

**METODĂ DE MĂSURĂ  
PENTRU DETERMINAREA  
ATENUĂRII CÂMPULUI  
ELECTROMAGNETIC  
ÎN NANOMATERIALE  
UTILIZÂND INCINTA TEM  
(Partea a I-a)**

**MEASUREMENT METHOD  
FOR DETERMINING  
ELECTROMAGNETIC FIELD  
ATTENUATION IN  
NANOMATERIALS  
USING THE TEM CELL  
(1<sup>st</sup> Part)**

**George NICOLAE**

“Transilvania” University of Brasov, Romania

**Rezumat.** În lucrare sunt prezentate rezultate experimentale referitoare la atenuarea câmpului electromagnetic de către materiale care au în compoziția lor microparticole de fier, grafit sau negru de fum. Pentru cunoașterea efectului de ecranare efectivă asupra câmpului electromagnetic de către materialele cu proprietăți absorbant electromagnetic este propus un sistem măsură cu incintă TEM. Cu acest sistem de măsură au fost efectuate determinări referitoare la proprietățile de ecranare electromagnetică a materialelor în domeniul de frecvență cuprins între 1 MHz și 1000 MHz. Lucrarea prezintă metoda și metodologia de măsurare adoptată pentru obținerea unor rezultate cu erori minime. Studiul experimental a fost desfășurat în cadrul proiectului CNCSIS 429/2006 „*Studiul proprietăților de ecranare a materialelor obținute prin nanotehnologii și nanoprocesare în vederea integrării în sistemele electrice și electronice pentru îmbunătățirea calității mediului*”.

**Cuvinte cheie:** ecranare efectivă, sistem de măsură a atenuării, materiale de ecranare, nanomateriale

## 1. Introducere

Prezența perturbatoare a câmpurilor electromagnetice în mediul existenței noastre constituie cauza numeroaselor disfuncționalități în funcționarea unor echipamente care asigură precizia și securitate proceselor din diverse domenii de activitate. În prezent, ponderea câmpurilor electromagnetice se plasează în domeniul zecilor și sutelor de MHz, domeniu în care o mare diversitate de echipamente radioelectronice funcționează prin emisia și recepția de radiație electromagnetică.

Prevederile organismelor internaționale [1, 2] impun luarea de măsuri pentru reducerea influenței perturbatoare a câmpurilor electromagnetice generate de marea diversitate de echipamente și încadrarea acestora în cerințele de compatibilitate electromagnetică. Normativele vizează atât echipamentele generatoare de radiație electromagnetică, cât și echipamentele și sistemele care pot fi afectate de energia câmpurilor electromagnetice radiate sau de scăpări.

**Abstract.** This paper presents the results of experimental determinations concerning electromagnetic field attenuation in materials containing micro-particles of iron, graphite or carbon black in their structure. In order to determine the shielding effectiveness of electromagnetic absorbents to electromagnetic field, a measuring system based on the TEM cell was proposed and tested. This measurement system was used to determine the electromagnetic shielding properties of materials at frequencies ranging between 1MHz and 1000 MHz. The paper presents both the measuring method and the methodology adopted in order to obtain maximum measurement accuracy. The experimental investigations were conducted in the frame of the CNCSIS project No 429/2006 “*Study of shielding properties of materials obtained by nano-technologies and nano-processing with application in electrical and electronic equipments in order to improve the quality of the environment*”.

**Key words:** shielding effectiveness, attenuation measurement system, shielding materials, nano-materials

## 1. Introduction

The perturbing influence of electromagnetic fields on our technology-dependent environment is the source of a multitude of malfunctionalities occurring in the equipments which ensure the precision and safety of processes that are specific to a wide variety of activities. At present, the most perturbing effects of electromagnetic fields occur in the frequency intervals between some tens of MHz and hundreds of MHz, an interval characteristic to many receiving and transmitting equipments.

The directives and regulations issued by international organizations [1, 2] provide specific measures that must be taken in order to minimize the influence of the perturbing electromagnetic fields generated by a wide variety of equipments which are accordingly classed to harmonize with the requirements of electromagnetic compatibility. The norms refer to both electromagnetic radiation generating equipment as well as such equipments and systems that can be functionally affected by the

Știința modernă a dezvoltat o nouă categorie de materiale – nanomaterialele – rezultat al amestecului de particule materiale cu proprietăți electrotehnice diferite. Nanomaterialele, alături de materialele cu proprietăți determinate, cum sunt materialele conductoare și materialele izolatoare, cunosc interes din partea specialiștilor pentru diversitatea de aplicații în care pot fi utilizate. Prin structura lor, nanomaterialele prezintă particularități comportamentale care le pot situa în zonele extreme ale conductivității electrice și permisivității magnetice prin controlul structurii și compoziției interne [5].

Fenomenul atenuării undelor electromagnetice de către materiale folosite ca bariere de ecranare este caracterizat prin trei componente: atenuarea de absorbție -  $A$ , atenuarea prin reflexie externă -  $R$  și atenuarea prin reflexiei interna -  $B$  [3]. Fenomenul de ecranare efectivă este reprezentat în figura 1 prin intermediul unei undei electromagnetice incidentă, reflectată și atenuată.

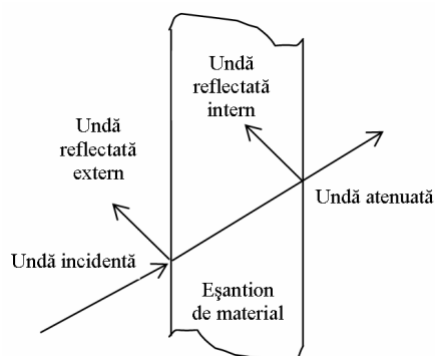


Figura 1. Fenomenul de ecranare al undelor electromagnetice

Suma celor trei componente ale atenuării reprezintă ecranarea efectivă a materialului de barieră și se poate exprima prin relația:

$$SE_{[dB]} = A_{[dB]} + R_{[dB]} + B_{[dB]}. \quad (1)$$

Potrivit studiilor în domeniu [3], în cazul undelor electromagnetice plane, situație specifică incintei TEM, ecranarea efectivă a materialelor poate fi calculată separat pe cele trei componente de atenuare cu relațiile:

- Atenuarea de absorbție -  $A$

$$A_{[dB]} = 1314.3 \cdot t \cdot \sqrt{f \cdot \mu_r \cdot \sigma_r}; \quad (2)$$

- Atenuarea de reflexie externă -  $R$

- External reflection loss -  $R$

$$R_{[dB]} = 108.1 - 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{\mu_r \cdot f}{\sigma_r} \right); \quad (3)$$

- Atenuarea de reflexie internă -  $B$

- Internal reflection loss -  $B$

energy of RF fields or by leakage fields.

Recent advances in science and technology have led to the development of a new class of materials – nano-materials, obtained by combining material particles having different electrical and magnetic properties. Nano materials, along with materials with determined electrical properties, such as conductors and insulators, are of great interest due to their wide area of industrial applicability. Due to their structure, nano-materials present physical properties conferring them extreme values of electrical conductivity and magnetic permeability, which can be attained by controlling their internal structure and composition [5].

Attenuation of electromagnetic waves in materials used as shielding barriers is characterized by three components: absorption loss -  $A$ , external reflection loss -  $R$  and internal reflection loss -  $B$  [3]. The shielding effectiveness phenomenon is illustrated in figure 1 by means of the incident, reflected and attenuated electromagnetic wave.

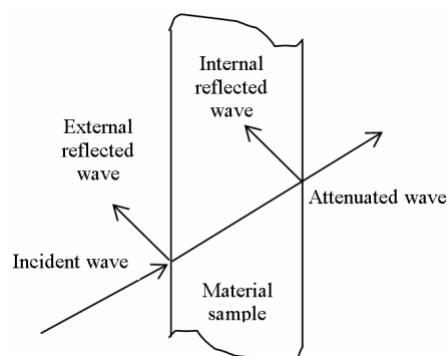


Figure 1. Electromagnetic wave shielding phenomenon

The sum of the three attenuation components represents the shielding effectiveness of the barrier material and can be calculated as:

According to the studies conducted in this field [3] in the case of electromagnetic plane waves, which is specific to the TEM cell, the shielding effectiveness of materials can be calculated for each of the three components separately using the relations:

- Absorption loss -  $A$

$$A_{[dB]} = 1314.3 \cdot t \cdot \sqrt{f \cdot \mu_r \cdot \sigma_r}; \quad (2)$$

- Atenuarea de reflexie externă -  $R$

- External reflection loss -  $R$

$$R_{[dB]} = 108.1 - 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{\mu_r \cdot f}{\sigma_r} \right); \quad (3)$$

- Atenuarea de reflexie internă -  $B$

- Internal reflection loss -  $B$

$$B_{[dB]} = 20 \cdot \log_{10} \left( \frac{k}{\sqrt{\frac{\mu_r \cdot f}{\sigma_r}}} \right). \quad (4)$$

În relațiile de mai sus se definesc parametrii:

$t$  – grosimea materialului de ecranare, [cm]  
 $f$  – frecvența undei electromagnetice, [MHz];  
 $\mu_r$  – permeabilitatea relativă a materialului de ecranare;  
 $\sigma_r$  – conductivitatea electrică a materialului de ecranare;  
 $k$  – parametru specific reflexiei pe suprafața internă a materialului cu valoare unitară în cazul undelor plane [3].

În prezenta lucrare, pentru determinarea atenuării și a ecranării efective a unor materiale de ecranare, se propune utilizarea incintei TEM în care unda electromagnetică este o undă plană. Generarea undelor în interiorul incintei se face folosind un generator de radiofrecvență conectat la incinta TEM. Puterea câmpului electromagnetic din incintă este măsurat atât în absența materialului de ecranare  $P_1$ , cât și în prezența acestuia  $P_2$ . Ecranarea efectivă introdusă de materialul de ecranare va fi rezultatul raportului puterilor măsurate [3, 6, 8]:

$$SE_{[dB]} = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{P_1}{P_2} \right). \quad (5)$$

În baza relațiilor de calcul și a reprezentărilor grafice din conținutul lucrării *Electromagnetic Shielding Materials and Properties* [3] sunt prezentate în tabelul 1 și figura 2 detalii comparate referitoare la comportarea ecranelor din cupru având grosimea de 10 nm din punct de vedere al componentelor de atenuare și al ecranării efective  $SE$ . Se poate observa o oarecare diferență dintre valorile ecranării efective determinate prin calcul și cele extrase din reprezentările grafice. Astfel de diferențe există și pentru alte materiale de ecranare prezentate în lucrarea [3] luată ca referință. Diferențele sunt determinate de condițiile în care sunt efectuate determinările practice din punct de vedere al intensității câmpului electromagnetic și al distanțelor dintre sursa de câmp și materialul de ecranare. Se poate observa că există asemănări în ceea ce privește evoluția caracteristicii de atenuare efectivă a eșantionului de Cu gros de 10 nm. Caracteristica rezultată din calcul analitic și caracteristica rezultată din reprezentările grafice aflate în lucrarea de referință prezintă aceeași evoluție. Astfel de comparații au fost efectuate și pentru alte eșantioane

Following parameters are defined in the relations above:

$t$  – thickness of shielding material, [cm];  
 $f$  – frequency of the electromagnetic wave, [MHz];  
 $\mu_r$  – relative permeability of the shielding material;  
 $\sigma_r$  – electrical conductivity of the shielding material;  
 $k$  – parameter specific to reflection on the internal surface of the material equal to unity for plane waves [3].

In order to determine the attenuation and the shielding effectiveness in several materials, this paper proposes the use of a TEM cell, where the electromagnetic field is produced in form of a plane wave. The waves inside the TEM cell are produced by a RF generator connected to the cell. The power of the electromagnetic field inside the cell is measured successively, firstly in the absence of the shielding material probe,  $P_1$  and next in the presence of the shielding material probe,  $P_2$ . The effective shielding introduced will result as the ratio of the measured powers [3, 6, 8]:

Based on the calculation formulas and graphs included in the contents of the monograph *Electromagnetic Shielding Materials and Properties* [3], in table 1 and figure 2 are presented comparative data obtained with 10 nm copper shielding in terms of attenuation components and shielding efficiency,  $SE$ . It can be observed that the calculated values of the shielding efficiency differ slightly from those obtained from reference graphs. Such differences appear also for other shielding materials as presented in the mentioned reference work [3]. These differences are caused by the experimental techniques employed regarding electromagnetic field strength and the distance between the RF source and the shielding material. It can be noticed that there are similarities regarding the evolution of the shielding effectiveness characteristic for the 10 nm copper sample. The analytically determined curve shows the same evolution as the one determined from graphs which is presented in the reference work. Such comparative studies were performed for several copper and aluminum samples of different

din cupru și aluminiu de grosimi diferite și plasate la distanțe diferite față de sursa de câmp electromagnetic.

thickness, placed at different distances from the source of electromagnetic field.

Tabelul 1. Rezultate ale atenuării și ecranării efective obținute prin calcul și din reprezentări grafice de referință pentru folia de cupru având grosimea de 10 nm

Table 1. Attenuation values and shielding effectiveness obtained by calculation and from reference graphical representations for 10 nm copper foil

$F$ [MHz]	10	30	50	100	200	300	400	500	600	700	800	900
$R$ [dB]*	98.1	93.3	91.1	88.1	85.1	83.3	82.1	81.1	80.3	79.6	79.1	78.6
$A$ [dB]*	4.16	7.20	9.29	13.1	18.6	22.8	26.3	29.4	32.2	34.8	37.2	39.4
$B$ [dB]*	-10.0	-14.8	-17.0	-20.0	-23.0	-24.8	-26.0	-27.0	-27.8	-28.5	-29.0	-29.5
$SE$ [dB]*	92.3	85.8	83.4	81.2	80.7	81.3	82.3	83.5	84.7	86.0	87.2	88.4
$SE$ [dB]**	56.0	52.0	44.0	42.0	40.0	38.8	38.3	38.3	38.4	38.6	38.9	39.3

\* rezultate obținute prin calcul cu relațiile (1) ÷ (4) / calculated results using relations (1) ÷ (4)

\*\* rezultate obținute din reprezentările grafice din lucrări de referință [3] / results obtained from graphical representations presented in reference works [3]

Componentele atenuării calculate și extrase din reprezentări grafice pentru Cu 10 nm  
Attenuation components calculated and determined from graphical representations for 10 nm Cu

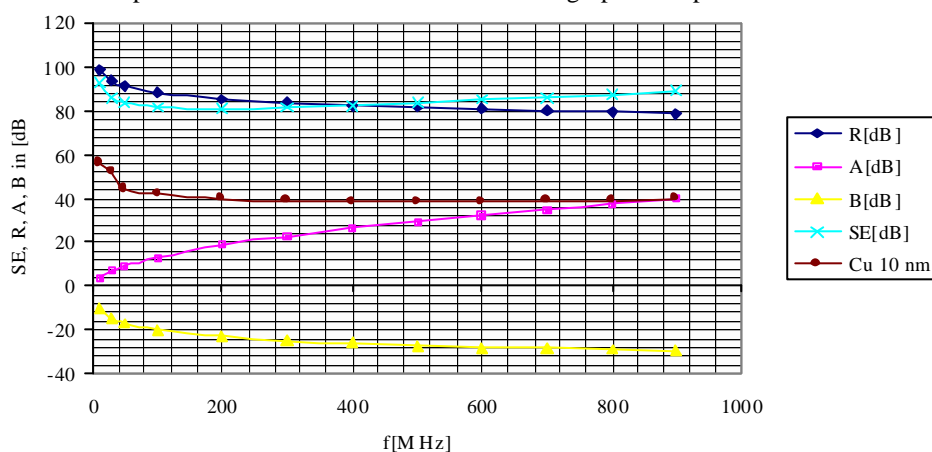


Figura 2. Grafice de variație ale componentelor atenuării calculate  $R$ ,  $A$ ,  $B$ ,  $SE$  pentru ecranul de cupru și graficul eficienței ecranării extras din reprezentări grafice de referință pentru Cu de 10 nm

Figure 2. Variation of calculated attenuation components  $R$ ,  $A$ ,  $B$ ,  $SE$  for copper shielding and shielding effectiveness determined from reference graphs for 10 nm Cu

## 2. Sistem de măsurare și metodă de măsură propusă

Studiul proprietăților de atenuare a diverselor materiale de natură electrotehnică și a materialelor cu structuri compozite a fost efectuat folosind sisteme adecvate domeniului de radiofrecvență. În lucrare se propune un sistem de măsurare în domeniul de frecvență cuprins între 10 MHz și 1000 MHz bazat pe o incintă TEM. În interiorul incintei TEM câmpul de radiofrecvență prezintă componente de câmp electric și magnetic de natură plană. Un astfel de sistem asigură eliminarea influențelor perturbatoare ale câmpurilor electromagnetice externe asupra rezultatelor măsurărilor.

Testele și verificările recomandate de producător și efectuate asupra incintei TEM au confirmat faptul că aceasta asigură ecranarea mediului din interiorul incintei față de mediul

## 2. The proposed measurement system and method

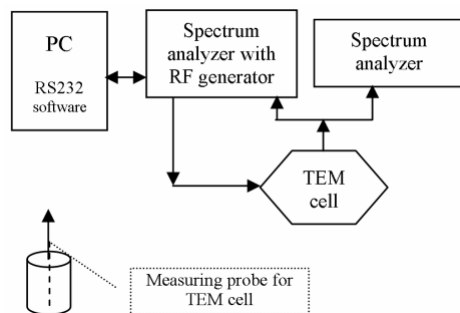
The study of the attenuation characteristics of various electrical materials and composites was conducted by employing adequate RF equipments. The paper proposes a measurement system conceived to operate in the frequency range between 10 MHz and 1000 MHz which was arranged around a TEM cell. Inside the TEM cell, the electromagnetic field is produced in form of plane waves of magnetic and electrical components. Such a system ensures that most of the perturbing influences of the external RF fields that could affect the measurement results are eliminated.

The tests and verifications recommended by the manufacturer which were conducted with the TEM cell, proved that the latter provides adequate internal space shielding against external

exterior acesteia ceea ce asigură efectuarea de măsurări fără influența câmpurilor electromagnetice perturbatoare.

### 2.1. Sistemul de măsură în banda de frecvență 10 MHz ÷ 1 GHz

Banda lungimilor de undă corespunzătoare domeniului de frecvență 10 MHz ÷ 1 GHz este cuprinsă între limitele 30 m ÷ 0,3 m. În acest caz, măsurările se încadrează în banda metrică, ceea ce permite utilizarea incintelor TEM pentru introducerea eșantioanelor de măsură și a cablului coaxial între echipamentele sistemului de măsură (figura 3).



electromagnetic fields. With no or little influence from perturbing external fields measurement results are expected to be sensibly more accurate.

### 2.1. The 10 MHz ÷ 1 GHz frequency band measurement system

The wavelength band corresponding with the 10 MHz ÷ 1 GHz frequency range is in the 30 m ÷ 0.3 m interval.

Therefore, the measurements are performed in the meter band, which allows for the use of TEM cells as enclosures for the material samples along with coaxial cable connections between the elements of the measurement system (Figure 3).

Figura 3. Sistem de măsură cu incintă TEM  
Figure 3. Measurement system with TEM cell

Sistemul de măsurare propus este alcătuit din următoarele elemente componente:

- ♦ Analizor de spectru, GSP-810, cu generator de RF încorporat pentru domeniul 150 kHz la 1 GHz. Analizorul poate fi conectat la PC prin intermediul interfeței RS232 pentru achiziție de date folosind programul software standard “GSP810 try”;
- ♦ Mini incinta TEM de tipul TC-5010B pentru lucrul în domeniul frecvențelor DC ÷ 1,5 GHz cu o atenuare efectivă de (70 ÷ 80) dB;
- ♦ Adaptor de măsură cu sondă electrică;
- ♦ Calculator, având configurația specificată în documentația analizorului de spectru;
- ♦ Analizor de spectru, Hameg 1050, în banda 100 Hz ÷ 1100 MHz, utilizat pentru controlul măsurărilor;
- ♦ Elemente de conectică pentru gama metrică și decimetrică (cabluri coaxiale, distribuitor de semnale, mufe de conectare).

Detalii asupra echipamentului de studiu și a materialelor utilizate sunt prezentate în figura 4.

Metodologia de măsurare adoptată se bazează pe particularitatea constructivă a incintei TEM care are din construcție o mufa BNC tip mamă-mamă dispusă la peretele lateral. La mufa BNC se poate conecta în interiorul incintei o antenă sau o sondă electrică. Sonda electrică este astfel plasată în interiorul incintei într-un câmp electric uniform de unde plane.

The proposed measurement system includes the following elements:

- ♦ Spectrum analyzer GSP-810, with integrated RF generator in the 150 kHz to 1 GHz range. The analyzer can be connected to a PC via RS232 interface for data acquisition using the standard software “GSP810 try”;
- ♦ TEM mini-cell TC-5010B operating in the frequency range DC ÷ 1.5 GHz, attenuation (70 ÷ 80) dB;
- ♦ Measuring adapter with electrical probe;
- ♦ PC, configured as recommended in the spectrum analyzer GSP-810 specifications;
- ♦ Spectrum analyzer HAMEG1050, operating in the 100 Hz ÷ 1100 MHz frequency band, used for measurement control;
- ♦ Connecting elements for the meter and decimeter bands (coaxial cables, signal distributor, sockets)

Figure 4 presents a general view with details of measurement setup and its elements.

The adopted measuring methodology is based on a constructional detail of the TEM cell – a female-to female – BNC connector element on the side wall. This allows for an antenna or an electrical probe to be plugged in at the inside of the cell. Thus, the electrical probe will be placed within a uniform electrical field of plane waves.



Figura 4. Detaliu asupra sistemului de măsură cu incinta TEM

Figure 4. General view of the measuring system with TEM cell

Prin intermediul mufei BNC externe se asigură conectarea sondei la intrarea analizorului spectral în vederea efectuării măsurărilor și pentru salvarea datelor în calculator.

Pentru efectuarea determinărilor asupra diferitelor materiale de studiu acestea au fost dispuse în jurul probei de măsură în interiorul incintei TEM.

Metodologia de măsurare a constat în măsurarea puterii câmpului de radiofrecvență captat de sonda electrică în absența eșantioanelor de materiale de ecranare  $P_1$  și în prezența acestora  $P_2$ .

Pe baza măsurărilor efectuate se poate determina puterea câmpului electromagnetic absorbit, ecranarea efectivă, relația (5), și atenuarea câmpului electromagnetic [6, 8]:

$$a_{[dB]} = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{P_2}{P_1} \right). \quad (6)$$

Multitudinea de măsurări experimentale au fost efectuate în regim de generare pe frecvență fixă, în regim de baleiere pe tot domeniul de măsurare sau pe subdomeniul de frecvență. Rezultatele comparate au permis verificarea rezultatelor obținute cu valorile cunoscute ale atenuării unor categorii de materiale de ecranare prezentate în literatura de specialitate.

*Validarea metodei de măsurare, rezultatele experimentale și concluziile în partea a II-a din numărul următor al revistei.*

## References

1. CENELEC Guide n° 24: *Electromagnetic Compatibility (EMC) Standardization for Product Committees*. Edition 1, July 2001
2. CENELEC Guide n° 25: *Guide on the use of Standards for the implementation of the EMC Directive*. Edition 1, July 2001
3. White, D.R.J.: *Electromagnetic Shielding Materials and Properties*. Don White Consultants, Inc., Virginia, 1980
4. Lojewski, G.: *Microwave. Devices and circuits*. Teora Publishing House, Bucuresti, 1995 (in Romanian)
5. Ogrutan, P., Aciu, L.E.: *Electromagnetic Compatibility. Applications*. "Transilvania" University Press, Brasov, 2006 (in Romanian)
6. Badic, M., Marinescu, M.J.: *Reflection loss in the case of plane waves impact on infinite absorbing slab*. Symp. Record. of 2003 IEEE Symp. on EMC, 18-22 August 2003, Boston, MA, USA
7. Țebeanu, T.: *Devices and circuits for microwave*. "Politehnica" University, Bucharest, 2004 (in Romanian)
8. Ogrutan, P., Aciu, L.E., Nicolae, G.: *A SPICE Model to Evaluate Shielding Effectiveness of Conductive Materials*. The XVII International Conference on Electromagnetic Disturbances 2007, Poland, ISBN 978-83-60200-37-7, p. 10.6-1 – 10.6-4

Lucrare primită în Februarie 2009

Received in February 2009