că dominant este câmpul electric, deci avem o problemă legată de variația rapidă a unei diferențe de potențial, stabilite peste o impedanță de valoare mare; perturbația se manifestă ca un semnal de mod comun. Aici trebuie subliniat că o susceptibilitate crescută a rezultatelor citirilor față de poziția probei, a cablului care o leagă la osciloscop sau chiar a operatorului este un indice pentru existența unei surse de energie radiantă de impedanță mare, care-i conferă o sensibilitate sporită la perturbații.
- e. Dacă se constată o creștere a impedanței de undă, mergând de la sursă către exterior, înseamnă că dominant este câmpul magnetic, deci avem o problemă legată de variația rapidă a unui curent, stabilit printr-o impedanță de valoare mică; perturbația se manifestă ca un semnal de mod diferențial.
- f. Trebuie încă odată precizat că aceste măsurări în câmp apropiat au un caracter orientativ, calitativ, fiind afectate de surse de eroare a căror eliminare este sau imposibilă sau nu justifică efortul. Cele mai importante dar relativ imprecizabile surse de eroare sunt cuplajele capacitive stabilite între probă și diverse elemente ale dispozitivului, care pot transforma această probă într-o antenă emițătoare fortuită. A doua sursă de eroare o pot constitui câmpurile reactive (stocate în diverse elemente capacitive sau inductive), care nu se propagă, dar care pot avea valori apreciabile în câmp apropiat. De aceea, este imposibil ca scăderea, respectiv creșterea calculată a impedanței de undă să fie liniară cu distanța, conform Fig.1.3. Importantă este stabilirea tendinței de scădere, respectiv creștere cu distanța.

Dacă perturbația se manifestă ca un semnal de mod comun (diferență de potențial în exces, deci o impedanță prea mare), cele mai uzuale metode de reducere care pot fi luate în calcul de către proiectant sau chiar un utilizator instruit, sunt:

TESTE de PRECONFORMITATE în CÂMP APROPIAT

- a. Reducerea impedanței dintre liniile de alimentare și împământare. Acest deziderat se poate materializa prin suplimentarea condensatoarelor de decuplare dintre alimentare și împământare și prin desenarea traseelor de alimentare, respectiv de împământare, sub forma unor rețele sau chiar planuri de referință.
- b. Reducerea inductanțelor „serie” ale traseelor de alimentare sau semnal prin creșterea lățimii lor sau prin scurtarea lungimii.
- c. Reducerea inductanței prezentate de terminalele diferitelor componente, prin scurtarea lor și plasarea cât mai aproape de cablaj.
- d. Repoziționarea cablurilor de intrare/ieșire (de multe ori, cabluri panglică) față de traseele sau planurile conectate la împământare. Din structura generală a împământării, este de preferat vecinătatea suprafețelor mai mari, care implică impedanțe mai mici.
- e. Plasarea unor filtre trece jos, de mod comun, pe liniile de ieșire din echipament. Cele mai recomandate sunt cele realizate cu elemente disipative, energia de RF rejectată de filtru se transformă în căldură disipată. O altă variantă din aceeași categorie ar fi înserierea unor bobine pe traseele de semnal sau decuplarea capacitivă a traseelor de intrare/ieșire față de șasiul împământat.
- f. Ecranele și carcusele metalice existente în dispozitiv să fie conectate la pământ într-o zonă (sau chiar un plan) care să fie diferită de împământarea de semnal.

Dacă perturbația se manifestă ca un semnal de mod diferențial (curent mare, datorat unei impedanțe mici, stabilit într-o anumită buclă), cele mai uzuale metode de reducere care pot fi luate în calcul de către proiectant sau un utilizator instruit, sunt:

- a. Reducerea suprafeței delimitate de bucla radiantă (cablare și pozare îngrijită a liniilor de semnal, eventual cablu panglică sau torsadat).
- b. Ecranarea cât mai completă a buclei radiante.
- c. Reducerea (pe cât posibil) a amplitudinii tensiunii semnalului radiant.
- d. Înserierea unuia sau chiar două filtre trece jos (eventual unul plasat pe turul, celalalt pe returul „buclei” diferențiale).

1.7. Lucrări de efectuat în laborator

Aplicând succesiunile de operații detaliate în paragrafele 1.6.2 și 1.6.3, se vor măsura perturbațiile produse în câmp depărtat, respectiv în câmp apropiat, de un calculator personal.

O atenție specială se va acorda oscilatorului de tact și sursei de

TESTE de PRECONFORMITATE în CÂMP APROPIAT

alimentare în comutație, determinându-se natura câmpului dominant, radiat de fiecare din cele două surse.

Bibliografie

- [1]. Salceanu A., Cretu M., Sarmasanu C., 1999, *Zgomote si interferente in instrumentatie*, Editura Cerami, Iasi, 240 pagini, ISBN: 973-9378-56-2
- [2]. Sandeep M. Satav, Vivek Agarwal, *Do-it-Yourself Fabrication of an Open TEM Cell for EMC Pre-compliance*, www.ewh.ieee.org/soc/emcs/acstrial/.../pp2.pdf.
- [3]. ETS Lindgren L.P.TM, *Near-Field Probe Set, User Manual*, Cedar Park, Texas, October 2009.
- [4]. Salceanu A., Paulet M., Lunca E., 2003, *Techniques, Checklists and Audit for the Emissive Potentials Evaluation*, 4-th International Conference on Electromechanical and Power Systems SIELMEN 2003, Chisinau, 109-112, ISBN 9975-9771-1-1.
- [5]. Oana Maria Neacsu, Marius Valerian Paulet, Andrei Salceanu, *Expanding the functionality of an EMF spectrum analyzer with self-performed near field probes*, Proceedings of Electrical and Power Engineering (EPE) 2014 International Conference, Iasi, October 2014, pp. 784 - 788
- [6]. Salceanu A., Sarmasanu C., Cretu M., 2001, *An Approach for Near-Field Measurement of Radiated Emissions from Digital Circuits*, 11-th IMEKO TC-4 Symposium on Trends in Electrical Measurement and Instrumentation, Lisbon, Portugal, 28-31, ISBN 972-98115-4-7