

EDUARD LUNCĂ

**COMPATIBILITATE
ELECTROMAGNETICĂ**

Teste și măsurări specifice

editura pim
Iași, 2015

Referenți științifici:

Prof. univ. dr. ing. Alexandru Sălceanu

Prof. univ. dr. ing. Valeriu David

editura pim

Editură acreditată CNCSIS – 66/2010

Șoseaua Ștefan cel Mare și Sfânt nr. 4, Iași – 700497

Tel.: 0730.086.676, 0732.430.407, 0733.004.203

Fax: 0332.440.715

email: editura@pimcopy.ro

www.pimcopy.ro

Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României

LUNCĂ, EDUARD

Compatibilitate electromagnetică : teste și măsurări specifice /

Eduard Luncă. - Iași : PIM, 2015

ISBN 978-606-13-2834-5

537.8

621.316.3

Tehnoredactarea computerizată: **Dr. ing. Eduard Luncă**

Coperta: **Dr. ing. Daniel Petrișor**

PREFAȚĂ

Compatibilitatea Electromagnetică (CEM) este o ramură de dată mai recentă a ingineriei electrice și electronice, integrând legi, concepte și metode specifice domeniilor tradiționale. Importanța ei crește constant, odată cu diversitatea și complexitatea echipamentelor moderne, fără de care ar fi greu de imaginat viața noastră cotidiană. Cu cât aspectele de compatibilitate electromagnetică vor fi considerate și integrate mai devreme în dezvoltarea unui produs, cu atât pierderile economice cauzate de eventualele îmbunătățiri și modificări ale produsului vor fi mai mici. Actualmente, în orice țară, punerea pe piață și utilizarea produselor electrice și electronice este ferm condiționată de asigurarea conformității cu reglementările și standardele CEM aflate în vigoare.

În acest context, familiarizarea studenților electrotehniști și electroniști cu problematica CEM trebuie să reprezinte un punct cheie al oricărui program de studiu. Tocmai acesta este și scopul lucrării de față, care se adresează, în principal, studenților Facultății de Inginerie Electrică, Energetică și Informatică Aplicată din Iași, dar care, în același timp, poate constitui un material bibliografic util pentru orice specialist sau inginer electrotehnist. Deși lucrarea este centrată pe problematica testelor și măsurărilor de compatibilitate electromagnetică, ea se sprijină pe noțiunile și aspectele de bază specifice domeniului CEM, oferind, în final, o imagine introductivă cuprinzătoare.

Prezentarea informațiilor este structurată pe cinci capitole, fiecare dintre acestea terminându-se cu un set de exerciții și probleme pentru fixarea cunoștințelor.

Capitolul 1 reprezintă o introducere în problematica generală a CEM: se definesc noțiuni de bază, se discută modelul elementar de interferență și mecanismele de cuplaj, se prezintă un scurt istoric CEM și exemple de probleme CEM reprezentative, se realizează o clasificare sintetică a surselor de perturbații electromagnetice, se prezintă tipurile de standarde CEM și organismele de standardizare etc.

Capitolul 2 constituie o trecere în revistă a principalelor mărimi și unități de măsură utilizate în tehnica CEM, evidențiind, în același timp, avantajele și modalitățile de reprezentare a acestor mărimi sub formă logaritmică, cu ajutorul decibelului.

Capitolul 3 este dedicat liniilor de transmisie și conectorilor de radiofrecvență pentru aplicații de compatibilitate electromagnetică. O atenție

specială este acordată adaptării de impedanță și pierderilor de putere pe linia de transmisie, aspecte esențiale pentru implementarea și funcționarea corectă a oricărui sistem de testare CEM.

Capitolul 4 prezintă, în detaliu, instrumentele utilizate la măsurarea emisiilor electromagnetice perturbatoare: analizorul de spectru, receptorul de perturbații și osciloscopul. Tot în cadrul acestui capitol, se realizează și o analiză teoretico-experimentală asupra conținutului spectral al unor semnale reprezentative pentru practica CEM: semnale digitale, semnale modulate în amplitudine și semnale modulate în frecvență.

Capitolul 5, amplu, investighează – în strânsă legătură cu recomandările și prescripțiile existente în standardele internaționale – principalele tehnici și metode de măsurare a emisiilor electromagnetice perturbatoare (de radiofrecvență), transmise prin conducție și prin radiație, precum și de testare a imunității echipamentelor la astfel de perturbații.

Recunoștința și mulțumirile mele cele mai sincere se îndreaptă către domnii profesori Alexandru Sălceanu și Valeriu David, care – în calitatea domniilor lor de referenți științifici ai lucrării – au făcut posibilă creșterea calității acesteia. De asemenea, adresez mulțumiri tuturor colegilor care, într-un fel sau altul, au contribuit la apariția în bune condiții a cărții, dar și potențialilor cititori, care, prin sugestiile și observațiile lor, vor contribui la îmbunătățirea conținutului unei viitoare ediții.

Eduard Luncă

Iași, 2015

CUPRINS

1. ASPECTE FUNDAMENTALE ALE COMPATIBILITĂȚII ELECTROMAGNETICE (CEM)	1
1.1. Introducere	1
1.2. Scurt istoric	2
1.3. Modelul elementar de interferență	4
1.4. Exemple de probleme CEM / EMI.....	7
1.5. Surse de perturbații. Clasificări.....	9
1.6. Perturbații de câmp apropiat și de câmp îndepărtat	12
1.7. Standardizarea în domeniul CEM	15
1.7.1. Organizații de standardizare	16
1.7.2. Standarde CEM	18
1.7.2.1. Standarde militare.....	18
1.7.2.2. Standarde civile.....	22
1.7.3. Directiva 2004/108/CE și marcajul CE	29
1.8. Teste CEM	32
1.8.1. Teste de diagnoză	32
1.8.2. Teste de pre-conformitate.....	32
1.8.3. Teste de conformitate	33
1.8.4. Teste privind asigurarea calității.....	33
1.9. Exerciții și probleme	34
2. MĂRIMI ȘI UNITĂȚI DE MĂSURĂ UTILIZATE ÎN COMPATIBILITATEA ELECTROMAGNETICĂ	36
2.1. Decibelul, în exprimarea rapoartelor de transfer.....	36
2.2. Decibelul, în exprimarea nivelurilor de semnal	38
2.3. Relații de conversie între mărimi	40
2.3.1. Conversii între putere, tensiune și curent	40
2.3.2. Conversii între câmp electric, câmp magnetic și densitate de putere	41
2.4. Programe utilitare de calcul	42
2.5. Exerciții și probleme	44
3. LINII DE TRANSMISIE ȘI CONECTORI DE RADIOFRECVENȚĂ PENTRU APLICAȚII DE COMPATIBILITATE ELECTROMAGNETICĂ	46

3.1. Aspecte de bază privind adaptarea de impedanță.....	46
3.2. Pierderi de putere pe linia de transmisie	49
3.3. Linii de transmisie pentru semnale RF.....	51
3.4. Conectori coaxiali de radiofrecvență	54
3.5. Exerciții și probleme	57
4. INSTRUMENTE PENTRU MĂSURAREA ȘI ANALIZA EMISIILOR ELECTROMAGNETICE PERTURBATOARE	61
4.1. Analizorul de spectru	61
4.1.1. Despre analiza spectrală a semnalelor. Noțiunea de spectru	61
4.1.2. Analizorul de spectru clasic.....	64
4.1.2.1. Principiul de funcționare	64
4.1.2.2. Atenuatorul de intrare.....	66
4.1.2.3. Filtrul trece-jos sau preselectorul.....	66
4.1.2.4. Reglarea analizorului	66
4.1.2.5. Amplificatorul de frecvență intermediară	69
4.1.2.6. Filtrele de frecvență intermediară	69
4.1.2.7. Timpul de baleiaj	71
4.1.2.8. Detectorul de envelopă (de vârf)	72
4.1.2.9. Afișarea semnalelor	73
4.1.2.10. Procedeele de mediere	74
4.1.3. Analiza spectrală a unor semnale reprezentative.....	76
4.1.3.1. Evaluarea spectrului de frecvență al unor semnale digitale	77
4.1.3.2. Studiul unor semnale modulate în amplitudine	80
4.1.3.3. Studiul unor semnale modulate în frecvență.....	82
4.2. Receptorul de perturbații.....	86
4.2.1. Principiul de funcționare	86
4.2.2. Cerințe de proiectare CISPR	87
4.2.2.1. Lățimile de bandă FI.....	87
4.2.2.2. Funcțiile de detecție.....	88
4.2.2.3. Alte cerințe	91
4.2.3. Prezentare generală a unui receptor de perturbații modern	92
4.2.4. Scurtă comparație cu analizorul de spectru	95
4.3. Osciloscopul.....	95

4.4. Exerciții și probleme	99
5. EVALUAREA COMPATIBILITĂȚII ELECTROMAGNETICE.	
TESTE DE EMISIE ȘI TESTE DE IMUNITATE.....	102
5.1. Teste de emisie.....	102
5.1.1. Măsurarea emisiilor perturbatoare conduse.....	102
5.1.2. Măsurarea emisiilor perturbatoare radiate	109
5.1.2.1. Antene	110
5.1.2.2. Spații de test	120
5.2. Teste de imunitate	134
5.2.1. Testarea imunității la perturbații conduse, induse de câmpuri electromagnetice de radiofrecvență	135
5.2.2. Testarea imunității la perturbații radiate.....	138
5.3. Exerciții și probleme	141
BIBLIOGRAFIE	143
ANEXA 1. FORMULE UTILE	151
ANEXA 2. TABELE DE CONVERSIE	153

BIBLIOGRAFIE

- [ADA02] Adăscăliței A., Ball R., Crețu M., David V., Lever P., Montanari I., Paede M., Sălceanu A., *Electromagnetic Compatibility Testing and Measurement. Practical Manual*, First Edition, University of Warwick, UK, 2002.
- [AGI01] Agilent Technologies, *Spectrum Analysis – Amplitude and Frequency Modulation*, Application Note 150-1, 2001, Online: <http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5954-9130.pdf>.
- [AGI04] Agilent Technologies, *Spectrum Analysis Basics*, Application Note 150, 2004.
- [AGI14] Agilent Technologies, *ESA-E Series Spectrum Analyzer*, Datasheet, 14 February 2014, Online: <http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5989-9815EN.pdf>.
- [ALT15] Altronics, *VSWR, or Voltage Standing Wave Ratio*, Technical Document, Online: <http://www.altronics.it/products/data/technical/VSWR%20or%20Voltage%20Standing%20Wave%20Ratior.pdf>, Accesat 2015.
- [ANT01] Antoniu M., *Măsurări electronice – Metrologie, aparate de măsură analogice*, Ediția a III-a, Editura Satya, Iași, 2001.
- [ANT02] Antoniu M., *Măsurări electronice – Măsurări la frecvențe joase, înalte și optice*, Ediția a III-a, Editura Satya, Iași, 2002.
- [ARM01] Armstrong K., Williams T., *EMC Testing Part 1 – Radiated Emissions*, EMC Compliance Journal, pp. 27-39, February 2001, Online: http://www.compliance-club.com/archive/old_archive/010327.html.
- [ARM11] Armstrong K., *Guide to Testing Conducted Emissions (Based on the Methods in EN 55022 and EN 55011) – Part 2*, In Compliance, 1 October 2011, Online: <http://incompliancemag.com/article/guide-to-testing-conducted-emissions-part-2/>.
- [ARM15] Armstrong K., Williams T., *Why cellphones are banned during flights & Video Walkman interferes with critical instruments*, Online: <http://www.ofcom.org.uk/static/archive/ra/topics/research/RAwebPages/Radiocomms/pages/interexpl/aviation.htm>, Accesat 2015.

-
- [BAR07] Baraboi A., Adam M., Popa S., Pancu C., *Compatibilitate Electromagnetică*, Editura PIM, Iași, 2007.
- [BAR10] Barnes J.R., *EMC/EMI/ESD Standards for Household Electrical Appliances and Portable Tools*, December 2010, Online: <http://www.dbicorporation.com/applianc.htm>.
- [BJÖ99] Björklöf D., *EMC Standards and Their Application*, Compliance Engineering Magazine, Annual Reference Guide, 1999, Online: <http://www.cemag.com/99ARG/toc.html>.
- [BRI09] Briggs M., Bare D., *Emissions Testing for Information Technology Equipment – EN 55022:2006 and Requirements for Measurements above 1 GHz*, White paper, Rev. 1.0, May 2009, NTS – Silicon Valley, Online: https://www.nts-cs.com/elliott/collateral/white_papers/Emissions-Testing-For-Information-Technology-Equipment-EN-55022.pdf.
- [BRO97] Brown C., *Spectrum Analysis Basics*, Tutorial, Hewlett-Packard Company, 1997.
- [BUR03] Van Der Burgt M.J., *Coaxial Cables and Applications*, Technical Article, Belden Electronics Division, 2003, Online: <http://www.belden.com/pdfs/Techpprs/CoaxialCablesandApplications.pdf>.
- [CEN06] European Committee for Electrotechnical Standardization (CENELEC), *EN 55022 – Information technology equipment – Radio disturbance characteristics – Limits and methods of measurement*, 2006.
- [CEN09] European Committee for Electrotechnical Standardization (CENELEC), *CENELEC Guide 24. Electromagnetic Compatibility (EMC) Standardization for Product Committees concerned with apparatus*, Edition 3, 2009-12, Online: ftp://ftp.cencenelec.eu/CENELEC/Guides/CLC/24_CENELEC_Guide24.pdf.
- [CHI08] Chitode J.S., *Principles of Communications*, First Edition, Technical Publications, Pune, 2008.
- [CIS10] International Special Committee on Radio Interference (CISPR), *CISPR 16-1-1:2010 – Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 1-1: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – Measuring apparatus*, 2010.
- [DAS00] Das A., Das S.K., *Microwave Engineering*, Second Edition, Tata McGraw-Hill, New Delhi, 2000.

- [DAV06] David V., Crețu M., *Măsurarea intensității câmpului electromagnetic*, Casa de Editură Venus, Iași, 2006.
- [DCE04] *Directiva 2004/108/CE a Parlamentului European și a Consiliului din 15 decembrie 2004 privind apropierea legislațiilor statelor membre cu privire la compatibilitatea electromagnetică și de abrogare a Directivei 89/336/CEE*, Jurnalul Oficial al Uniunii Europene, L 390/24, pp. 85-98, 31.12.2004.
- [DOD07] Department of Defense (DoD), *MIL-STD-461F Standard – Requirements for the control of electromagnetic interference characteristics of subsystems and equipment*, 10 December 2007.
- [ETS03] ETS Lindgren, *Model 3140B BiConiLog Antenna*, Product Datasheet, 2003, Online: <http://www.ets-lindgren.com/pdf/3140B.pdf>.
- [ETS08a] ETS Lindgren, *Model 3121D Tuned Dipole Antenna Set*, Product Datasheet, 2008, Online: <http://www.ets-lindgren.com/pdf/3121D.pdf>.
- [ETS08b] ETS Lindgren, *Model 3148B Log Periodic Antenna*, Product Datasheet, 2008, Online: <http://www.ets-lindgren.com/pdf/3148B.pdf>.
- [ETS09] ETS Lindgren, *Model 3104C Biconical Antenna*, User Manual, 2009, Online: <http://www.ets-lindgren.com/manuals/3104C.pdf>.
- [ETS13a] ETS Lindgren, *Model 3100 Series Conical Log Spiral Antennas*, User Manual, 2013, Online: <http://www.ets-lindgren.com/manuals/3101.pdf>.
- [ETS13b] ETS Lindgren, *Model 7405 Near-Field Probe Set*, User Manual, 2013, Online: <http://www.ets-lindgren.com/manuals/7405.pdf>.
- [ETS14] ETS Lindgren, *Model 3160 Series Pyramidal Horn Antenna*, User Manual, 2014, Online: <http://www.ets-lindgren.com/manuals/3160.pdf>.
- [ETS15] ETS Lindgren, *Model 6502 Active Shielded Loop Antenna*, Product Datasheet, 2015, Online: <http://www.ets-lindgren.com/pdf/6502.pdf>.
- [FCC15] Fischer Custom Communications (FCC), *3 GHz TEM Cell*, Datasheet, 2015, Online: <http://www.fischercc.com/ViewProductGroup.aspx?productId=5976&productGroupId=101>.

- [FRA15] Frankonia EMC Test-Systems, *Anechoic Chambers & RF-Shielded Rooms*, Brochure, 2015, Online: http://www.frankoniagroup.com/cms/fileadmin/shared/downloads/rooms%26chambers/Anechoic_Chambers.pdf.
- [GDC07] *Ghid pentru Directiva CEM 2004/108/CE*, 22 Martie 2007, Online: http://www.acero.ro/Ghid_EMC_2007.pdf.
- [GIU13] Giuffrida M., *Electrical Plants and Electric Propulsion on Ships*, First Edition, lulu.com, 2013.
- [GOR03] Gorin J., *Detector Selection for Spectrum Analyzer Measurements*, RF Test and Measurement, pp. 32-38, February 2003.
- [HOR98] Hortopan G., *Principii și tehnici de Compatibilitate Electromagnetică*, Editura Tehnică, București, 1998.
- [IAT14] International Air Transport Association (IATA), *Guidance on the Expanded Use of Passenger Portable Electronic Devices (PEDs)*, Version 2, June 2014, Online: <https://www.iata.org/publications/Documents/guidance-use-expansion-peds.pdf>.
- [IEC01] International Electrotechnical Commission (IEC), *Electromagnetic Compatibility. The role and contribution of IEC standards*, 2001.
- [IEC10a] International Electrotechnical Commission (IEC), *IEC 61000-4-20:2010 Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-20: Testing and measurement techniques – Emission and immunity testing in transverse electromagnetic (TEM) waveguides*, 2010.
- [IEC10b] International Electrotechnical Commission (IEC), *IEC 61000-4-3:2006+AMD1:2007+AMD2:2010 CSV Consolidated version, Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-3: Testing and measurement techniques – Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test*, 2010.
- [IEC11] International Electrotechnical Commission (IEC), *IEC TR 61000-2-5:2011 – Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 2-5: Environment – Description and classification of electromagnetic environments*, 2011.
- [IEC13] International Electrotechnical Commission (IEC), *IEC 61000-4-6:2013 – Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-6: Testing and measurement techniques – Immunity to conducted disturbances, induced by radio-frequency fields*, 2013.

-
- [IEC90] International Electrotechnical Commission (IEC), *IEC 60050-161:1990 – International Electrotechnical Vocabulary. Chapter 161: Electromagnetic compatibility*, 1990.
- [IEC96] International Electrotechnical Commission (IEC), *IEC TR 61000-5-1:1996 – Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 5: Installation and mitigation guidelines – Section 1: General considerations – Basic EMC publication*, 1996.
- [IGN15] Ignea A., *Compatibilitate Electromagnetică*, Curs, Universitatea Politehnica Timișoara, Online: http://www.meo.etc.upt.ro/index.php?pag=doc_cursuri#cem, Accesat 2015.
- [ISH96] Ishigami S., Takashi H., Iwasaki T., *Measurements of Complex Antenna Factor by the Near-Field 3-Antenna Method*, IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, Vol. 38, No. 3, pp. 424-432, 1996.
- [KRA95] Kraz, V., *Near-Field Methods of Locating EMI Sources*, Compliance Engineering Magazine, May / June 1995, Online: <http://www.bestesd.com/library/NEARFIELD.pdf>.
- [LEA15] LearnEMC Tutorials Page, *Introduction to EMC*, 2015, Online: http://www.learnemc.com/tutorials/Introduction_to_EMC/Introduction.html.
- [LUN05] Luncă E., Sălceanu A., David V., Crețu M., *Dealing with Electromagnetic Interference Problems by Using Near-Field Probes*, 5th International Conference on Electromechanical and Power Systems, SIELMEN 2005, Chișinău, Vol. I, pp. 351-354, Oct. 06-08, 2005.
- [LUN12] Luncă E., Ursache S., Sălceanu A., *LabVIEW Interactive Simulations for Electromagnetic Compatibility*, International Journal of Online Engineering (iJOE), Vol. 8, No. 2, pp. 11-14, 2012.
- [MAL09] Malaric K., *EMI Protection for Communication Systems*, Artech House, Norwood, 2009.
- [MAY00] Mays R.P., *A Summary of the Transmitting and Receiving Properties of Antennas*, IEEE Antennas and Propagation Magazine, Vol. 42, No. 3, 2000.
- [MAZ09] Mazzola S., *MIL-STD-461: The basic military EMC specification and it's evolution over the years*, IEEE Long Island Systems, Applications and Technology Conference, LISAT '09, pp. 1-5, May 2009.

-
- [McL03] McLean J., Sutton R., Hoffman R., *Interpreting Antenna Performance Parameters for EMC Applications*, TDK RF Solutions, 2003, Online: http://tdkrfsolutions.com/images/uploads/brochures/antenna_paper_part3.pdf.
- [NEL98] Nelson R.A., *Modulation, Power, and Bandwidth*, Via Sattelite, Vol. 97-53, pp. 1-5, July 1998, Online: http://www.atcourses.com/sampler/Modulation_Power_Bandwidth.pdf.
- [NIC89] Nicolau E. (coordonator), *Manualul Inginerului Electronist – Radiotehnică*, Vol. III, Editura Tehnică, București, 1989.
- [NXP11] NXP Semiconductors, *SMPS EMC and layout guidelines*, Application Note AN 10912, Rev. 1, 18 February 2011, Online: http://www.nxp.com/documents/application_note/AN10912.pdf.
- [OTT09] Ott H.W., *Electromagnetic Compatibility Engineering*, John Wiley & Sons, Hoboken, 2009.
- [PAS13] Pasternack, *Flexible RG58 Coax Cable Single Shielded with Black PVC (NC) Jacket*, Technical Datasheet, 2013, Online: <http://www.pasternack.com/images/ProductPDF/RG58C-U.pdf>.
- [PAU06] Paul C.R., *Introduction to Electromagnetic Compatibility*, Second Edition, John Wiley & Sons, Hoboken, 2006.
- [PAU09] Paul C.R., *Bandwidth of Digital Waveforms*, IEEE EMC Society Newsletter, No. 223, pp. 58-64, 2009, Online: <http://www.emcs.org/acstrial/newsletters/fall09/PracticalPapers.pdf>.
- [POZ98] Pozar D.M., *Microwave Engineering*, Second Edition, John Wiley & Sons, New York, 1998.
- [REI15a] Reiser J.H., *Transmission Lines*, Technical Library, Astron Wireless Technologies, Online: <http://www.astronwireless.com/topic-archives.asp>, Accesat 2015.
- [REI15b] Reiser J.H., *RF Coaxial Connectors*, Technical Library, Astron Wireless Technologies, Online: <http://www.astronwireless.com/topic-archives.asp>, Accesat 2015.
- [ROB03] Robinson M.P., Bozec D., Marshman C.A., *Health Care Engineering and Electromagnetic Compatibility (EMC)*, International Conference on Healthcare Engineering – Latest

- Developments and Applications: IMechE Conference Transactions, Antony Rowe, Chippenham, 2003.
- [ROH06] Rohde & Schwarz, *R&S® ESU EMI Test Receiver*, Flyer, March 2006, Online: https://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_brochures_and_datasheets/pdf_1/ESU_en.pdf.
- [SAL15] Sălceanu A., Luncă E., Neacșu O., Păuleț M., Ursache S., *Compatibilitate Electromagnetică. Aplicații*, Editura PIM, Iași, 2015.
- [SAL99] Sălceanu A., Crețu M., Sărmășanu C., *Zgomote și interferențe în instrumentație*, Editura Cerami, Iași, 1999.
- [SCH00] Schaffner, *The Handy Guide to RF emissions tests*, 2000.
- [SCH01] Schaffner, *RF Immunity Testing – a handy guide*, 2001.
- [SCH07] Schreier G., *Higher Testing Frequencies Impact EMC Antennas*, Evaluation Engineering, October 2007, Online: <http://www.evaluationengineering.com/articles/200710/higher-testing-frequencies-impact-emc-antennas.php>.
- [SCH13] Schaffner, *Basics in EMC / EMI and Power Quality*, Brochure, 2013.
- [SCH15] Schwarzbeck D., *The EMI-Receiver according to CISPR 16-1-1*, Application Note, Schwarzbeck Mess-Elektronik, Online: <http://www.schwarzbeck.de/appnotes/EMIRcvrCISPR16.pdf>, Accesat 2015.
- [SCH96] Schwab A.J., *Compatibilitatea Electromagnetică*, Ediția a III-a, Editura Tehnică, București, 1996.
- [SOT97] Sotir A., Moșoiu T., *Compatibilitate Electromagnetică*, Editura Militară, București, 1997.
- [STR07] Strîmbu C., *Semnale și circuite electronice – Analiza și prelucrarea semnalelor*, Editura Academiei Forțelor Aeriene „Henri Coandă”, Brașov, 2007.
- [TDK15] TDK RF Solutions, *Compact Fully Anechoic Chamber CAC-S™ (26 MHz – 18 GHz)*, Datasheet, Online: <http://tdkrfsolutions.com/images/uploads/data-sheets/TDK-CACS-2618.pdf>, Accesat 2015.
- [TEK13] Tektronix, *Mixed Domain Oscilloscopes – MDO4000 Series*, Datasheet, 10 April 2013, Online: <http://tektronix.calplus.de/pdf/3032/>.
- [TEK14] Tektronix, *Fundamentals of the MDO4000 Series Mixed Domain Oscilloscope*, Application Note, 07 April 2014, Online:

-
- <http://www.tek.com/fact-sheet/fundamentals-mdo4000-series-mixed-domain-oscilloscope>.
- [TES12a] Teseq, *CSP 9160A Current Sensor Probe 9 kHz to 200 MHz*, Datasheet, August 2012, Online: http://www.teseq.com/products/downloads/datasheet/CSP_9160.pdf.
- [TES12b] Teseq, *GTEM 1500 – GTEM Cell for Emissions and Immunity Testing*, Datasheet, 2012, Online: http://www.teseq.com/products/downloads/datasheet/GTEM_1500.pdf.
- [VRE02] Vremeră E., *Măsurări electrice și electronice*, Volumul II, Editura MatrixRom, București, 2002.
- [WES01] Weston D.A., *Electromagnetic Compatibility. Principles and Applications*, Second Edition, Marcel Dekker, New York – Basel, 2001.
- [WIL00] Williams T., *Measurement techniques and test methods: developments, costs and options*, March 2000, Online: http://www.elmac.co.uk/meast_t.htm.
- [WIL07] Williams T., *EMC for Product Designers*, 4th Edition, Newnes, Oxford, 2007.
- [WPW15] West Penn Wire, *Coaxial Cable Construction*, Technical Reference, Online: http://www.westpenn-wpw.com/pdfs/coax_construction.pdf, Accesat 2015.
- [WYA12] Wyatt K., *The HF Current Probe: Theory and Application*, Interference Technology, 03/20/2012, Online: <http://www.interferencetechnology.com/the-hf-current-probe-theory-and-application/>.
- [ZHO04] Zhong C., *EMC Antenna Fundamentals*, Conformity: The Annual Guide, pp. 102-114, 2004.

1. Proprietăți de bază ale logaritmilor

Dacă $A, B > 0$, $m > 0$ și $m \neq 1$, atunci:

- $\log_m(A \cdot B) = \log_m A + \log_m B$;
- $\log_m\left(\frac{A}{B}\right) = \log_m A - \log_m B$;
- $\log_m(A^B) = B \log_m A$;
- $\log_m(\sqrt[B]{A}) = \frac{\log_m A}{B}$;
- $\log_m m = 1$;
- $\log_m 1 = 0$.

2. Proprietăți ale numerelor complexe

2.1. Forma algebrică a unui număr complex: $z = x + y \cdot j$, $x, y \in R$ și $j^2 = -1$, unde x este *partea reală*, y este *partea imaginară*, iar j este *unitatea imaginară*.

Egalitatea a două numere complexe:

- $z_1 = z_2 \Leftrightarrow x_1 = x_2$ și $y_1 = y_2$.

Conjugatul unui număr complex:

- $\bar{z} = x - y \cdot j$.

Modulul unui număr complex:

- $r = \sqrt{x^2 + y^2}$.

Operații cu numere complexe scrise în formă algebrică:

- $z_1 + z_2 = (x_1 + x_2) + (y_1 + y_2) \cdot j$;
- $z_1 - z_2 = (x_1 - x_2) + (y_1 - y_2) \cdot j$;
- $z_1 \cdot z_2 = (x_1 + y_1 \cdot j)(x_2 + y_2 \cdot j) = x_1 x_2 - y_1 y_2 + j(x_1 y_2 + x_2 y_1)$;

$$\begin{aligned} \triangleright \frac{z_1}{z_2} &= \frac{x_1 + y_1 \cdot j}{x_2 + y_2 \cdot j} = \frac{(x_1 + y_1 \cdot j)(x_2 - y_2 \cdot j)}{x_2^2 + y_2^2} = \\ &= \frac{x_1 x_2 + y_1 y_2}{x_2^2 + y_2^2} + \frac{j(y_1 x_2 - x_1 y_2)}{x_2^2 + y_2^2}. \end{aligned}$$

Puterile naturale ale numărului j :

$$\triangleright j^{4k} = 1; j^{4k+1} = j; j^{4k+2} = -1; j^{4k+3} = -j.$$

Corelarea operațiilor cu conjugatul și modulul numărului complex:

$$\triangleright z \cdot \bar{z} = |z|^2 = |\bar{z}|^2;$$

$$\triangleright \overline{z_1 \pm z_2} = \bar{z}_1 \pm \bar{z}_2;$$

$$\triangleright \overline{z_1 \cdot z_2} = \bar{z}_1 \cdot \bar{z}_2;$$

$$\triangleright \overline{\left(\frac{z_1}{z_2} \right)} = \frac{\bar{z}_1}{\bar{z}_2};$$

$$\triangleright \overline{z^n} = (\bar{z})^n.$$

2.2. Forma trigonometrică a unui număr complex: $z = r(\cos \varphi + j \sin \varphi)$, unde r este *modulul* numărului complex, iar $\varphi = \arctg \frac{y}{x}$ este *argumentul* numărului complex.

Dacă $z_1 = r_1(\cos \varphi_1 + j \sin \varphi_1)$ și $z_2 = r_2(\cos \varphi_2 + j \sin \varphi_2)$, atunci:

$$\triangleright z_1 \cdot z_2 = r_1 r_2 [\cos(\varphi_1 + \varphi_2) + j \sin(\varphi_1 + \varphi_2)];$$

$$\triangleright \frac{z_1}{z_2} = r_1 r_2 [\cos(\varphi_1 - \varphi_2) + j \sin(\varphi_1 - \varphi_2)];$$

$$\triangleright z_1^n = r_1^n (\cos n\varphi_1 + j \sin n\varphi_1) - \text{Formula lui Moivre};$$

$$\triangleright \sqrt[n]{z_1} = \sqrt[n]{r_1} \left(\cos \frac{\varphi_1 + 2k\pi}{n} + j \sin \frac{\varphi_1 + 2k\pi}{n} \right).$$

Tabelul 1*Rapoarte de puteri și tensiuni (curenți) exprimate în decibeli*

Nr. decibeli (dB)	Raport de puteri	Raport de tensiuni (curenți)
-140	10^{-14}	10^{-7}
-120	10^{-12}	10^{-6}
-100	10^{-10}	10^{-5}
-80	10^{-8}	10^{-4}
-60	10^{-6}	10^{-3}
-40	10^{-4}	10^{-2}
-30	10^{-3}	0,03
-20	10^{-2}	0,10
-14	0,04	0,20
-12	0,05	0,25
-10	0,10	0,32
-6	0,25	0,50
-3	0,50	0,71
0	1,00	1,00
3	2,00	1,40
6	4,00	2,00
10	10,0	3,20
12	16,0	4,00
14	25,0	5,00
20	10^2	10,0
30	10^3	32,0
40	10^4	10^2
60	10^6	10^3
80	10^8	10^4
100	10^{10}	10^5
120	10^{12}	10^6
140	10^{14}	10^7

Tabelul 2*Conversii între putere, tensiune și curent ($Z = 50 \Omega$)*

$P(\text{dBm})$	$P(\text{dBW})$	$U(\text{dB}\mu\text{V})$	$U(\text{V})$	$I(\text{dB}\mu\text{A})$	$I(\text{A})$	$P(\text{W})$
-100	-130	6,9897	2,24E-06	-26,9897	4,47E-08	1E-13
-99	-129	7,9897	2,51E-06	-25,9897	5,02E-08	1,26E-13
-98	-128	8,9897	2,82E-06	-24,9897	5,63E-08	1,58E-13
-97	-127	9,9897	3,16E-06	-23,9897	6,32E-08	2E-13
-96	-126	10,9897	3,54E-06	-22,9897	7,09E-08	2,51E-13
-95	-125	11,9897	3,98E-06	-21,9897	7,95E-08	3,16E-13
-94	-124	12,9897	4,46E-06	-20,9897	8,92E-08	3,98E-13
-93	-123	13,9897	5,01E-06	-19,9897	1E-07	5,01E-13
-92	-122	14,9897	5,62E-06	-18,9897	1,12E-07	6,31E-13

ANEXA 2. TABELE DE CONVERSIE

P(dBm)	P(dBW)	U(dBμV)	U(V)	I(dBμA)	I(A)	P(W)
-91	-121	15,9897	6,3E-06	-17,9897	1,26E-07	7,94E-13
-90	-120	16,9897	7,07E-06	-16,9897	1,41E-07	1E-12
-89	-119	17,9897	7,93E-06	-15,9897	1,59E-07	1,26E-12
-88	-118	18,9897	8,9E-06	-14,9897	1,78E-07	1,58E-12
-87	-117	19,9897	9,99E-06	-13,9897	2E-07	2E-12
-86	-116	20,9897	1,12E-05	-12,9897	2,24E-07	2,51E-12
-85	-115	21,9897	1,26E-05	-11,9897	2,51E-07	3,16E-12
-84	-114	22,9897	1,41E-05	-10,9897	2,82E-07	3,98E-12
-83	-113	23,9897	1,58E-05	-9,9897	3,17E-07	5,01E-12
-82	-112	24,9897	1,78E-05	-8,9897	3,55E-07	6,31E-12
-81	-111	25,9897	1,99E-05	-7,9897	3,99E-07	7,94E-12
-80	-110	26,9897	2,24E-05	-6,9897	4,47E-07	1E-11
-79	-109	27,9897	2,51E-05	-5,9897	5,02E-07	1,26E-11
-78	-108	28,9897	2,82E-05	-4,9897	5,63E-07	1,58E-11
-77	-107	29,9897	3,16E-05	-3,9897	6,32E-07	2E-11
-76	-106	30,9897	3,54E-05	-2,9897	7,09E-07	2,51E-11
-75	-105	31,9897	3,98E-05	-1,9897	7,95E-07	3,16E-11
-74	-104	32,9897	4,46E-05	-0,9897	8,92E-07	3,98E-11
-73	-103	33,9897	5,01E-05	0,0103	1E-06	5,01E-11
-72	-102	34,9897	5,62E-05	1,0103	1,12E-06	6,31E-11
-71	-101	35,9897	6,3E-05	2,0103	1,26E-06	7,94E-11
-70	-100	36,9897	7,07E-05	3,0103	1,41E-06	1E-10
-69	-99	37,9897	7,93E-05	4,0103	1,59E-06	1,26E-10
-68	-98	38,9897	8,9E-05	5,0103	1,78E-06	1,58E-10
-67	-97	39,9897	9,99E-05	6,0103	2E-06	2E-10
-66	-96	40,9897	0,000112	7,0103	2,24E-06	2,51E-10
-65	-95	41,9897	0,000126	8,0103	2,51E-06	3,16E-10
-64	-94	42,9897	0,000141	9,0103	2,82E-06	3,98E-10
-63	-93	43,9897	0,000158	10,0103	3,17E-06	5,01E-10
-62	-92	44,9897	0,000178	11,0103	3,55E-06	6,31E-10
-61	-91	45,9897	0,000199	12,0103	3,99E-06	7,94E-10
-60	-90	46,9897	0,000224	13,0103	4,47E-06	1E-09
-59	-89	47,9897	0,000251	14,0103	5,02E-06	1,26E-09
-58	-88	48,9897	0,000282	15,0103	5,63E-06	1,58E-09
-57	-87	49,9897	0,000316	16,0103	6,32E-06	2E-09
-56	-86	50,9897	0,000354	17,0103	7,09E-06	2,51E-09
-55	-85	51,9897	0,000398	18,0103	7,95E-06	3,16E-09
-54	-84	52,9897	0,000446	19,0103	8,92E-06	3,98E-09
-53	-83	53,9897	0,000501	20,0103	1E-05	5,01E-09
-52	-82	54,9897	0,000562	21,0103	1,12E-05	6,31E-09
-51	-81	55,9897	0,00063	22,0103	1,26E-05	7,94E-09
-50	-80	56,9897	0,000707	23,0103	1,41E-05	1E-08
-49	-79	57,9897	0,000793	24,0103	1,59E-05	1,26E-08

ANEXA 2. TABELE DE CONVERSIE

P(dBm)	P(dBW)	U(dBμV)	U(V)	I(dBμA)	I(A)	P(W)
-48	-78	58,9897	0,00089	25,0103	1,78E-05	1,58E-08
-47	-77	59,9897	0,000999	26,0103	2E-05	2E-08
-46	-76	60,9897	0,001121	27,0103	2,24E-05	2,51E-08
-45	-75	61,9897	0,001257	28,0103	2,51E-05	3,16E-08
-44	-74	62,9897	0,001411	29,0103	2,82E-05	3,98E-08
-43	-73	63,9897	0,001583	30,0103	3,17E-05	5,01E-08
-42	-72	64,9897	0,001776	31,0103	3,55E-05	6,31E-08
-41	-71	65,9897	0,001993	32,0103	3,99E-05	7,94E-08
-40	-70	66,9897	0,002236	33,0103	4,47E-05	1E-07
-39	-69	67,9897	0,002509	34,0103	5,02E-05	1,26E-07
-38	-68	68,9897	0,002815	35,0103	5,63E-05	1,58E-07
-37	-67	69,9897	0,003159	36,0103	6,32E-05	2E-07
-36	-66	70,9897	0,003544	37,0103	7,09E-05	2,51E-07
-35	-65	71,9897	0,003976	38,0103	7,95E-05	3,16E-07
-34	-64	72,9897	0,004462	39,0103	8,92E-05	3,98E-07
-33	-63	73,9897	0,005006	40,0103	0,0001	5,01E-07
-32	-62	74,9897	0,005617	41,0103	0,000112	6,31E-07
-31	-61	75,9897	0,006302	42,0103	0,000126	7,94E-07
-30	-60	76,9897	0,007071	43,0103	0,000141	0,000001
-29	-59	77,9897	0,007934	44,0103	0,000159	1,26E-06
-28	-58	78,9897	0,008902	45,0103	0,000178	1,58E-06
-27	-57	79,9897	0,009988	46,0103	0,0002	2E-06
-26	-56	80,9897	0,011207	47,0103	0,000224	2,51E-06
-25	-55	81,9897	0,012574	48,0103	0,000251	3,16E-06
-24	-54	82,9897	0,014109	49,0103	0,000282	3,98E-06
-23	-53	83,9897	0,01583	50,0103	0,000317	5,01E-06
-22	-52	84,9897	0,017762	51,0103	0,000355	6,31E-06
-21	-51	85,9897	0,019929	52,0103	0,000399	7,94E-06
-20	-50	86,9897	0,022361	53,0103	0,000447	0,000001
-19	-49	87,9897	0,025089	54,0103	0,000502	1,26E-05
-18	-48	88,9897	0,02815	55,0103	0,000563	1,58E-05
-17	-47	89,9897	0,031585	56,0103	0,000632	2E-05
-16	-46	90,9897	0,035439	57,0103	0,000709	2,51E-05
-15	-45	91,9897	0,039764	58,0103	0,000795	3,16E-05
-14	-44	92,9897	0,044615	59,0103	0,000892	3,98E-05
-13	-43	93,9897	0,050059	60,0103	0,001001	5,01E-05
-12	-42	94,9897	0,056167	61,0103	0,001123	6,31E-05
-11	-41	95,9897	0,063021	62,0103	0,00126	7,94E-05
-10	-40	96,9897	0,070711	63,0103	0,001414	0,0001
-9	-39	97,9897	0,079339	64,0103	0,001587	0,000126
-8	-38	98,9897	0,089019	65,0103	0,00178	0,000158
-7	-37	99,9897	0,099881	66,0103	0,001998	0,0002
-6	-36	100,9897	0,112069	67,0103	0,002241	0,000251

ANEXA 2. TABELA DE CONVERSIE

$P(\text{dBm})$	$P(\text{dBW})$	$U(\text{dB}\mu\text{V})$	$U(\text{V})$	$I(\text{dB}\mu\text{A})$	$I(\text{A})$	$P(\text{W})$
-5	-35	101,9897	0,125743	68,0103	0,002515	0,000316
-4	-34	102,9897	0,141086	69,0103	0,002822	0,000398
-3	-33	103,9897	0,158301	70,0103	0,003166	0,000501
-2	-32	104,9897	0,177617	71,0103	0,003552	0,000631
-1	-31	105,9897	0,19929	72,0103	0,003986	0,000794
0	-30	106,9897	0,223607	73,0103	0,004472	0,001
1	-29	107,9897	0,250891	74,0103	0,005018	0,001259
2	-28	108,9897	0,281504	75,0103	0,00563	0,001585
3	-27	109,9897	0,315853	76,0103	0,006317	0,001995
4	-26	110,9897	0,354393	77,0103	0,007088	0,002512
5	-25	111,9897	0,397635	78,0103	0,007953	0,003162
6	-24	112,9897	0,446154	79,0103	0,008923	0,003981
7	-23	113,9897	0,500593	80,0103	0,010012	0,005012
8	-22	114,9897	0,561675	81,0103	0,011233	0,00631
9	-21	115,9897	0,63021	82,0103	0,012604	0,007943
10	-20	116,9897	0,707107	83,0103	0,014142	0,01
11	-19	117,9897	0,793387	84,0103	0,015868	0,012589
12	-18	118,9897	0,890195	85,0103	0,017804	0,015849
13	-17	119,9897	0,998815	86,0103	0,019976	0,019953
14	-16	120,9897	1,120689	87,0103	0,022414	0,025119
15	-15	121,9897	1,257433	88,0103	0,025149	0,031623
16	-14	122,9897	1,410864	89,0103	0,028217	0,039811
17	-13	123,9897	1,583015	90,0103	0,03166	0,050119
18	-12	124,9897	1,776172	91,0103	0,035523	0,063096
19	-11	125,9897	1,992898	92,0103	0,039858	0,079433
20	-10	126,9897	2,236068	93,0103	0,044721	0,1
21	-9	127,9897	2,50891	94,0103	0,050178	0,125893
22	-8	128,9897	2,815043	95,0103	0,056301	0,158489
23	-7	129,9897	3,15853	96,0103	0,063171	0,199526
24	-6	130,9897	3,543929	97,0103	0,070879	0,251189
25	-5	131,9897	3,976354	98,0103	0,079527	0,316228
26	-4	132,9897	4,461542	99,0103	0,089231	0,398107
27	-3	133,9897	5,005933	100,0103	0,100119	0,501187
28	-2	134,9897	5,616749	101,0103	0,112335	0,630957
29	-1	135,9897	6,302096	102,0103	0,126042	0,794328
30	0	136,9897	7,071068	103,0103	0,141421	1
31	1	137,9897	7,933869	104,0103	0,158677	1,258925
32	2	138,9897	8,901947	105,0103	0,178039	1,584893
33	3	139,9897	9,988149	106,0103	0,199763	1,995262
34	4	140,9897	11,20689	107,0103	0,224138	2,511886
35	5	141,9897	12,57433	108,0103	0,251487	3,162278
36	6	142,9897	14,10864	109,0103	0,282173	3,981072
37	7	143,9897	15,83015	110,0103	0,316603	5,011872

ANEXA 2. TABELA DE CONVERSIE

P(dBm)	P(dBW)	U(dBμV)	U(V)	I(dBμA)	I(A)	P(W)
38	8	144,9897	17,76172	111,0103	0,355234	6,309573
39	9	145,9897	19,92898	112,0103	0,39858	7,943282
40	10	146,9897	22,36068	113,0103	0,447214	10
41	11	147,9897	25,0891	114,0103	0,501782	12,58925
42	12	148,9897	28,15043	115,0103	0,563009	15,84893
43	13	149,9897	31,5853	116,0103	0,631706	19,95262
44	14	150,9897	35,43929	117,0103	0,708786	25,11886
45	15	151,9897	39,76354	118,0103	0,795271	31,62278
46	16	152,9897	44,61542	119,0103	0,892308	39,81072
47	17	153,9897	50,05933	120,0103	1,001187	50,11872
48	18	154,9897	56,16749	121,0103	1,12335	63,09573
49	19	155,9897	63,02096	122,0103	1,260419	79,43282
50	20	156,9897	70,71068	123,0103	1,414214	100
51	21	157,9897	79,33869	124,0103	1,586774	125,8925
52	22	158,9897	89,01947	125,0103	1,780389	158,4893
53	23	159,9897	99,88149	126,0103	1,99763	199,5262
54	24	160,9897	112,0689	127,0103	2,241377	251,1886
55	25	161,9897	125,7433	128,0103	2,514867	316,2278
56	26	162,9897	141,0864	129,0103	2,821727	398,1072
57	27	163,9897	158,3015	130,0103	3,16603	501,1872
58	28	164,9897	177,6172	131,0103	3,552344	630,9573
59	29	165,9897	199,2898	132,0103	3,985795	794,3282
60	30	166,9897	223,6068	133,0103	4,472136	1000
61	31	167,9897	250,891	134,0103	5,017819	1258,925
62	32	168,9897	281,5043	135,0103	5,630086	1584,893
63	33	169,9897	315,853	136,0103	6,31706	1995,262
64	34	170,9897	354,3929	137,0103	7,087858	2511,886
65	35	171,9897	397,6354	138,0103	7,952707	3162,278
66	36	172,9897	446,1542	139,0103	8,923084	3981,072
67	37	173,9897	500,5933	140,0103	10,01187	5011,872
68	38	174,9897	561,6749	141,0103	11,2335	6309,573
69	39	175,9897	630,2096	142,0103	12,60419	7943,282
70	40	176,9897	707,1068	143,0103	14,14214	10000
71	41	177,9897	793,3869	144,0103	15,86774	12589,25
72	42	178,9897	890,1947	145,0103	17,80389	15848,93
73	43	179,9897	998,8149	146,0103	19,9763	19952,62
74	44	180,9897	1120,689	147,0103	22,41377	25118,86
75	45	181,9897	1257,433	148,0103	25,14867	31622,78
76	46	182,9897	1410,864	149,0103	28,21727	39810,72
77	47	183,9897	1583,015	150,0103	31,6603	50118,72
78	48	184,9897	1776,172	151,0103	35,52344	63095,73
79	49	185,9897	1992,898	152,0103	39,85795	79432,82
80	50	186,9897	2236,068	153,0103	44,72136	100000

$P(\text{dBm})$	$P(\text{dBW})$	$U(\text{dB}\mu\text{V})$	$U(\text{V})$	$I(\text{dB}\mu\text{A})$	$I(\text{A})$	$P(\text{W})$
81	51	187,9897	2508,91	154,0103	50,17819	125892,5
82	52	188,9897	2815,043	155,0103	56,30086	158489,3
83	53	189,9897	3158,53	156,0103	63,1706	199526,2
84	54	190,9897	3543,929	157,0103	70,87858	251188,6
85	55	191,9897	3976,354	158,0103	79,52707	316227,8
86	56	192,9897	4461,542	159,0103	89,23084	398107,2
87	57	193,9897	5005,933	160,0103	100,1187	501187,2
88	58	194,9897	5616,749	161,0103	112,335	630957,3
89	59	195,9897	6302,096	162,0103	126,0419	794328,2
90	60	196,9897	7071,068	163,0103	141,4214	1000000
91	61	197,9897	7933,869	164,0103	158,6774	1258925
92	62	198,9897	8901,947	165,0103	178,0389	1584893
93	63	199,9897	9988,149	166,0103	199,763	1995262
94	64	200,9897	11206,89	167,0103	224,1377	2511886
95	65	201,9897	12574,33	168,0103	251,4867	3162278
96	66	202,9897	14108,64	169,0103	282,1727	3981072
97	67	203,9897	15830,15	170,0103	316,603	5011872
98	68	204,9897	17761,72	171,0103	355,2344	6309573
99	69	205,9897	19928,98	172,0103	398,5795	7943282
100	70	206,9897	22360,68	173,0103	447,2136	10000000

Tabelul 3
 Conversii factor de undă staționară – pierderi de întoarcere

s (:):1	a_r (dB)	a_m (dB)	$ \Gamma_s $	P_r (%)	s (:):1	a_r (dB)	a_m (dB)	$ \Gamma_s $	P_r (%)
1,00	—	0,000	0,00	0,0	1,64	12,3	0,263	0,24	5,9
1,01	46,1	0,000	0,00	0,0	1,66	12,1	0,276	0,25	6,2
1,02	40,1	0,000	0,01	0,0	1,68	11,9	0,289	0,25	6,4
1,03	36,6	0,001	0,01	0,0	1,70	11,7	0,302	0,26	6,7
1,04	34,2	0,002	0,02	0,0	1,72	11,5	0,315	0,26	7,0
1,05	32,3	0,003	0,02	0,1	1,74	11,4	0,329	0,27	7,3
1,06	30,7	0,004	0,03	0,1	1,76	11,2	0,342	0,28	7,6
1,07	29,4	0,005	0,03	0,1	1,78	11,0	0,356	0,28	7,9
1,08	28,3	0,006	0,04	0,1	1,80	10,9	0,370	0,29	8,2
1,09	27,3	0,008	0,04	0,2	1,82	10,7	0,384	0,29	8,5
1,10	26,4	0,010	0,05	0,2	1,84	10,6	0,398	0,30	8,7
1,11	25,7	0,012	0,05	0,3	1,86	10,4	0,412	0,30	9,0
1,12	24,9	0,014	0,06	0,3	1,88	10,3	0,426	0,31	9,3
1,13	24,3	0,016	0,06	0,4	1,90	10,2	0,440	0,31	9,6
1,14	23,7	0,019	0,07	0,4	1,92	10,0	0,454	0,32	9,9
1,15	23,1	0,021	0,07	0,5	1,94	9,9	0,468	0,32	10,2
1,16	22,6	0,024	0,07	0,5	1,96	9,8	0,483	0,32	10,5

s ():1	a_r (dB)	a_m (dB)	$ \Gamma_s $	P_r (%)	s ():1	a_r (dB)	a_m (dB)	$ \Gamma_s $	P_r (%)
1,17	22,1	0,027	0,08	0,6	1,98	9,7	0,497	0,33	10,8
1,18	21,7	0,030	0,08	0,7	2,00	9,5	0,512	0,33	11,1
1,19	21,2	0,033	0,09	0,8	2,50	7,4	0,881	0,43	18,4
1,20	20,8	0,036	0,09	0,8	3,00	6,0	1,249	0,50	25,0
1,21	20,4	0,039	0,10	0,9	3,50	5,1	1,603	0,56	30,9
1,22	20,1	0,043	0,10	1,0	4,00	4,4	1,938	0,60	36,0
1,23	19,7	0,046	0,10	1,1	4,50	3,9	2,255	0,64	40,5
1,24	19,4	0,050	0,11	1,1	5,00	3,5	2,553	0,67	44,4
1,25	19,1	0,054	0,11	1,2	5,50	3,2	2,834	0,69	47,9
1,26	18,8	0,058	0,12	1,3	6,00	2,9	3,100	0,71	51,0
1,27	18,5	0,062	0,12	1,4	6,50	2,7	3,351	0,73	53,8
1,28	18,2	0,066	0,12	1,5	7,00	2,5	3,590	0,75	56,2
1,29	17,9	0,070	0,13	1,6	7,50	2,3	3,817	0,76	58,5
1,30	17,7	0,075	0,13	1,7	8,00	2,2	4,033	0,78	60,5
1,32	17,2	0,083	0,14	1,9	8,50	2,1	4,240	0,79	62,3
1,34	16,8	0,093	0,15	2,1	9,00	1,9	4,437	0,80	64,0
1,36	16,3	0,102	0,15	2,3	9,50	1,8	4,626	0,81	65,5
1,38	15,9	0,112	0,16	2,5	10,00	1,7	4,807	0,82	66,9
1,40	15,8	0,122	0,17	2,8	11,00	1,6	5,149	0,83	69,4
1,42	15,2	0,133	0,17	3,0	12,00	1,5	5,466	0,85	71,6
1,44	14,9	0,144	0,18	3,3	13,00	1,3	5,762	0,86	73,5
1,46	14,6	0,155	0,19	3,5	14,00	1,2	6,040	0,87	75,1
1,48	14,3	0,166	0,19	3,7	15,00	1,2	6,301	0,88	76,6
1,50	14,0	0,177	0,20	4,0	16,00	1,1	6,547	0,88	77,9
1,52	13,7	0,189	0,21	4,3	17,00	1,0	6,780	0,89	79,0
1,54	13,4	0,201	0,21	4,5	18,00	1,0	7,002	0,89	80,1
1,56	13,2	0,213	0,22	4,8	19,00	0,9	7,212	0,90	81,0
1,58	13,0	0,225	0,22	5,1	20,00	0,9	7,413	0,90	81,9
1,60	12,7	0,238	0,23	5,3	25,00	0,7	8,299	0,92	85,2
1,62	12,5	0,250	0,24	5,6	30,00	0,6	9,035	0,94	87,5

s – factor de undă staționară, Γ_s – coeficient de reflexie, P_r – putere reflectată, a_r – pierderi de întoarcere, a_m – pierderi de neadaptare

Tabelul 4
Conversii intensitate a câmpului electric – densitate de putere

E (V/ m)	E (dB μ V/ m)	S (W/ m ²)	S (dBW/ m ²)	S (W/ cm ²)	S (dBW/ cm ²)	S (mW/ cm ²)	S (dBm/ cm ²)	S (dBm/ m ²)
7000	197	130.000	+51	13	+11	13.000	+41	+81
5000	194	66.300	+48	6,6	+8	6.630	+38	+78
3000	190	23.900	+44	2,4	+4	2.390	+34	+74
2000	186	10.600	+40	1,1	+0	1.060	+30	+70
1000	180	2650	+34	0,27	-6	265	+24	+64

ANEXA 2. TABELA DE CONVERSIE

E (V/ m)	E (dB μ V/ m)	S (W/ m ²)	S (dBW/ m ²)	S (W/ cm ²)	S (dBW/ cm ²)	S (mW/ cm ²)	S (dBm/ cm ²)	S (dBm/ m ²)
700	177	1300	+31	0,13	-9	130	+21	+61
500	174	663	+28	0,066	-12	66	+18	+58
300	170	239	+24	0,024	-16	24	+14	+54
200	166	106	+20	0,011	-20	11	+10	+50
100	160	27	+14	0,0027	-26	2,7	+4	+44
70	157	13	11	$1,3 \cdot 10^{-3}$	-29	1,3	+1	+41
50	154	6,6	8	$6,6 \cdot 10^{-4}$	-32	0,66	-2	+38
30	150	2,4	4	$2,4 \cdot 10^{-4}$	-36	0,24	-6	+34
20	146	1,1	0	$1,1 \cdot 10^{-4}$	-40	0,11	-10	+30
10	140	0,27	-6	$2,7 \cdot 10^{-5}$	-46	0,027	-16	+24
7	137	0,13	-9	$1,3 \cdot 10^{-5}$	-49	0,013	-19	+21
5	134	0,066	-12	$6,6 \cdot 10^{-6}$	-52	$66 \cdot 10^{-4}$	-22	+18
3	130	0,024	-16	$2,4 \cdot 10^{-6}$	-56	$24 \cdot 10^{-4}$	-26	+14
2	126	0,011	-20	$1,1 \cdot 10^{-6}$	-60	$11 \cdot 10^{-4}$	-30	+10
1	120	0,0027	-26	$2,7 \cdot 10^{-7}$	-66	$2,7 \cdot 10^{-4}$	-36	+4
0,7	117	$1,3 \cdot 10^{-3}$	-29	$1,3 \cdot 10^{-7}$	-69	$1,3 \cdot 10^{-4}$	-39	+1
0,5	114	$6,6 \cdot 10^{-4}$	-32	$6,6 \cdot 10^{-8}$	-72	$66 \cdot 10^{-4}$	-42	-2
0,3	110	$2,4 \cdot 10^{-4}$	-36	$2,4 \cdot 10^{-8}$	-76	$24 \cdot 10^{-4}$	-46	-6
0,2	106	$1,1 \cdot 10^{-4}$	-40	$1,1 \cdot 10^{-8}$	-80	$11 \cdot 10^{-4}$	-50	-10
0,1	100	$2,7 \cdot 10^{-5}$	-46	$2,7 \cdot 10^{-9}$	-86	$2,7 \cdot 10^{-6}$	-56	-16
$70 \cdot 10^{-3}$	97	$1,3 \cdot 10^{-5}$	-49	$1,3 \cdot 10^{-9}$	-89	$1,3 \cdot 10^{-6}$	-59	-19
$50 \cdot 10^{-3}$	94	$6,6 \cdot 10^{-6}$	-52	$6,6 \cdot 10^{-10}$	-92	$66 \cdot 10^{-8}$	-62	-22
$30 \cdot 10^{-3}$	90	$2,4 \cdot 10^{-6}$	-56	$2,4 \cdot 10^{-10}$	-96	$24 \cdot 10^{-8}$	-66	-26
$20 \cdot 10^{-3}$	86	$1,1 \cdot 10^{-6}$	-60	$1,1 \cdot 10^{-10}$	-100	$11 \cdot 10^{-8}$	-70	-30
$10 \cdot 10^{-3}$	80	$2,7 \cdot 10^{-7}$	-66	$2,7 \cdot 10^{-11}$	-106	$2,7 \cdot 10^{-8}$	-76	-36
$7 \cdot 10^{-3}$	77	$1,3 \cdot 10^{-7}$	-69	$1,3 \cdot 10^{-11}$	-109	$1,3 \cdot 10^{-8}$	-79	-39
$5 \cdot 10^{-3}$	74	$6,6 \cdot 10^{-8}$	-72	$6,6 \cdot 10^{-12}$	-112	$66 \cdot 10^{-10}$	-82	-42
$3 \cdot 10^{-3}$	70	$2,4 \cdot 10^{-8}$	-76	$2,4 \cdot 10^{-12}$	-116	$24 \cdot 10^{-10}$	-86	-46
$2 \cdot 10^{-3}$	66	$1,1 \cdot 10^{-8}$	-80	$1,1 \cdot 10^{-12}$	-120	$11 \cdot 10^{-10}$	-90	-50
$1 \cdot 10^{-3}$	60	$2,7 \cdot 10^{-9}$	-80	$2,7 \cdot 10^{-13}$	-126	$2,7 \cdot 10^{-10}$	-96	-56
$7 \cdot 10^{-4}$	57	$1,3 \cdot 10^{-9}$	-89	$1,3 \cdot 10^{-13}$	-129	$1,3 \cdot 10^{-10}$	-99	-59
$5 \cdot 10^{-4}$	54	$6,6 \cdot 10^{-10}$	-92	$6,6 \cdot 10^{-14}$	-132	$66 \cdot 10^{-12}$	-102	-62
$3 \cdot 10^{-4}$	50	$2,4 \cdot 10^{-10}$	-96	$2,4 \cdot 10^{-14}$	-136	$24 \cdot 10^{-12}$	-106	-66
$2 \cdot 10^{-4}$	46	$1,1 \cdot 10^{-10}$	-100	$1,1 \cdot 10^{-14}$	-140	$11 \cdot 10^{-12}$	-110	-70
$1 \cdot 10^{-4}$	40	$2,7 \cdot 10^{-11}$	-106	$2,7 \cdot 10^{-15}$	-146	$2,7 \cdot 10^{-12}$	-116	-76
$7 \cdot 10^{-5}$	37	$1,3 \cdot 10^{-11}$	-109	$1,3 \cdot 10^{-15}$	-149	$1,3 \cdot 10^{-12}$	-119	-79
$5 \cdot 10^{-5}$	34	$6,6 \cdot 10^{-12}$	-112	$6,6 \cdot 10^{-16}$	-152	$66 \cdot 10^{-14}$	-122	-82
$3 \cdot 10^{-5}$	30	$2,4 \cdot 10^{-12}$	-116	$2,4 \cdot 10^{-16}$	-156	$24 \cdot 10^{-14}$	-126	-86
$2 \cdot 10^{-5}$	26	$1,1 \cdot 10^{-12}$	-120	$1,1 \cdot 10^{-16}$	-160	$11 \cdot 10^{-14}$	-130	-90
$1 \cdot 10^{-5}$	20	$2,7 \cdot 10^{-13}$	-126	$2,7 \cdot 10^{-17}$	-166	$2,7 \cdot 10^{-14}$	-136	-96
$7 \cdot 10^{-6}$	17	$1,3 \cdot 10^{-13}$	-129	$1,3 \cdot 10^{-17}$	-169	$1,3 \cdot 10^{-14}$	-139	-99
$5 \cdot 10^{-6}$	14	$6,6 \cdot 10^{-14}$	-132	$6,6 \cdot 10^{-18}$	-172	$66 \cdot 10^{-16}$	-142	-102
$3 \cdot 10^{-6}$	10	$2,4 \cdot 10^{-14}$	-136	$2,4 \cdot 10^{-18}$	-176	$24 \cdot 10^{-16}$	-146	-106
$2 \cdot 10^{-6}$	6	$1,1 \cdot 10^{-14}$	-140	$1,1 \cdot 10^{-18}$	-180	$11 \cdot 10^{-16}$	-150	-110
$1 \cdot 10^{-6}$	0	$2,7 \cdot 10^{-15}$	-146	$2,7 \cdot 10^{-19}$	-186	$2,7 \cdot 10^{-16}$	-156	-116



Tipar digital realizat la Editura și Tipografia PIM
Șoseaua Ștefan cel Mare și Sfânt nr. 4, Iași – 700497
Tel.: 0730.086.676, 0732.430.407, 0733.004.203;
Fax: 0332.440.715
E-mail: editura@pimcopy.ro
www.pimcopy.ro