

# SISTEME DE MĂSURĂ ȘI METODE PENTRU DETERMINAREA ATENUĂRII CÂMPULUI ELECTROMAGNETIC ÎN NANOMATERIALE

# MEASUREMENT SYSTEMS AND METHODS FOR DETERMINING ELECTROMAGNETIC FIELD ATTENUATION IN NANOMATERIALS

George NICOLAE, Petre OGRUȚAN, Lia ACIU, Adrian MAILAT

“Transilvania” University of Brașov, Romania

**Rezumat.** În această lucrare sunt descrise câteva sisteme de măsurare și metode experimentale pentru studiul comportării unor nanomateriale în câmpul electromagnetic. Determinările experimentale vizează studiul atenuării câmpului electromagnetic de către diverse tipuri de nanomateriale. Nanomaterialele sunt materiale noi obținute prin tehnologii de amestec și compozitare a diferitelor categorii de materii prime. Cunoașterea caracteristicilor de material și a comportării în diferite medii face posibilă utilizarea materialelor noi în diverse domenii de activitate. Sistemele și metodele de măsurare prezentate permit cunoașterea comportării nanomaterialelor în câmpul electromagnetic generate de diverse surse și cu frecvențe plasate într-un spectru larg de la zeci de MHz la zeci / sute GHz. Această lucrare a fost elaborată în cadrul proiectului CNCSIS 429/2006 „Studiul proprietăților de ecranare a materialelor obținute prin nanotehnologii și nanoprosesare în vederea integrării în sistemele electrice și electronice pentru îmbunătățirea calității mediului”.

**Cuvinte cheie:** studiul nanomaterialelor, atenuare, sistem de microunde

## 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 microundelor, 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 echipamentele și încadrarea acestora în cerințele de compatibilitate electromagnetică. Normativele vizează atât echipamentele generatoare de radiație electromagnetică cât și echipamentele / sistemele care pot fi afectate de energia câmpurilor electromagnetice radiate sau de scăpări.

**Abstract.** This paper presents number of measurement systems and experimental methods for the investigation of nanomaterials behavior inside electromagnetic field (EMF). Measurements were aimed at determining the attenuation of electromagnetic field in nanomaterials. Nanomaterials are new materials obtained by specific industrial processes of mixing and combining different types of materials. Knowing the characteristics and the behavior of nanomaterials inside different media creates wide opportunities for a variety of industrial applications. The measurements systems and methods presented in this paper were developed in order to investigate nanomaterials behavior relative to the influence of electromagnetic fields of different frequencies within a wide spectrum ranging from several tens of MHz up to tens / hundreds of GHz. This paper was written in the framework of the 429/2006 CNCSIS project “Study of the shielding properties of materials obtained by nanotechnologies and nanoprocessing in order to ensure their integration in electrical and electronic systems aimed at improving environment quality”.

**Key words:** nanomaterials study, attenuation, microwave systems

## 1. Introduction

The presence of perturbing electromagnetic fields in homes and workplaces is the cause of many equipment malfunctions with negative consequences on operating accuracy and safety of electronic circuits. At present most of the electromagnetic field (EMF) is generated in the microwave range, which corresponds to the operating frequency range of many radio communication systems. The regulations and standards established by international organizations [1, 2] include measures reducing the perturbing influence of electromagnetic fields generated by the great variety of equipments so as to comply with electromagnetic compatibility requirements. The regulations include both electromagnetic radiation sources as well as equipments, systems that can be affected by the energy of radiating or leakage electromagnetic fields.

Știința modernă dezvoltă o nouă categorie de materiale – nanomaterialele – ca 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 și permitivității electrice prin controlul structurii și compoziției interne.

În contextul dezvoltării sistemelor radioelectronice care lucrează în domeniul frecvențelor de la 10 MHz la 100 GHz se impune cunoașterea caracteristicilor de atenuare și de absorbție a energiei câmpurilor electromagnetice de către materialele electroizolatoare și în special a nanomaterialelor.

## 2. Determinări experimentale

În practica determinărilor experimentale au fost verificate mai multe metode pentru evaluarea atenuării câmpului de microunde de către materialele supuse experimentului. Au fost verificate următoarele metode:

- metoda măsurării puterii câmpului de microunde folosind puntea cu termistor;
- metoda substituției de radiofrecvență;
- metoda măsurării puterii câmpului de microunde prin detecție de radiofrecvență;
- metoda radiației de microunde cu antenă horn;
- metoda măsurării puterii câmpului de microunde cu analizorul de spectru;
- metoda determinărilor folosind incinte TEM.

Compararea rezultatelor măsurărilor efectuate pe aceleași eșantioane de materiale prin diferite metode permite stabilirea metodei optime pentru domeniul de frecvență și determinarea ce se efectuează asupra materialelor. Astfel, pentru stabilirea atenuării câmpului electromagnetic din domeniul microundelor a unor nanomateriale este recomandat a se folosi „metoda măsurării puterii câmpului de microunde prin detecție de radiofrecvență”. Metoda trebuie corelată cu parametrul determinat și domeniul de frecvență și trebuie să asigure un grad ridicat de precizie al determinării să elimine influența câmpurilor perturbatoare și pierderile din energia generată pentru procesul de măsurare. De asemenea, rezultatele determinărilor prin metoda aleasă să se coreleze cel mai bine cu rezultatele obținute prin alte metode chir și cu metodele de simulare pe calculator.

Modern science has developed a new class of materials – nanomaterials – resulting from a mixture of material particles with different electrical properties. Nanomaterials, along with materials having determined properties such, as conductors and insulators, are offering new solutions in a variety of applications are therefore of great interest for scientists and industry researchers. By their structure, the properties of nanomaterials can be characterized by extreme values of electrical conductivity and permittivity which can be determined by controlling their internal composition.

With the rapid development of radio-electronic systems operating on the 10 MHz to 100 GHz frequency range, the electromagnetic field energy attenuation and absorption characteristics of insulating materials and especially of nanomaterials should be measured and determined with accuracy.

## 2. Measurement methods

During the experimental investigation, several methods were verified for determining the microwave field attenuation produced by the tested material samples. Following methods were verified:

- the method of microwave field power measurement, using a thermistor bridge;
- the radiofrequency substitution method;
- the RF detection method of microwave field power measurement;
- the microwave radiation method, using a horn antenna;
- the microwave field power measurement method using the spectrum analyzer;
- the measurement method using the TEM – cell.

By comparing the measurement results from identical material samples using various techniques, the most appropriate method of determining material effects on electromagnetic field transmission could be selected. Thus, the method known as “Measurement of microwave field power by radiofrequency detection” is considered to be the most appropriate technique for determining the attenuation of electromagnetic microwave field produced in nanomaterials. The above-mentioned method should be adopted in correlation with both the investigated microwave signal parameter and the considered frequency range so as to ensure high measuring accuracy while eliminating both the influence of perturbing electromagnetic fields and the errors produced by the power consumption inherent to the measuring process. Also, the results obtained by using the selected measurement method should be in concordance with the results obtained

Metoda măsurării puterii câmpului de microunde prin detecție de radiofrecvență presupune modularea generatorului de radiofrecvență cu impulsuri dreptunghiulare cu frecvența de 10 kHz. Acest proces va asigura obținerea unor semnale de radiofrecvență modulate în amplitudine cu semnale dreptunghiulare cu coeficient de umplere de 50%. Detectorul cu diodă va realiza demodularea energiei de radiofrecvență și va furnizează indicatorului de putere o tensiune rezultat al procesului de detecție potrivit relației [4]:

$$U = \sqrt{P \cdot R_s} \quad (1)$$

în care:  $U$  - tensiunea la ieșirea detectorului;

$P$  - puterea semnalului detectat;

$R_s$  - rezistența de sarcină a detectorului.

Indicatorul de putere poate indica puterea semnalului aplicat la intrare în dB·m, potrivit relației:

$$P [dB \cdot m] = 10 \cdot \lg \frac{P [mW]}{1 mW} \quad (2)$$

Din punct de vedere metodologic procedura de măsurare presupune determinarea în prima etapă a puterii  $P_1$  a câmpului de radiofrecvență fără introducerea eșantionului de măsurare. După introducerea eșantionului de material în ghidul de undă se determină puterea  $P_2$  din sistemul de măsurare. Diferența puterilor măsurate  $P_1$  și  $P_2$  reprezintă atenuarea introdusă de materialul studiat și care se poate exprima în dB·m sau în dB în raport de modul de citire a indicațiilor aparatului de măsură.

Pentru determinările experimentale s-au utilizat eșantioane din toate categoriile și tipurile de materiale. Eșantioanele pot avea grosimi diferite sau pot fi formate din două sau mai multe straturi din același material sau din materiale diferite.

### 3. Sisteme pentru determinări experimentale

Pentru domeniul de frecvență relativ mare, cuprins între 10 MHz și 100 GHz, domeniul undelor metrice, decimetrice și centimetrice impune utilizarea unor sisteme de măsurare echipate cu generatoare de radiofrecvență de subdomenii de frecvență, linii de legătură și conectică adecvată frecvențelor de lucru, dispozitive pentru plasarea eșantioanelor de măsură, aparate pentru determinarea puterii, adecvate metodei de măsurare.

În prezentul material se vor prezenta sisteme de măsurare organizate pe două domenii de frecvență de măsură: sistem de măsură în domeniul de frecvență de 10 MHz la 1 GHz, sistem de măsură în domeniul de frecvență de 1 GHz la 100 GHz.

by employing alternative measurement methods and even with computer simulations.

The measurement of microwave field power by radiofrequency detection involves amplitude modulation of the microwave signal using a 10 kHz rectangular wave signal. This will result in amplitude - modulated rectangular radiofrequency signal with a 50% duty cycle. A point-contact diode detector ensures radiofrequency energy detection and applies a voltage signal to the power meter given by [4]:

where:  $U$  is the detector output voltage;

$P$  - the power of the detected signal;

$R_s$  - the detector load resistance.

The utilized power meter displays the input signal power in dB·m, according to the relation:

Considering the methodology employed in the measuring procedure, the first step includes the measurement of microwave field power  $P_1$ , in the absence of the studied nanomaterial sample. Next, the examined nanomaterial sample is placed in the cross - sectional area of the waveguide and the power  $P_2$  of the attenuated microwave signal is measured. The difference of powers  $P_1$  and  $P_2$  represents the attenuation introduced by sample under test and can be expressed as dB·m or dB according to the instrument scale (see figure 1).

Different types and categories of materials were used during the experimental investigations. These samples were of different thickness and formed of two or more layers of identical or different types of materials.

### 3. The analyzed measurement systems

For the relatively broad frequency band, ranging between 10 MHz and 100 GHz, which includes metric, decimetric and centimetric wavelengths, it was necessary to develop measurement setups including radiofrequency generators, transmission lines with adequate connectors, appropriate sample stands, instruments for measuring the power in accordance with the selected method.

This paper investigates the performances of two different measurement systems each operating in a distinct frequency range, namely between 10 MHz and 1 GHz and between 1 GHz and 100 GHz respectively.

### 3.1. Măsurări în banda de frecvență 10 MHz la 1 GHz

În baza relației de conversie frecvență – lungime de undă:

$$\lambda_{[m]} = \frac{300}{f_{[MHz]}} \quad (3)$$

Banda lungimilor de undă corespunzătoare domeniului de măsură exprimat în funcție de frecvență între limitele  $30 \text{ m} \div 0,3 \text{ m}$ . Măsurările în acest caz se încadrează preponderent în banda metrică. Această situație permite utilizarea incintelor TEM pentru introducerea eșantioanelor de măsură și liniile de conexiune de tip cablu coaxial dintre echipamentele sistemului de măsurare (figura 1).

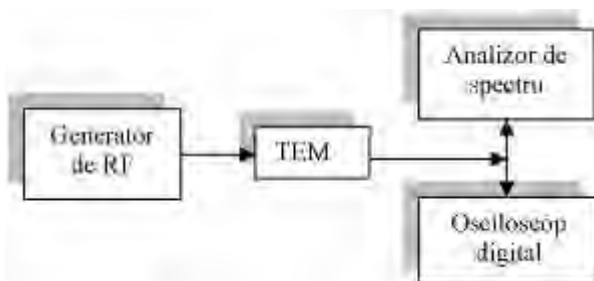


Figura 1. Structura sistemului de măsură pentru intervalul de frecvență 10 MHz ÷ 1000 MHz

Sistemul de măsură în domeniul de frecvență de 10 MHz la 1 GHz poate fi echipat cu următoarele elemente componente:

- generator de semnale de RF în banda 10 MHz ÷ 1000 MHz;
- analizor de spectru în banda 100 Hz ÷ 1100 MHz;
- incintă de sursă TEM;
- osciloscop digital;
- elemente de conectică pentru gama metrică și decimetrică (cabluri coaxiale, distribuitor de semnale, mufe de conectare).

Metodologia de măsurare a atenuării introduse de fiecare tip de nanomaterial la diferite frecvențe din banda 10 MHz ÷ 1000 MHz presupune parcurgerea următoarelor etape:

- se calibrează aparatele și se interconectează potrivit reprezentării din figura 1;
- se reglează frecvența generatorului de RF succesiv pe frecvențele stabilite;
- pentru fiecare frecvență aleasă se efectuează două măsurări ale puterii câmpului electromagnetic  $P_1$  fără a se introduce eșantionul de material introdus în incinta TEM și  $P_2$  după introducerea eșantionului de material în incinta TEM;
- se calculează atenuarea pentru fiecare frecvență și tip de material cu relația:

### 3. 1 Measurements in the 10 MHz to 1 GHz frequency band

Based on the frequency – wavelength conversion:

The wavelength interval corresponding with the measurement frequency range is determined between 30 m and 0.3 m (30 cm). For this case, the measurements are performed especially on the metric band. This allows for the use of TEM-cells, where the test samples are placed and of coaxial cable to interconnect the elements of the measurement system (figure 1).

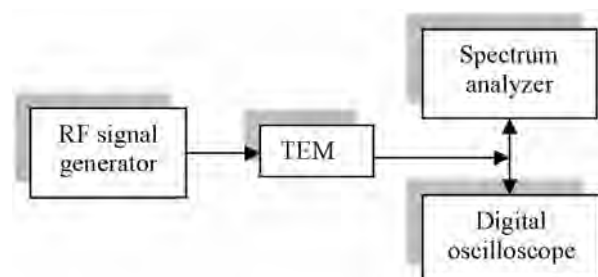


Figure 1. Measurement setup for the 10 MHz ÷ 1000 MHz frequency interval

The measuring system for the 10 MHz ÷ 1 GHz frequency band includes the following equipments:

- RF signal generator, in the 10 MHz ÷ 1000 MHz band;
- spectrum analyzer in the 10 MHz ÷ 1100 MHz band;
- TEM-cell;
- digital storage oscilloscope (DSO);
- connecting elements for the metric and decimetric band (coaxial cables, signal distributor, connectors).

The measurement methodology of the attenuation levels produced by each nanomaterials sample at different frequencies on the 10 MHz ÷ 1000 MHz range includes the following steps:

- instrument calibration and interconnecting of the system components in accordance with figure 1;
- successive adjustment of the selected frequencies using the RF generator;
- for each selected frequency value, two values of electromagnetic field power,  $P_1$  - are determined in the absence of the material sample inside the TEM-cell and another two values  $P_2$  – are determined with the material sample placed inside the TEM-cell;
- the attenuation for each frequency value and sample type is calculated using the relation

$$a_{[dB]} = 10 \cdot \lg \frac{P_2}{P_1} \quad (4)$$

- se trasează caracteristica atenuare – frecvență în banda 10 MHz ÷ 1000 MHz pentru fiecare tip de material.

Materialul de probă se introduce în incinta TEM între conductoarele centrale, perpendicular pe acestea, astfel încât să închidă secțiunea transversală a incintei [3].

### 3.2. Determinări experimentale în domeniul de frecvență 1 GHz la 100 GHz

Domeniul de frecvență 1 GHz ÷ 100 GHz corespunde potrivit relației de conversie (1), lungimilor de undă cuprinse între 30 cm ÷ 3 cm. În acest caz măsurările se încadrează în banda centimetrică. Sistemul de măsură trebuie să poată genera și transfera câmp electromagnetic din domeniul microundelor. Pentru scopurile propuse este de preferat un sistem la care legătura dintre generatorul de microunde și elementele de măsurare să se facă prin ghiduri de undă. Un astfel de sistem experimental este prezentat în figura 2 și poate fi echipat cu următoarele elemente:

- generator de microunde;
- sursă de alimentare reglabilă;
- traseu ghid de unde;
- atenuator variabil calibrat;
- indicator de putere;
- osciloscop;
- detector de câmp cu diodă de înaltă frecvență.

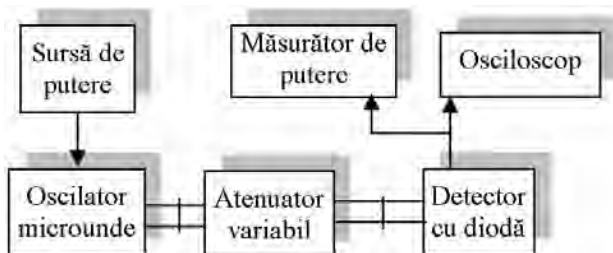


Figura 2. Structura sistemului de măsură pentru intervalul de frecvență 1 GHz ÷ 100 GHz

În funcție de metoda adoptată pentru determinarea energiei câmpului de microunde detectorul de câmp cu diodă de înaltă frecvență poate fi înlocuit cu termistor în punte echilibrată. În acest caz afișarea și citirea puterii câmpului de microunde se face cu un indicator de putere adecvat. Sistemul prezentat poate avea la bază un sistem de măsură în ghid de undă cu generator de microunde realizat cu diodă Gunn de tip LABVOLT.

- the attenuation versus frequency characteristic is drawn for each material type, between 10 MHz and 1000 MHz.

The test sample is placed inside the TEM-cell between the central conductors, perpendicular to these, so as to completely cover cross-sectional area of the cell [3].

### 3.2. Measurements in the 1 GHz to 100 GHz frequency band

In accordance with the conversion relation (1) the 1 GHz to 100 GHz band corresponds to the wavelengths from 30 cm to 3 cm, which places the measurements in the centimeter band.

The measurement setup must be capable of generating and transmitting electro-magnetic energy by means of a microwave field. For the proposed measurements the microwave generator is connected with the measuring equipment via waveguides. The composing elements of a such experimental setup are presented in figure 2:

- microwave generator;
- adjustable power supply;
- waveguide line;
- calibrated variable attenuator;
- power meter;
- digital oscilloscope;
- field detector with high- frequency diode.

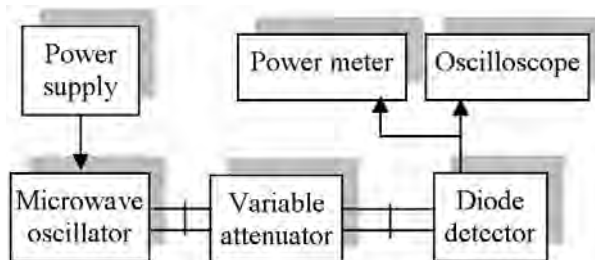


Figure 2. Measurement setup for the 1 GHz ÷ 100 GHz frequency interval

Depending on the method applied in measuring the microwave field power, the high – frequency diode can be replaced with a thermistor in a balanced Wheatstone bridge. In this case the measured microwave field power is determined using an adequate power meter. The presented system can be arranged around a waveguide and a LABVOLT microwave generator with Gunn oscillator.

Metodologia pentru determinarea atenuării câmpului electromagnetic de nanomateriale în banda de frecvență 1 GHz ÷ 100 GHz constă în parcurgerea etapelor:

- se calibrează aparatele și se interconectează potrivit reprezentării din figura 2;
- atenuatorul variabil se reglează inițial pe atenuare maximă;
- pentru frecvențele din bandă se efectuează câte două determinări ale puterii măsurate în dB folosind indicatorul de putere. Prima determinare  $P_1$  se efectuează fără a introduce eșantionul de nanomaterial în sistemul de măsură. A doua determinare  $P_2$  se face plasând eșantionul de material în ghidul de undă perpendicular pe direcția de propagare a undelor.
- se calculează atenuarea introdusă de nanomaterial cu relația:

$$a_{[dB]} = P_2 [dB] - P_1 [dB] \quad (5)$$

- se trasează caracteristica atenuare – frecvență în banda 1 GHz ÷ 100 GHz pentru fiecare tip de material.

Metodologia descrisă permite determinarea atenuării prin măsurarea puterii direct în dB ca urmare a folosirii detectorului cu diodă și a indicatorului de putere în decibeli. În cazul în care pentru determinarea energiei câmpului de microunde se utilizează un circuit cu termistor în punte echilibrată se folosește osciloscopul. Cu osciloscopul se determină amplitudinea vârf la vârf a semnalului de modulație  $V_{vv}$  și se determină puterea medie disipată de termistor cu relația:

$$P = \frac{V_{vv}^2}{8R}, \quad (6)$$

în care  $R = 8 \Omega$  este rezistența termistorului din puntea de măsură, valoare specifică echipamentului de tip LABVOLT.

În figurile 3 și 4 sunt prezentate imagini ale sistemelor de măsură descrise în acest paragraf.

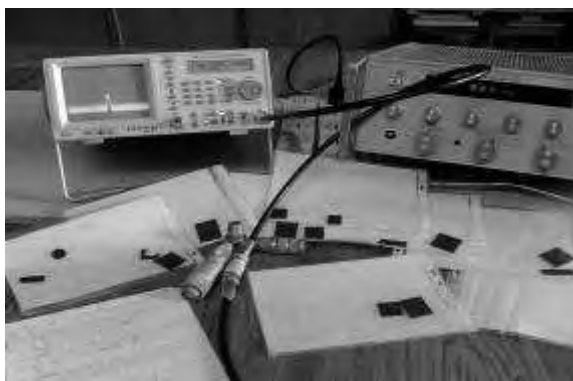


Figura 3. Sistem de măsură în banda m și dm  
Figure 3. Measurement setup for the m and dm band

Measurement of the attenuation levels of the electromagnetic field produced by nanomaterials on the 1 GHz ÷ 100 GHz range includes the following steps:

- instrument calibration and interconnecting of the system components in accordance with figure 2;
- the variable attenuator is set at maximum attenuation;
- at the selected frequency values, two dB measurements are performed using the LABVOLT power meter. Firstly, the microwave field power  $P_1$  is measured in the absence of the test sample. Then, after having inserted the sample in the waveguide perpendicularly to the propagation direction,  $P_2$  is measured;
- the attenuation produced to the microwave field by the nanomaterial sample is calculated as the relation:
- the attenuation versus frequency characteristic is plotted for each material type, between 1 GHz and 100 GHz.

The above-described methodology allows for the direct measurement of the microwave field power in dBm by employing a diode detector device and a LABVOLT microwave power meter operating on its dB scale. The power can be determined from the waveform of the peak-to-peak voltage  $V_{vv}$  displayed on the oscilloscope screen. In this case, the measured microwave field power is dissipated by the thermistor according to the relation:

where  $R = 8 \Omega$  is the resistance of the thermistor as specified for the LABVOLT equipment.

Figures 3 and 4 illustrate the measurement setups described in this section.



Figura 4. Sistem de măsură în banda cm  
Figure 4. Measurement setup for the cm band

#### 4. Concluzii asupra rezultatelor studiului

Pentru stabilirea prin măsurări experimentale a unor caracteristici ale materialelor noi apărute în practică se impune a se folosi acele sisteme și metodologii de măsurare care să ofere maximul de precizie. Sistemele descrise au fost testate prin măsurări de verificare pe materiale cu parametri cunoscuți și rezultatele au confirmat exactitatea determinărilor. Metodologia aplicată este strâns legată de specificațiile tehnice ale aparatelor și echipamentelor utilizate și de particularitățile de propagare ale câmpului electromagnetic prin diferite medii și linii de transmisie.

În domeniul microundelor, sistemul de măsură bazat pe generatoare, elemente de propagare, detectoare cu diode de radiofrecvență și indicator de putere dedicat este sistemul cu rezultate experimentale cele mai bune. Măsurările de verificare a sistemului și a metodei efectuate pe eșantioane cu parametri cunoscuți au demonstrat precizia ridicată a acestuia.

Studiile experimentale se impun a fi efectuate într-o multitudine de condiții determinate de varietatea domeniilor de aplicabilitate, ceea ce impune lărgirea paletii de metodologii și tehnici de măsurări experimentale.

#### References

1. CENELEC Guide n<sup>o</sup> 24: *Electromagnetic Compatibility (EMC) Standardization for Product Committees*. Edition 1, July 2001
2. CENELEC Guide n<sup>o</sup> 25: *Guide on the use of Standards for the implementation of the EMC Directive*. Edition 1, July 2001
3. Abe Electronic S.P.A.: *Broadcast engineer's handbook*. Caravaggio, Italy, 1999
4. Ogruțan, P., Aciu, L.: *Electromagnetic Compatibility. Applications*. "Transilvania" University Press, ISBN (130) 978-973-635-864-7, Brașov, 2006 (in Romanian)
5. Lojewski, G.: *Microwaves - Devices and Circuits*. "Teora" Publishing House, Bucharest, 1995 (in Romanian)
6. Țebeanu, T.: *Microwave. Devices and Circuits*. "Politehnica" University Press, Bucharest, 2004 (in Romanian)

Lucrare primită în Decembrie 2007  
(și în formă revizuită în Februarie 2008)

#### 4. Conclusions about study results

Experimental investigations for determining the new material characteristics require the use of systems providing the highest accuracy. The described systems were verified by carrying out test measurements on known material sample for which the results have confirmed the validity and accuracy of the measurements. The employed techniques and procedures are closely related with the technical specification of the measuring instruments and equipments included in the experimental setups and also with the characteristics of the electromagnetic field propagation in different media and transmission lines.

In the microwave region, the most accurate measurement results were obtained by using a measurement setup which includes RF signal generators, microwave transmission equipments, radiofrequency diode detectors and a dedicated power meter. Measurement system and method verifications were carried out on material samples with known parameter values and have demonstrated that these are capable to perform the measurement of the desired parameters with a good accuracy.

Experimental investigations should be carried out for a variety of the cases and situations depending on the specific application areas, which calls for a broader spectrum of measuring procedures and techniques.

Received in December 2007  
(and revised form in February 2008)