

Ecranarea electromagnetă de bandă largă – cercetări avansate în ICPE-CA pentru creșterea vizibilității științifice

Laboratorul de Compatibilitate Electromagnetică din INC DIE ICPE-CA desfășoară o activitate complexă care include deopotrivă servicii de încercări specifice, susceptibilitate și emisivitate, într-o gamă largă de frecvențe (10Hz – 18GHz), colaborări cu alte entități din domeniul cercetării sau societăți comerciale, precum și alte activități conexe. Aceste colaborări se desfășoară prin comenzi sau contracte directe, sau în cadrul unor contracte de cercetare științifică. În domeniul interacțiunii câmpului electromagnetic cu substanța, în speță ecranarea electromagnetică, specialiștii din institut au abordat o direcție de cercetare relativ nouă. Aceasta constă în validarea experimentală a predicțiilor teoretice privind eficacitatea ecranării electromagnetice (SE_{dB}) atribuită materialelor conductive, cu sau fără proprietăți magnetice, validare care nu a fost demonstrată pe plan mondial, până în momentul de față.

 **Dr. ing. Mihai Bădic,**
CSI, ICPE-CA

Situația științifică generală

Foarte sintetic și evitând ecuațiile destul de complicate, în corpul numerelor complexe, un material cu proprietăți conductive și/sau magnetice, prezintă o curbă caracteristică pentru a descrie funcționala: $SE_{dB} = F(d, \sigma, \mu, r, f)$, unde d este grosimea ecranului, σ și μ sunt parametrii macroscopici reprezentând conductivitatea electrică, respectiv permeabilitatea magnetică, r este distanța de la antenă la ecran, iar f reprezintă frecvența. În figura 1 se reprezintă funcția $SE_{dB} = F(f)$ și se arată mecanismul generării de curbe parametrice prin variația parametrului

r , respectiv d . Parametrii macroscopici determină aspectul curbei caracteristice. Așa cum se observa, se poate considera ca această curbă prezintă trei ramuri caracteristice: câmp generat electric (E), câmp generat magnetic (M) și zona Fraunhofer a undelor plane (P).

Relațiile care sunt reprezentate grafic în figură sunt obținute din ecuațiile Maxwell și sunt presupuse corecte. Această aserțiune derivă din faptul că aceleași ecuații de propagare se folosesc în fizică, la interferometrul Fabri-Perot, lumina fiind, după cum se știe, o radiație electromagnetică. În cadrul Opticii aceste relații au fost validate experimental.

Verificarea experimentală și în radiofrecvență a acestor relații, respectiv a curbei din figură, ar avea, deopotrivă, o importanță teoretică dincolo de domeniul electrodinamicii clasice, și o importanță practică deosebită, așa cum se va vedea în continuare.

De-a lungul timpului, s-au elaborat mai multe standarde civile și militare pentru testarea materialelor la ecranare electromagnetică, dar toate au fost abrogate, rând pe rând (cu excepția standardului ASTM D4935-99), nefiind adecvate scopului propus. Chiar și acesta este valabil cu limitări drastice, adică numai pentru zona undelor plane, și numai pentru probe subțiri din punct de

vedere electric: $d \ll \delta$, unde δ este adâncimea de pătrundere. Această stare de fapt a condus la publicarea unui mare număr de articole, chiar și în reviste bine cotate care, însă, nu au nicio relevanță din punct de vedere tehnico-științific, rezultatele experimentale nefiind conforme cu niciun standard și nicio metodă de validare demonstrată.

Contribuția ICPE-CA

Specialiștii din ICPE-CA și-au propus să rezolve în premieră mondială aceste incongruențe și să ofere atât o metodă de validare a predicțiilor analitice, cât și o propunere de standard internațional în domeniu. Rezultatele obținute până în prezent sunt promițătoare. Astfel, în figura 1 s-au marcat cu linie roșie aceste rezultate, prin comparație cu cele obținute de către un laborator din Franța, care pare a fi cel mai evoluat în acest domeniu (albastru). Pentru a rezolva întreg domeniul, marcat cu galben în figură, în laboratorul de Compatibilitate Electromagnetică din ICPE-CA s-au construit în cadrul contractului PN23140301-42N/2023, două *setup*-uri dedicate măsurătorilor experimentale.

Primul echipament se bazează pe așa numitul concept *zero gauss chamber*, incintă ecranată magnetic folosită în principal pentru experimente de fizică în absența câmpului magnetic, inclusiv cel terestru. Acest *design*

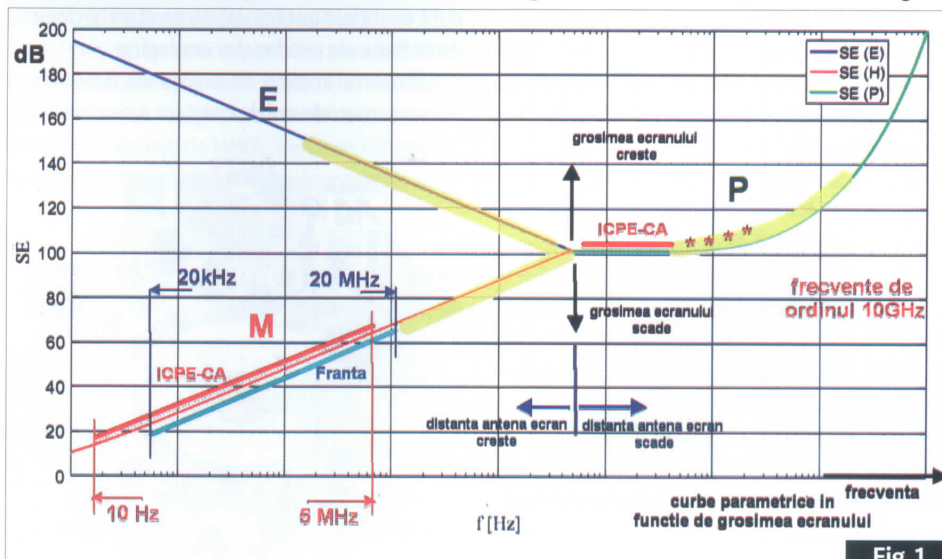


Fig. 1

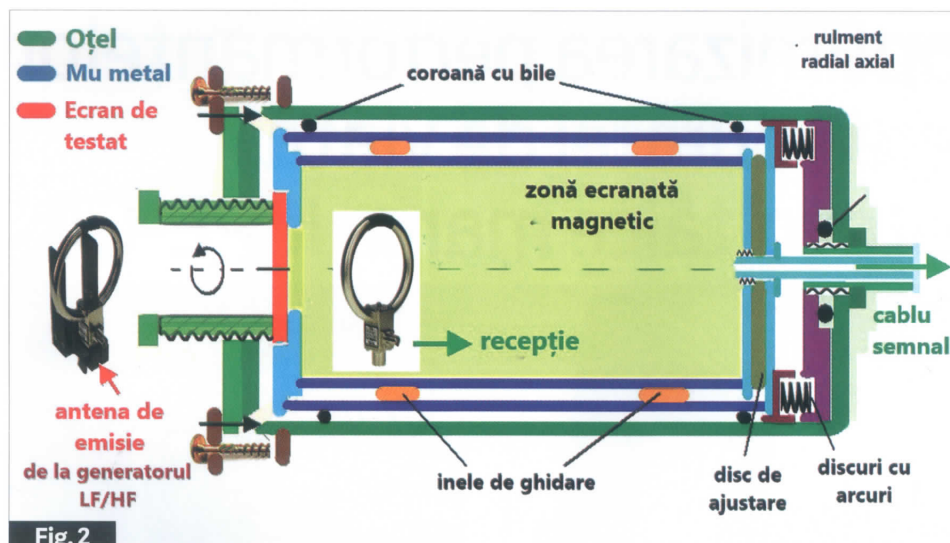


Fig. 2

a fost modificat/adaptat pentru a permite măsurători de materiale conductive cu sau fără proprietăți magnetice, conform figurii 2. Incinta se compune, în principal, din trei ecrane cilindrice coaxiale, două din MuMETAL și unul exterior, din oțel cu conținut redus de carbon, cu închiderile respective și o serie de dispozitive auxiliare adecvate scopului propus. În partea stângă a imaginii se poate observa o presetupă filetată, din oțel, care închide „etanș” celula de măsurare și asigură o presiune constantă pe proba de material testată, împreună cu sistemele de arcuri și rulmenți care permit rotația cilindrilor de MuMETAL relativ la cilindrul de oțel.

De o parte și de alta a ecranului de testat se poziționează două antene de emisie, respectiv recepție, pentru câmp magnetic de zonă apropiată (zona Fresnel). Dispozitivul este proiectat să funcționeze în gama 10Hz-50MHz și să asigure o dinamică crescătoare începând de la 60dB în joasă frecvență, mergând până la cca. 100dB, la frecvențe mai mari decât 1MHz. Se asigură, astfel, baza experimentală pentru ramura *M* ilustrată în figura 1.

Pentru ramura *P* din aceeași figură s-a conceput un *setup* ce conține elemente aflate sub incidență proprietății intelectuale. Ideea principală constă, însă, în separarea antenei receptoare de operator, respectiv de aparatele de măsură (osciloscop, analizor de spectru). Principiul de determinare a eficacității ecranării electromagnetice SE_{dB} rămâne același însă, de această dată, cele două antene emit și recepționează în radiofrecvență, în banda 50MHz-18GHz. Poziționarea elementelor aferente măsurătorilor, împreună cu aparatele respective, sunt descrise în figura 3.

În principal, se urmărește punerea în evidență a racordării curbelor caracteristice

din zonele *M* și *P* și a creșterii exponențiale în zona *P*, pentru probele groase din punct de vedere electric. Niciunul dintre aceste fenomene nu a fost evidențiat în rezultatele științifice comunicate până în prezent.

Experimentele caracteristice din zona *E* nu ridică probleme tehnice deosebite și se pot realiza relativ ușor în laboratoarele dedicate încercărilor la înaltă tensiune din ICPE-CA.

Aceste cercetări, deopotrivă teoretice și experimentale, au o importanță deosebită, cel puțin în două direcții:

- domeniul fizicii;
- domeniul ecranării și al testelor de laborator, ca subcapitol al compatibilității electromagnetice.

Perspective

Teoria electrodinamicii clasice prezice că o incintă perfect închisă, dintr-un material conductor, chiar și cu pereți foarte subțiri, de ordinul μm , iluminată cu radiație electromagnetică de frecvență crescătoare, va tinde să aibă o eficacitate a ecranării practic infinită la frecvențe mari, de ordinul MHz/THz. Sintagma „practic infinită” se referă la atenuări de ordinul 300dB și mai mari, adică 10^{-15} . Acest fenomen prezis de teorie (Rolf E. Hummel, *Electronic Properties of Materials*), nu a fost

demonstrat experimental niciodată, până în prezent. Importanța practică a experimentelor care ar valida teoria este greu de evaluat în momentul de față.

Pe de altă parte, dacă se reușește validarea experimentală a rezultatelor prezise de teorie pentru câteva materiale conductive, izotrope, calculabile analitic (Cu, Ag, Grafite), de diferite grosimi și la diferite intensități de câmp electromagnetic, rezultă că metodologia și montajele experimentale sunt corecte, consistente și coerente. În consecință, metoda poate fi aplicată și pentru materiale/ecrane necalculabile analitic: compozite, multistrat, textile, printate 3D, straturi depuse prin pulverizare cu magnetron. Aceasta ar deschide o perspectivă nouă pentru cercetătorii din domeniul știința materialelor în contextul în care, deși s-au elaborat și se cercetează în continuare diferite tipuri de materiale și structuri de ecranare electromagnetică, inclusiv cu aplicații speciale, în momentul de față, lipsește baza experimentală credibilă pentru calificarea lor, în ciuda faptului că se publică numeroase articole. Specialiștii laboratorului consideră că publicarea de articole trebuie să fie un mijloc de afirmare a vizibilității științifice, pe baza unor concluzii valoroase, și nu un scop în sine. În acest sens, ar trebui restabilit statutul fundamental al științelor exacte, exprimat prin triada: fenomen, ecuații, experiment.

În ultimul timp, specialiștii din ICPE-CA au dezvoltat și domenii conexe relativ la compatibilitatea electromagnetică, prin cercetări multidisciplinare concretizate, pentru început, în lucrarea *Characterization of mechanical antenna based on rotating permanent magnets* - Appl. Sci. 2024, Volume 14, Issue 23, 11163. <https://doi.org/10.3390/app142311163>.

În concluzie, ediția din 2024 a Workshop-ului CEM a reprezentat un succes incontestabil, consolidându-și reputația de eveniment științific de top în acest domeniu tehnologic esențial.

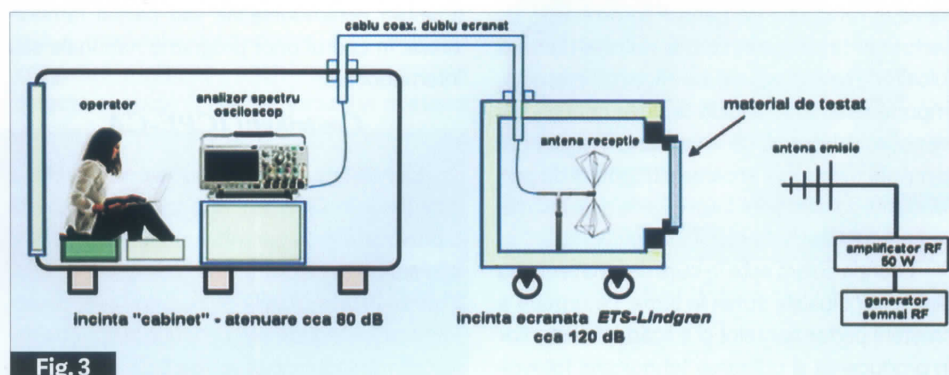


Fig. 3