

Nicolae Crişan

**Antene și circuite pentru
microunde**

**Editura RISOPRINT
CLUJ-NAPOCA • 2008**

ISBN - 978 - 973 - 751 - 867 - 5

RECENZENȚI:

Prof. dr. ing. Costin MIRON

Prof. dr. ing. Aurel VLAICU

*În memoria regretatului dascăl și coleg,
Dan Roman*

Prefață

Într-o eră a telecomunicațiilor sistemele *wireless* reprezintă pentru ingineri o nouă provocare. Cele mai cunoscute dintre acestea sunt: sistemele de comunicații celulare, fixe sau mobile, sistemele de transmisii prin televiziune și satelit, sistemele de radiodifuziune și comandă la distanță, sisteme pentru aplicații de telemedicină. Drept urmare a aplicării acestor tehnologii moderne se schimbă structura unei lumi întregi; multe valori, precum educația, accesul la informație în scopul cunoașterii, dreptul la liberă exprimare, nu mai pot fi îngrădite ușor. În noul context creat, tot mai multe structuri administrative, educaționale sau politice se redefinesc pe ele însele. Informația circulă cu viteza luminii, într-un cadru în care distanțele dintre oameni devin relative, iar individul este împins la limita dintre real și virtual. La baza acestei lumi informaționale se află tehnologia, dar mai ales competențele profesionale și potențialul uman. Educația este cea care le determină pe toate trei, din nefericire, pe termen lung și cu sacrificii mari. Multe aspecte relevate în această lucrare erau până nu demult considerate tabu, într-o lume a războiului rece, dar astăzi, grație comunicațiilor moderne, accesul la informație creează continuu valori. Scopul acestei cărți este acela de a ajuta la formarea unei noi generații de ingineri, competente din punct de vedere profesional și pregătite pentru o lume diferită de cea de azi.

Lucrarea este structurată în șapte capitole. Primele două capitole tratează transmiterea semnalelor de radiofrecvență, pe linii de transmisie caracterizate de modul de propagare transversal electro-magnetic, *TEM* (Capitolul 1 – linii coaxiale) și *quasi-TEM* (Capitolul 2 – linii microstrip). Cele mai importante fenomene electrice care acționează în mod determinant asupra circuitelor de microunde pot fi înțelese și aprofundate în aceste prime două capitole. Capitolul trei prezintă modurile de proiectare și adaptare pe linii de transmisie sau între echipamentele *wireless*. Se insistă aici asupra rolului inginerului în

optimizarea performanțelor, nu doar în stabilirea de legături sau furnizarea de servicii. Capitolele patru și cinci abordează stratul fizic al unui sistem *wireless*, din perspectiva fenomenului electric. Astfel, sunt tratate teoriile moderne de proiectare a circuitelor active de microunde, ce au la bază parametri de dispersie S. Circuitele nelineare, utilizate în microunde, sunt studiate în capitolul șase, tratându-se cele mai profunde probleme ce apar pe interfețele radio, cât și modul de soluționare a acestora. Fenomenologia tratată în primele șase capitole își regăsește utilitatea în înțelegerea celui de-al șaptelea capitol. Acesta abordează o categorie mai specială de antene utilizate la frecvențe foarte înalte (în domeniul microundelor), și anume antenele microstrip.

Cartea se adresează în special studenților ce urmează cursurile de „*master*” sau post-universitare și totodată studenților de la profilul electric, specializările electronică aplicată și telecomunicații. Aceasta poate fi utilă însă tuturor celor care lucrează în domeniul comunicațiilor *wireless* (inclusiv al distribuției semnalelor RF), tocmai datorită numărului mare de exemple, multe dintre acestea implementate și verificate practic de autor. Detaliile concrete de proiectare a antenelor microstrip (utilizate la telefoanele mobile și în rețelele WLAN) se vor dovedi utile tuturor celor interesați de implementarea lor practică. Simularea acestor dispozitive pe platforme de tip CAD – EM (de proiectare numerică asistată de calculator, prin modelarea câmpului electro-magnetic) deschide orizonturi noi cititorului, orizonturi ce converg subtil spre cercetare aplicativă și exploratorie, fără a pierde însă legătura cu aspectele practice.

Vreau să mulțumesc tuturor celor care mi-au fost alături în elaborarea materialului, în primul rând soției și părinților mei.

Domnului profesor Tudor Palade îi mulțumesc pentru cadrul profesional creat timp de 12 ani. Apreciez și mulțumesc pentru observațiile constructive colegilor mei asistenți, Ligia Cremene și Emanuel Pușchiță. Mulțumesc, de asemenea, colegilor din Catedra de Comunicații a Facultății de Electronică, Telecomunicații și Teoria Informației din Cluj-Napoca, ale căror observații constructive, exprimate de-a lungul timpului, m-au ajutat la structurarea acestei cărți.

Autorul

Cuprins

<i>Prefață</i>	9
----------------------	---

CAPITOLUL 1. Linii de transmisie de înaltă

frecvență TEM – Linia coaxială	11
1.1. Analiza câmpurilor din linia coaxială	14
1.2. Relații între curent și tensiune	15
1.3. Impedanța caracteristică a liniei de transmisie TEM	17
1.4. Coeficientul de reflexie	18
1.5. Impedanța pe linie	20
1.6. Linii coaxiale cu pierderi mici	22
1.7. Optimizarea liniei de transmisie coaxiale pentru minimizarea pierderilor	25
1.8. Linii coaxiale fără pierderi	29
1.9. Unde staționare în linii TEM.....	35
1.10. Raportul de undă staționară de tensiune (<i>VSWR</i> -ul)	38
1.11. Determinarea impedanței de sarcină	39
1.12. Pierderi de întoarcere (<i>return loss</i>)	41
1.13. Frecvența de tăiere a liniei coaxiale	44
1.14. Pierderile de inserție (<i>insertion loss</i>).....	47
1.15. Pierderi în conductorul metalic și dielectric.....	50

CAPITOLUL 2. Linii de transmisie de înaltă

frecvență <i>quasi</i> – TEM	59
2.1. Linia microstrip	59
2.1.1. Ecuații utilizate la calcularea impedanței caracteristice ..	62
2.1.2. Determinarea permitivității electrice efective a liniei microstrip	65
2.1.3. Pierderi de energie în microstrip	66
2.1.4. Corecții pentru microstrip.....	69
2.1.5. Dispersia în microstrip	71
2.1.6. Discontinuități în linii microstrip	75
2.1.7. Componente electronice în tehnologie microstrip.....	78
2.1.8. Componente electronice integrate în tehnologie microstrip cu parametri <i>quasi</i> (semi) concentrați.....	81
2.1.9. Rezonatori în tehnologie microstrip	85

CAPITOLUL 3. Tehnici de adaptare a impedanțelor 93

3.1. Diagrama <i>Smith</i> (<i>Smith chart</i>).....	94
3.2. Metoda de adaptare cu tronsoane de linii.....	109
3.3. Metoda de adaptare cu două tronsoane de linie (<i>double Stub matching</i>).....	122
3.4. Metoda grafică cu parametri concentrați.....	130
3.5. Metoda liniilor în sfert de undă	136

CAPITOLUL 4. Circuite lineare pentru microunde..... 139

4.1. Parametri de dispersie (parametrii <i>S</i>).....	139
4.2. Efectul liniei de transmisie asupra parametrilor de dispersie..	146
4.3. Proiectarea amplificatoarelor de microunde cu tranzistoare... 151	
4.3.1. Determinarea câștigului de putere a cuadripolului activ... 152	
4.3.2. Adaptarea amplificatoarelor de microunde	155
4.3.3. Analiza stabilității unui amplificator	165
4.3.4. Modelul tranzistorului unilateral	167

CAPITOLUL 5. Circuite complexe pentru microunde... 183

5.1. Analiza la zgomot	183
5.2. Tehnici de proiectare a amplificatoarelor de microunde utilizând tehnologii microstrip.....	193
5.2.1. Transformări de impedanță cu tronsoane singulare de linie microstrip	194
5.2.2. Transformări de impedanță cu tronson legat direct la impedanța de sarcină	197

CAPITOLUL 6. Circuite nelineare de RF..... 205

6.1. Proiectarea oscilatoarelor de microunde	206
6.1.1. Determinarea zonei de instabilitate a oscilatorului de microunde	207
6.2. Mixere neechilibrate.....	216
6.3. Mixere echilibrate	220
6.4. Mixere echilibrate ce suprimă la ieșire frecvența oscilatorului local	222
6.5. Mixere dublu echilibrate	223
6.6. Pierderile de conversie	225
6.7. Distorsiuni de intermodulație.....	227
6.8. Mixere active cu tranzistoare FET	230
6.9. Analiza linearității unui amplificator	233

CAPITOLUL 7. Antene pentru microunde	239
7.1. Criterii de clasificare a antenelor	239
7.2. Antena izotropă (punctiformă)	240
7.3. Zonele de câmp ale antenei	244
7.4. Parametri ai antenelor	247
7.4.1. Impedanța de intrare	247
7.4.2. Banda de frecvență	248
7.4.3. Caracteristica de radiație	250
7.4.4. Unghiul de deschidere (de radiație).....	255
7.4.5. Rezistența de radiație	256
7.4.6. Polarizarea	259
7.4.7. Aria efectivă și câștigul	261
7.5. Antena microstrip de tip „ <i>patch</i> ”	264
7.5.1. Dimensionarea antenei	265
7.5.2. Impedanța de intrare a antenei „ <i>patch</i> ”	269
7.5.3. Caracteristica de radiație a antenei „ <i>patch</i> ”.....	273
7.5.4. Eficiența antenei „ <i>patch</i> ” și unghiul de deschidere	276
7.5.5. Antena „ <i>half patch</i> ”	279
7.5.6. Antene „ <i>patch</i> ” cu polarizare circulară	282
7.5.7. Rețele pentru alimentarea antenelor microstrip.....	283
7.5.8. Rețele de alimentare (<i>Franklin array</i>).....	285
7.5.9. Antene microstrip cuplate prin fante (<i>slot coupled antennas</i>)	286
7.5.10. Antene microstrip de tip „ <i>pixel-patch</i> ”	290
 Bibliografie.....	 298

Bibliografie selectivă

În ordinea apariției:

[Stu81] W. L. Stutzman, G. A. Thiele, *Antenna Theory and Design*, John Willey & Sons Inc., 305 pagini, 1981

[Con82] I. Constantin, M. Ivanovici, I. Diaconescu, C. Șerbu, *Aplicații și Probleme de Radio și Televiziune*, Editura Didactică și Pedagogică, București, B.T. 16.02.1982, 364 pagini, 1982

[Spi83] E. Spindler, *Antene*, Editura Tehnică București, Seria Electronică Aplicată, CZ 621.389.67, 284 pagini, 1983

[Nic83] A. Nicolaide, *Bazele Fizice ale Electrotehnicii – Teoria Generală a Câmpului Electromagnetic*, Editura Scrisul Românesc, Craiova, 1983, BDT 9. V., 617 pagini, 1983

[Col85] R. E. Collin, *Antenna and Radiowave Propagation*, McGraw-Hill Inc. International Student Edition, Series in Electrical Engineering, ISBN 0-07-011808-6, 263 pagini, 1985

[Dun88] J. Dunlop, D. G. Smith, *Telecommunications Engineering*, Clays Ltd, Chapman & Hall University and Professional Division, ISBN 0-412-56270-7, 599 pagini, 1988

[Lor88] P. Lorrain, D. R. Corson, *Electromagnetic Fields and Waves Including Electric Circuits*, W. H. Freeman and Company New York, ISBN 0-716-71823-5, 383 pagini, 1988

[Nic89] E. Nicolau (editor), M. Săvescu, I. Constantin, A. T. Murgan, V. Poplăcean, G. Dogaru, *Manualul Inginerului Electronist - Radiotehnica*, vol. III, Editura Tehnică București, ISBN 973-31-0116-8, 374 pagini, 1989

[Chi93] M. Chivu, F. Breban, *Recepția Emisiunilor de Televiziune și Radio prin Satelit*, Editura de Vest Timișoara, 195 pagini, 1992

[Joh93] R. C. Johnson, *Antenna Engineering Handbook*, McGraw-Hill Inc., ISSN 1063-665X, 1511 pagini, 1993

-
- [Moț94] C. Moțoc, *Fizica*, Editura All, București, ISBN 973-9156-32-0, 445 pagini, 1994
- [Loj95] G. Lojewski, *Microunde Dispozitive și Circuite*, Teora – Electronică Profesională, ISBN 973-601-198-4, 236 pagini, 1995
- [Bai96] R. Baican, *Circuite Integrate de Microunde*, Promedia Plus, Cluj-Napoca, ISBN 973-97377-6-5, 590 pagini, 1996
- [Bal97] C. Balanis, *Antenna Theory*, John Willey & Sons Inc., ISBN 0-471-59268-4, 959 pagini, 1997
- [Ceh97] V. Cehan, *Bazele Radioemițătoarelor*, Matrix Rom, București, ISBN 973-9254-39-X, 299 pagini, 1997
- [Pal97] T. P. Palade, *Tehnica Microundelor*, Editura Genesis, Cluj-Napoca, ISBN 973-98204-3-3, 265 pagini, 1997
- [Poz98] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, John Willey & Sons, Inc., ISBN 0-471-17096-8, 736 pagini, 1998
- [Bot98] I. C. Botez, *Teoria și Proiectarea Circuitelor de Microunde*, Matrix Rom, București, ISBN 973-9254-87-X, 377 pagini, 1998
- [Pal99] T. Palade, N. Crișan, H. Ciocârlie, I. Chisăliță, O. Popovici, *Radiocomunicații – Îndrumător de Laborator*, Mediamira Cluj-Napoca, ISBN 973-97791-2-3, 74 pagini, 1999
- [Cri99] T. Palade, N. Crișan, I. Chisăliță, O. Popovici, *Radiocomunicații – Culegere de Probleme*, Editura Mediamira, Cluj-Napoca, ISBN 973-97790-9-3, 158 pagini, 1999
- [Loj99] G. Lojewski, *Microunde – Dispozitive și Circuite Ed a II-a*, Teora, ISBN 973-601-660-9, 227 pagini, 1999
- [Cha00] K. Chang, *RF and Microwave Wireless Systems*, John Wiley & Sons Inc. , ISBN 0-741-22432-4, 355 pagini, 2000
- [Sul00] D. M. Sullivan, *Electromagnetic Simulation Using The FDTD Method*, IEEE Press Series on RF and Microwave Technology, ISBN 0-7803-4747-1, 176 pagini, 2000
- [Roh00] U. L. Rohde, D. P. Newkirk, *RF/Microwave Circuit Design for Wireless Applications*, John Willey & Sons Inc., ISBNs: 0-471-29818-2 (Hardback), 0-471-22413-8 (Electronic), 972 pagini, 2000

- [**Ște00**] A. Ștefan, C. Strâmbu, *Simularea Asistată a Circuitelor de Microunde*, Editura Albastră, Cluj-Napoca, 220 pagini, 2000
- [**Bog00**] I. Bogdan, C. Miroiu, E. Șofron, *Comunicații Moderne – Antene*, Sel Soft Computer, ISBN 973-0-00218-5, 256 pagini, 2000
- [**Gar01**] R. Garg, P. Bhartia, I. Bahl, A. Ittipiboon, *Microstrip Antenna Design Handbook*, Artech House, ISBN 0-89006-513-6, 435 pagini, 2001
- [**Pal01**] T. P. Palade, *Radiocomunicații Celulare*, Editura Mediamira, Cluj-Napoca, ISBN 973-9358-35-7, 251 pagini, 2001
- [**Mis01**] D. K. Mistry, *Radio-Frequency and Microwave Communication Circuit*, John Willey & Sons Inc., ISBN 0-471-22435-9, 588 pagini, 2001
- [**Col01**] R. E. Collin, *Foundations for Microwave Engineering*, IEEE Press Series on Electromagnetic Wave Theory, John Willey & Sons Inc., ISBN 0-7803-6031-1, 945 pagini, 2001
- [**Gol01**] M. Golio, *The RF and Microwave Handbook*, Boca Raton: CRC Prec LLC, Library of Congress Cataloging in Publication Data, ISBN 0-8493-8592-X, 1356 pagini, 2001
- [**Rau01**] C. Rauscher, *Fundamentals of Spectrum Analysis*, Rohde & Schwartz GmbH & Co. KG, 222 pagini, 2001
- [**Car01**] J. J. Carr (K4IPV), *Antenna Toolkit*, Butterworth-Heinemann Linacre House, Jordan Hill, Oxford, ISBN 0-7506-4947-X, 264 pagini, 2001
- [**Won02**] K. L. Wong, *Compact and Broadband Microstrip Antennas*, John Wiley & Sons, Inc., ISBN 0-471-41717-3, 301 pagini, 2002
- [**Swa03**] D. G. Swanson, W. J. R. Hofer, *Microwave Circuit Modeling Using Electromagnetic Field Simulation*, Artech House Boston – London, ISBN 1-58053-308-6, 488 pagini, 2003
- [**Suá03**] A. Suárez, R. Quéré, *Stability Analysis of Nonlinear Microwave Circuits*, Artec House Boston – London, ISBN 1-58053-303-5, 354 pagini, 2003
- [**Whi04**] J. F. White, *High Frequency Techniques – An Introduction to RF and Microwave Engineering*, IEEE Press, John Willey & Sons Inc. , ISBN 0-471-45591-1, 531 pagini, 2004

- [God04] L. C. Godara, *Smart Antennas*, CRC Press Boca Raton – London, ISBN 0-8493-1206-X, 458 pagini, 2004
- [Vis05] H. J. Visser, *Array and Phased Array Antenna Basis*, John Willey & Sons Ltd. , ISBN 13 978-0-470-87117-1, 378 pagini, 2005
- [Mil05] T. A. Milligan, *Modern Antenna Design*, John Willey & Sons Inc., ISBN 13 978-0-471-45776-3, 633 pagini, 2005
- [Fre05] R. L. Freeman, *Fundamentals of Telecommunications*, IEEE Press Wiley-Interscience John Willey & Sons Inc., 705 pagini, 2005
- [Loj05] G. Lojevski, *Dispozitive și Circuite de Microunde*, Editura Tehnică, ISBN 973-31-2263-7, 450 pagini, 2005
- [Cri07] N. Crișan, Ligia Cremene, “*Analysis of High Power MEMS Varactors for RF and Microwaves Integrated Circuits*”, Acta Technica Napocensis, Vol. 49, No. 4 ,ISSN: 1221-6542, pp. 27-31, 2007
- [Chi07] L. Chira Cremene, N. Crișan, *The Adaptive Potential of the Reconfigurable MEMS in MIMO Antenna Technology*, CISSE 2007, IEEE Conference, International Joint Conferences on Computer, Information and System Sciences, and Engineering, University of Bridgeport, USA, 2007
- [Cri08] N. Crișan, Ligia Chira Cremene, "*The Impact of Novel RF MEMS and SDCs on Smart Antenna Technologies*", The Fourth International Conference on Wireless and Mobile Communications - ICWMC 2008, ISBN 979-0-7695-3274-5, Library of Congress Number 2008926138, July 27-August 1, 2008, Athens, Greece