

(美) MIKE GOLIO 主编

# 射频与微波手册

## THE RF AND MICROWAVE HANDBOOK

孙龙祥 赵玉洁 张坚 陶建义 等译  
张光义 杨建华 等审校



国防工业出版社

National Defense Industry Press

TN015-62

I

# 射频与微波手册

(美) MIKE GOLIO 主编

孙龙祥 赵玉洁 张 坚 陶建义 等译  
冯忠华 毋梅莲 周 琪 费华莲  
张光义 杨建华 等审校

国防工业出版社

·北京·

著作权合同登记 图字：军-2005-039号

## 内 容 简 介

本手册共分9章,除第1章外,每章都包含若干篇与主题相关的文章。手册对射频和微波通信、导航、雷达、电子战及微波医学等应用作了综合介绍,在此基础上,对射频/微波工程技术从系统、电路到元器件,从电气、工艺到测量,从硬件、软件到电磁学基础,进行了全面的详尽阐述,特别是手册涵盖了射频/微波工程的最新发展成果和技术,给出了数百篇参考文献,是现代微波和射频工程师不可多得的一本综合参考书。

读者对象:电子信息领域的工程技术人员以及高等院校电子信息专业的师生。

### 图书在版编目(CIP)数据

射频与微波手册/(美)高力尔(Golio, M.)主编;孙龙祥等译. —北京:国防工业出版社, 2006. 7  
书名原文: The Rf And Microwave Handbook  
ISBN 7-118-04417-2

I. 射... II. ①高...②孙... III. ①射频-技术-手册②微波技术-手册 IV. TN015-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第023674号

(根据版权贸易合同著录原书版权声明等项目)

Simplified Chinese translation copyright © 2006 by National Defence Industry Press (THE RF AND MICROWAVE HANDBOOK, by MIKE GOLIO, Copyright © 2001, by CRC Press, LLC. Authorized translation from English language edition published by CRC Press, part of Taylor & Francis Group LLC.)

本书中文简体翻译版权由Taylor & Francis集团CRC出版社授予国防工业出版社独家出版发行。未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号 邮政编码100044)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

\*

开本 787 × 1092 1/16 印张 69½ 字数 1750 千字

2006年7月第1版第1次印刷 印数 1—4000册 定价 166.00元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

## 译 者 序

本手册由美国、加拿大、澳大利亚、法国、瑞典等国近百名微波和射频领域各个专业的专家共同完成。手册对射频和微波通信、导航、雷达、电子战及微波医学等各个军事及民事应用方面作了综合介绍,在此基础上,对射频/微波工程技术从系统、电路到元器件,从电气、工艺到测量,从硬件、软件到电磁学基础,进行了全面的详尽阐述,特别是手册涵盖了射频/微波工程的最新发展成果和技术,给出了数百篇参考文献,是现代微波和射频工程师不可多得的一本综合参考书。

本手册由中国电子科技集团公司第五十一研究所和第十四研究所共同组织翻译和审校。两所的所领导对本手册的翻译、出版给予了大力支持,两所的相关部门在手册的翻译、审校、编辑、打印等工作中做了大量的工作,特在此表示诚挚的感谢。

本手册第1章由孙龙祥翻译,第2章由周琪、汪洋翻译,第3章由张坚、周琪翻译,第4章由陈思兴、马丹、倪文俊翻译,第5章由费华莲、沈志明、卫青翻译,第6章由陶建义、蒋凡杰、黄柳桃翻译,第7章由冯忠华、赵振良翻译,第8章由毋梅莲、张坚、赵玉洁翻译,第9章由赵玉洁、毋梅莲翻译,附录部分由殷连生翻译,并由张光义、杨建华、赵玉洁、冯忠华、毋梅莲、陶建义、袁刚、陈思兴、殷连生、沈志明、董树人、赵振良、周冠杰、蒋凡杰、薛念萱、费华莲、吴长福、黄柳桃、董士嘉、郭崇贤、陈怀春、严伟、束咸荣、贾中璐、李网生等进行了审校。

由于手册中参考文献频繁出现,故目录中将此标题略去。

鉴于手册内容广泛、新颖,原作者队伍庞大,写作方式各异,以及我们水平有限,虽然进行了反复的校审,但仍难免有不当甚或错误之处,欢迎读者予以批评指正。

## 序

近年来,随着曾经一度统领产业界的国防和政府研制计划被商业无线应用所超越,微波工程领域发生了重大变化。商业无线市场的迅速崛起不仅打破了国防/民用工程的均势,同时也使一线的微波和射频(RF)工程师的工作前景和重心出现了明显转移。工程重点已由以前的最优性能设计变为加工设计,从单种单件生产变为大批量生产,从不计成本只求性能变为以最低成本保证合理性能,从尽可能最宽频带设计变为常规的窄带设计等,甚至连从事传统高性能、小批量微波市场工作的工程师和研究人员也意识到了他们工作重点的转变,都在努力通过现有商用(COTS)部件的重新采用来降低成本。虽然微波和射频工程的物理、数学原理是一样的,但是典型的微波工程师的任务已有了惊人的变化。现代微波和射频工程师必须通晓客户需求、市场趋势、加工工艺及工厂模式等方面的知识,要求达到射频/微波工程发展史上前所未有的熟悉程度。遗憾的是,40多年来微波产业仅仅与国防/政府部门紧密联系,给我们留下了一批局限于高性能、小批量应用方面的微波文献,而对于今天的许多重要领域缺少参考价值。随着人们在更大范围越来越关注微波技术,本手册应运而生,其内容取舍合理、前所未有的。

编著《射频与微波手册》的目的是为现代微波和射频工程师提供一本单卷性的综合参考书。手册中的文章为工业、政府和学术部门的应用工程师提供了重要信息;手册也可帮助电气工程师获取他们专业领域外的知识,或给经理、市场人员及技术支持人员做决策时提供必要的专业指导。

本手册共分9章,除第1章外,每章都包含若干篇与主题相关的文章。第1章则是一篇引言,给出了重要的定义和频谱信息。最后还包括两篇附录,为微波应用工程师提供一些实用信息。手册中有些章节的部分内容有意重复给出,使读者避免在钻研某个专题时反复查阅其他章节内容。手册的前面列出了完整的目录表以帮助读者尽可能方便、快捷地找到需要的信息。最后,本手册中所有的文章后面都为读者附加了相关专业的参考文献。

## 鸣 谢

编撰这样一本手册竟会有如此大的工作量,实在远出乎我的意料。如若没有责任编辑 Janet Golio 的努力,这本手册简直不可能出版。她的专注、坚毅以及软件专长和组织能力是这本书得以成功的关键。我们可以从一些数字了解其辛勤工作之一斑:Golio 处理的 E-mail 邮件接近 10000 份,组织了百余次电话讨论,跟踪了近 80 篇文稿,从最初接触到组稿、收稿、审阅,直至最后的修改和定稿。实际上,她对本书的贡献远远不止这些,她为本书付出了无数个漫漫长夜,我对她的感激之情难以言表。

我也要深切感谢这本手册的编辑委员会。他们的贡献贯穿于这本手册编写出版的整个过程,包括题材组织与编排提要、作者征募和挑选、文稿编辑和评审等。编委会的工作对这本手册而言至关重要,我要诚挚地感谢他们的帮助。

我还必须提及 CRC 出版公司的手册专家——《CRC 电子工程手册》丛书的编者 Richard Dorf,以及书籍出版公司总裁 Ron Powers,感谢他们促成了本书出版计划的启动。我尤其要感谢采集编辑 Nora Konopka,在论文撰稿期间他工作充满热情、深入细致、不辞辛苦,分担了许多本应由我负的责任。最后,制作经理 Helena Redshaw 负责原稿、碟片和 CD 的齐套工作,找出、补上其中的漏失之处并将它们出版成书。我也要感谢 CRC 的全体员工,虽然我们无缘一起共事,但他们对于本书的出版都付出了辛勤劳动。

## 主 编

**Mike Golio** 1976年获伊利诺斯大学电气工程学士学位。从事了两年电子对抗微波振荡器和放大器方面的设计工作,之后,他重入校门,分别在1980年和1983年获得北卡罗来纳州大学电气工程硕士和博士学位。研究生毕业后,他先担任电气工程助理教授,后来转向工业界。起初5年,他从事开发微波卫星应用的MMIC电路、设备和技术,然后参与建造GaAs加工设备。这些设备用以加工民用无线市场的器件和电路,包括蜂窝电话、寻呼机和无线LAN业务等。期间,他从技术人员成为小组主管。目前他是Rockwell Collins公司RF/电源设计中心的主任,负责RF和电源新型转换技术的探索、寻求、开发与实现。该中心提供RF、微波和毫米波范围的专用设计技术,包括民用和军事航空电子应用的接收机、发射机、天线、频率控制电路以及电源等。

Golio博士的研究工作取得了15份专利,发表了200篇以上的学术报告和论文。他的技术著作包括撰写了4个篇章、一册书籍和一个软件包。他被选为1998年—2000年的IEEE MTT-S杰出微波讲师。目前他担任IEEE Microwave Magazine的共同编辑,负责一个固定栏目。作为MTT-S管理委员会成员,他组织了数次专题讨论会和小型座谈会。此外,他还担任过几次学术年会的技术规划委员会委员。1996年他被选为IEEE会士。

## 责 编

**Janet R. Golio** 1984年获北卡罗来纳州大学电气工程优秀学士学位。此前她曾在IBM工作。1984年—1996年间她在亚利桑那州的Motorola公司工作。1996年以来,她加入了Rockwell Collins公司。她获得一个专利,写过4篇技术论文。工作之余,她爱好考古学、幻术绳技和西部乡村舞蹈。她还写过一本关于青年人的书:《往日的馈赠和困惑》。

## 咨询委员会

**Peter A. Blakey** 于 1972 年获得牛津大学物理学学士学位,1976 年获伦敦大学电气工程学院博士学位,1989 年获密执安大学 MBA 学位。1972 年—1983 年间,他从事微波半导体与电路的理论和模拟工作,重点研究非本地迁移现象的影响问题。1983 年—1995 年间,他负责硅 VLSI 应用方面的工艺 CAD 软件的开发、应用和商品化工作。自 1995 年以来,他一直担任 Motorola 公司 GaAs 工艺部的前期工程经理。

**Lawrence P. Dunleavy** 1982 年获密执安技术大学电气工程学士学位,1984 年和 1988 年分别获密执安大学电气工程硕士和博士学位,进入工业界后,他曾为 E - Systems 公司和 Hughes 航空公司工作,担任过 Haward Hughes 公司的博士研究生。1990 年他加入南佛罗里达大学电气工程系,担任副教授。从 1997 年 8 月至 1998 年 8 月,他享受了一年休假,受聘于博尔特的国家标准技术学院(NIST)微波计量组,从事研究工作。他目前的研究兴趣包括微波和毫米波精密测量、基于测量的有源和无源元件建模、MMIC 设计,无线系统特征和 CAD 等。Dunleavy 博士是 IEEE 高级会员,十分热衷于 IEEE MTT 学会工作。

Dunleavy 博士是 ARFTG 的当地主持人和技术主席、MTT/ARFTG 联络人,以及各种学术会议的大会主席。在 ARFTG 他是 1995 年—1998 年间的短期课程协理、1998 年至今的理事、1997 年至今的教育委员会主席和 1998 年至今的执行委员会委员。

**Jack East** 获密执安大学的工程学士、硕士和博士学位。目前,他在密执安大学固体电子实验室工作,从事高速微波器件设计加工、固体微波器件与非线性器件的实验表征研究,以及用于通信电路、低能电子系统与太(兆兆)赫技术方面的电路建模等。

**Patrick J. Fay** 是 Notre Dame 大学电气工程系的助理教授。他于 1991 年获得 Notre Dame 大学电气工程的学士学位,1993 年和 1996 年获伊利诺斯大学的硕士和博士学位。从 1992 年—1994 年,他是国家科学基金会的学生研究员。毕业后,1996 年—1997 年,Fay 博士是伊利诺斯大学电气和计算机工程系的客座助理教授。

1997 年 Fay 博士加入 Notre Dame 大学担任助理教授。其教学活动包括开设了一门微波电路设计和特性表征方面的本科生高级实验课程,以及一些光电器件和电子器件特性表征方面的研究生课程。他的研究兴趣包括超高速模拟和数字信号处理,无线通信以及光纤通信等应用的微波和高速光电器件与电路的设计、加工和特性表征。其研究领域还包括用于制造有源和无源微波元件的微机电加工技术。

Fay 博士是 IEEE MTT 学会、固体电路学会和电子器件学会的会员,曾获 1998 年—1999 年度电气工程 IEEE 杰出教师奖。他还是国家科学基金会电气和通信系统部的顾问。

**David Halchin** 1987 年获得北卡罗来纳州大学电气工程博士学位。1987 年—1989 年他是



Santa Clara 大学 ECE 系的助理教授。其主要的教学和研究兴趣是器件建模和微波设计。1989 年—1996 年,他加入 Motorola 公司研究和 SPS 部工作。在该公司他参与了许多项目,包括 MESFET 和 PHEMT 的微波和毫米波特性和建模、负载牵引测量、器件(MESFET 和 PHEMT)的工程实现和工艺开发等。从 1996 年—1997 年,他加入 Rockwell 国际公司,担任研究组长,负责用于无线 PA 的一种线性 MESFET 和 PHEMT 的产品开发和实现。1997 年他重新加入 Motorola,继续在 PHEMT/MESFET 器件开发组工作了 1 年。1998 年他加入 RF Micro 器件公司,作为 WCDMA 应用方面的 PA 设计师和组长。他是 GaAs IC 会议技术计划委员会的委员,电子器件汇刊的评阅专家、MTT 编辑委员会委员和 IEEE 会员。他拥有 3 个已发布的美国专利,还有几个在评审中。

**Roger B. Marks** 于 1980 年获普林斯顿大学物理学学士学位,1988 年获耶鲁大学应用物理学博士学位。在荷兰的 Delft 技术大学修完博士后学位之后,他开始了美国商业部国家标准和工业学院(NIST)的教授生涯。

1998 年,Marks 博士开始着手 IEEE 802 LAN/MAN 标准委员会的一项固定宽带无线接入标准化的研究工作。结果于 2000 年 3 月成立了关于宽带无线接入的 IEEE 802.16 工作组。以 Marks 博士为主席,802.16 已扩大成拥有三项计划以及来自 100 多家公司的数百名成员。

作为 IEEE 的会员和超过 70 篇杂志和会议论文的作者,Marks 博士获得了许多奖项,包括 IEEE 技术领域奖(1995 年 Morris E. Leeds 奖)。他参与了大量的学术活动。在 IEEE MTT 学会中他是管理委员会的杰出微波讲师。他组织了 IEEE 射频和无线电大会(RAWCON),并担任 1996 年—1999 年的主席。他还曾任 1997 年 IEEE MTT-S 国际微波会议的副主席。

Marks 和他的妻子 Robbie Bravman Marks 及两个孩子 Dan 和 Amy 一起住在丹佛,我们可以在 RAWCON 的主题曲和 Los Lantzman 唱片中听到他的击鼓声。

**Alfy Riddle** 在 Macallan 咨询公司工作,该公司专门从事解决 RF 和微波电路设计的疑难问题和出售建立在数学基础上的设计软件。他还在 Santa Clara 大学担任一门电子噪声方面的课程。他于 1986 年获得北卡罗来纳州大学博士学位,论文题目是关于振荡器噪声问题。在电子工业界工作几年后,1989 年他开始加入 Macallan 咨询公司。业余时间,Riddle 博士会出现在网球场,去丛林中徒步旅行,用老式莱卡 M3 相机摄影或者制作和吹奏爱尔兰风笛。

**Robert J. Trew** 是国防部(DoD)的研究主任。他负责三军和防务部门每年 12 亿美元基础研究计划的执行监督。Trew 博士具有丰富的工业、学术和政府部门的经历。他于 1975 年获得密执安大学电气工程博士学位。其工业界经历包括在密执安的通用摩托公司和在加利福尼亚的 Watkins-Johnson 公司的工作。除了目前的 DoD 工作外,他还曾在陆军研究办公室担任计划经理 5 年。1976 年—1993 年间,Trew 博士是北卡罗来纳州大学电气和计算机工程系的教授。从 1993 年—1997 年,他是 Case Western Reserve 大学电气和应用物理系的 George S. Dively 工程教授和主任。1985 年,他是德国 Duisburg 大学的客座教授。Trew 博士是 IEEE 的会员,在 MTT 学会 ADCOM 工作。目前他是出版委员会主席。他曾担任 1995 年—1997 年的 IEEE MTT 汇刊主编,现为 IEEE Microwave Magazine 的共同编辑。Trew 博士曾获 1998 IEEE MTT 学会杰出教育工作者奖、1992 Alcoa 基金会杰出工程研究奖和 1991 NCSU 的杰出学者成就奖。他还获得 IEEE 第三千年勋章,现在是 IEEE 的杰出微波讲师。Trew 博士拥有 3 个专利,发表了 140 篇以上技术论文、书籍的 13 个篇章和超过 250 篇的科技报告。

## 撰 稿 人

### **David Anderson**

Maury Microwave Corporation  
Ontario, Canada

### **Carl Andren**

Intersil  
Palm Bay, Florida

### **Saf Asghar**

Advanced Micro Devices, Inc.  
Austin, Texas

### **Avram Bar-Cohen**

University of Minnesota  
Minneapolis, Minnesota

### **James L. Bartlett**

Rockwell Collins  
Cedar Rapids, Iowa

### **Melvin L. Belcher, Jr.**

Georgia Tech  
Smyrna, Georgia

### **Peter A. Blakey**

Motorola  
Tempe, Arizona

### **Mark Bloom**

Motorola  
Tempe, Arizona

### **Nicholas E. Buris**

Motorola  
Schaumburg, Illinois

### **Prashant Chavarkar**

CREE Lighting Company  
Goleta, California

### **John C. Cowles**

Analog Devices-Northwest  
Laboratories  
Beaverton, Oregon

### **Christopher Jones**

M/A-COM TycoElectronics  
Lowell, Massachusetts

### **J. Stevenson Kenney**

Georgia Institute of Technology  
Atlanta, Georgia

### **Ron Kilmeyer**

Motorola  
Scottsdale, Arizona

### **Allan D. Kraus**

Allan D. Kraus Associates  
Beachwood, Ohio

### **Walter R. Curtice**

W.R. Curtice Consulting  
Princeton Junction, New Jersey

### **W.R. Deal**

Malibu Networks, Inc.  
Calabasas, California

### **Lawrence P. Dunleavy**

University of South Florida  
Tampa, Florida

### **Jack East**

University of Michigan  
Ann Arbor, Michigan

### **Stuart D. Edwards**

Conway Stuart Medical Inc.  
Sunnyvale, California

### **K.F. Etzold**

IBM Thomas J. Watson Research  
Center

Yorktown Heights, New York

### **Leland M. Farrer**

Cadence Design Systems, Inc.  
Sunnyvale, California

### **John Fakatselis**

Intersil  
Palm Bay, Florida

### **Patrick Fay**

University of Notre Dame  
Notre Dame, Indiana

### **S. Jerry Fiedziuszko**

Space Systems/LORAL  
Palo Alto, California

### **Paul G. Flikkema**

Northern Arizona University  
Flagstaff, Arizona

### **Donald C. Malocha**

University of Central Florida  
Orlando, Florida

### **Tajinder Manku**

University of Waterloo  
Waterloo, Ontario, Canada

### **Brent A. McDonald**

Dell Computer Corp.  
Austin, Texas

### **Umesh K. Mishra**

University of California  
Santa Barbara, California

### **Karl J. Geisler**

University of Minnesota  
Minneapolis, Minnesota

### **Ian C. Gifford**

M/A-COM, Inc.  
Lowell, Massachusetts

### **Mike Golio**

Rockwell Collins  
Cedar Rapids, Iowa

### **Madhu S. Gupta**

San Diego State University  
San Diego, California

### **Ramesh K. Gupta**

COMSTAT Laboratories  
Clarksburg, Maryland

### **R.E. Ham**

Consulting Engineer  
Austin, Texas

### **Mike Harris**

Georgia Tech Research Institute  
Atlanta, Georgia

### **Robert D. Hayes**

RDH Incorporated  
Marietta, Georgia

### **T. Itoh**

University of California  
Los Angeles, California

### **Daniel E. Jenkins**

Dell Computer Corp.  
Austin, Texas

### **Nils V. Jespersen**

Lockheed Martin Space Electronics  
and Communications

Reston, Virginia

### **Michael Pecht**

University of Maryland  
College Park, Maryland

### **Benjamin B. Peterson**

U.S. Coast Guard Academy  
New London, Connecticut

### **Ronald C. Petersen**

Lucent Technologies Inc./Bell Labs  
Murray Hill, New Jersey

### **Brian Petry**

3Com Corporation  
San Diego, California

**Andy D. Kucar**  
4U Communications Research, Inc.  
Ottawa, Ontario, Canada

**Jakub Kucera**  
Infineon Technologies  
Munich, Germany

**Jean-Pierre Lanteri**  
M/A-COM TycoElectronics  
Lowell, Massachusetts

**Michael Lightner**  
University of Colorado  
Boulder, Colorado

**William Liu**  
Texas Instruments  
Dallas, Texas

**Urs Lott**  
Acter AG  
Zurich, Switzerland

**Leonard MacEachern**  
Carleton University  
Ottawa, Ontario, Canada

**John R. Mahon**  
M/A-COM TycoElectronics  
Lowell, Massachusetts

**Michael E. Majerus**  
Motorola  
Tempe, Arizona

**Jonathan B. Scott**  
Agilent Technologies  
Santa Rosa, California

**Warren L. Seely**  
Motorola  
Scottsdale, Arizona

**John F. Sevic**  
UltraRF, Inc.  
Sunnyvale, California

**Michael S. Shur**  
Rensselaer Polytechnic Institute  
Troy, New York

**Thomas M. Siep**  
Texas Instruments  
Dallas, Texas

**Richard V. Snyder**  
RS Microwave  
Butler, New Jersey

**Jan Stake**  
Chalmers University  
Goteborg, Sweden

**Karen E. Moore**  
Motorola  
Tempe, Arizona

**Charles Nelson**  
California State University  
Sacramento, California

**Josh T. Nessmith**  
Georgia Tech  
Smyrna, Georgia

**Robert Newgard**  
Rockwell Collins  
Cedar Rapids, Iowa

**John M. Osepchuk**  
Full Spectrum Consulting  
Concord, Massachusetts

**Anthony E. Parker**  
Macquarie University  
Sydney, Australia

**Anthony M. Pavio**  
Motorola  
Tempe, Arizona

**Jeanne S. Pavio**  
Motorola  
Phoenix, Arizona

**Jim Paviol**  
Intersil  
Palm Bay, Florida

**Wayne E. Stark**  
University of Michigan  
Ann Arbor, Michigan

**Joseph Staudinger**  
Motorola  
Tempe, Arizona

**Michael B. Steer**  
North Carolina State University  
Raleigh, North Carolina

**Daniel G. Swanson, Jr.**  
Bartley R.F. Systems  
Amesbury, Massachusetts

**Toby Syrus**  
University of Maryland  
College Park, Maryland

**Manos M. Tentzeris**  
Georgia Institute of Technology  
Atlanta, Georgia

**Y. Qian**  
University of California  
Los Angeles, California

**Vesna Radisic**  
HRL Laboratories, LLC  
Malibu, California

**Arun Ramakrishnan**  
University of Maryland  
College Park, Maryland

**James G. Rathmell**  
University of Sydney  
Sydney, Australia

**Alfy Riddle**  
Macallan Consulting  
Milpitas, California

**Arye Rosen**  
Drexel University  
Philadelphia, Pennsylvania

**Harel D. Rosen**  
UMDNJ/Robert Wood Johnson  
Medical School

New Brunswick, New Jersey

**Matthew N.O. Sadiku**  
Avaya, Inc.  
Holmdel, New Jersey

**George K. Schoneman**  
Rockwell Collins  
Cedar Rapids, Iowa

**Robert J. Trew**  
U.S. Department of Defense  
Arlington, Virginia

**Karl R. Varian**  
Raytheon  
Dallas, Texas

**John P. Wendler**  
M/A-Com Components Business  
Unit

Lowell, Massachusetts

**James B. West**  
Rockwell Collins  
Cedar Rapids, Iowa

**James C. Wiltse**  
Georgia Tech  
Atlanta, Georgia

**Jerry C. Whitaker**  
Technical Press  
Morgan Hill, California

# 目 录

## 第1章 导论

- 1.1 微波和射频工程概述 ..... 1
- 1.2 频段定义 ..... 3
- 1.3 应用 ..... 4

## 第2章 微波与射频产品应用

- 2.1 蜂窝移动技术 ..... 6
  - 2.1.1 历史回顾(6) 2.1.2 蜂窝概念(7) 2.1.3 移动电话网络(8) 2.1.4 标准与标准化工作(9) 2.1.5 信道接入(9) 2.1.6 调制(11) 2.1.7 分集、扩频与 CDMA(14)
  - 2.1.8 信道编码、交错与时间分集(16) 2.1.9 非线性信道(17) 2.1.10 天线阵列(18)
  - 2.1.11 小结(19)
- 2.2 漫游通信 ..... 20
  - 2.2.1 序言(21) 2.2.2 历史回顾(22) 2.2.3 现状与未来趋势(23) 2.2.4 系统与服  
务(23) 2.2.5 无线电波管理(26) 2.2.6 工作环境(29) 2.2.7 服务质量(32) 2.2.8  
网络问题与小区大小(32) 2.2.9 编码与调制(34) 2.2.10 语言编码(36) 2.2.11 宏  
分集与微分集(38) 2.2.12 多站广播与多址(39) 2.2.13 系统容量(41) 2.2.14 结论  
(41)
- 2.3 宽带无线接入:高速率、点到多点、固定天线系统 ..... 45
  - 2.3.1 宽带无线接入基本特征(45) 2.3.2 宽带无线接入填补了技术空白(46) 2.3.3  
宽带无线接入频带与市场因素(47) 2.3.4 标准活动(49) 2.3.5 技术问题:接口与协议  
(50) 2.3.6 结论(54)
- 2.4 欧洲数字无绳电话 ..... 55
  - 2.4.1 应用领域(55) 2.4.2 欧洲数字无绳电话/综合业务数字网互通(56) 2.4.3 欧洲  
数字无绳电话/GSM 互通(56) 2.4.4 欧洲数字无绳电话数据接入(57) 2.4.5 欧洲数字  
无绳电话工作原理(57) 2.4.6 结构概述(57)
- 2.5 无线局域网(WLAN) ..... 64
  - 2.5.1 无线局域网射频工业、科学与医疗频带(65) 2.5.2 2.4 GHz 无线局域网标准化:  
IEEE 802.11b(66) 2.5.3 跳频(FH)与直接序列扩展频谱(DSSS)(67) 2.5.4 调制技术  
与数据速率(69) 2.5.5 载波检测多址访问/冲突避免(CSMA/CA)(70) 2.5.6 直接序  
列扩展频谱中的分组数据帧(71) 2.5.7 IEEE 802.11 网络模式(72) 2.5.8 5GHz 无线  
局域网(75) 2.5.9 射频链路考虑(75) 2.5.10 无线局域网系统举例:PRISM® II(80)
- 2.6 无线个人区域网通信:应用概述 ..... 82
  - 2.6.1 无线个人区域网通信的应用(83) 2.6.2 无线个人区域网服务的性质(83) 2.6.3

无线个人区域网结构(85)	2.6.4 无线个人区域网协议栈(87)	2.6.5 无线个人区域网与P802.15的历史(90)	2.6.6 结论(91)
2.7 卫星通信系统	91		
2.7.1 通信卫星的演变(92)	2.7.2 国际通信卫星系统举例(98)	2.7.3 宽带和多媒体卫星系统(101)	2.7.4 小结(105)
2.8 基于卫星的蜂窝式通信	107		
2.8.1 推动因素(107)	2.8.2 方法(116)	2.8.3 示例结构(117)	2.8.4 趋势(130)
2.9 电子导航系统	132		
2.9.1 全球定位系统(导航卫星测时测距全球定位系统)(133)	2.9.2 全球导航卫星系统(136)	2.9.3 罗兰-C远距离导航系统的历史与未来(138)	2.9.4 由无线电导航数据求解位置(141)
2.9.5 误差分析(145)	2.9.6 误差椭圆(Pierce,1948年)(147)	2.9.7 过定(Over-Determined)解法(150)	2.9.8 加权最小二乘方(151)
2.9.9 卡尔曼滤波器(153)			
2.10 航空电子学	158		
2.11 雷达	162		
2.11.1 连续波雷达(162)	2.11.2 脉冲雷达(170)		
2.12 电子战和电子对抗	182		
2.12.1 雷达和雷达干扰信号方程式(182)	2.12.2 雷达天线中易受攻击单元(186)		
2.12.3 雷达对抗技术(190)	2.12.4 金属箔片(192)		
2.13 汽车雷达	197		
2.13.1 分类(198)	2.13.2 机动车雷达的发展历史(199)	2.13.3 测速雷达(199)	
2.13.4 障碍物探测雷达(200)	2.13.5 自适应巡航控制雷达(200)	2.13.6 防撞雷达(201)	2.13.7 射频前置前视雷达(201)
2.13.8 其他类型的车载雷达(203)	2.13.9 未来发展(204)		
2.14 射频和微波技术在治疗医学中的新应用	205		
2.14.1 射频和微波与生物组织的相互作用(205)	2.14.2 射频和微波技术在治疗医学中的应用(209)	2.14.3 结论(221)	

### 第3章 系统研究

3.1 电子系统的热分析与设计	225		
3.1.1 目的(225)	3.1.2 热模型(227)	3.1.3 热阻网络(239)	
3.2 安全及环境问题	246		
3.2.1 生物组织特性和RF吸收特性(247)	3.2.2 微波/RF能的生物影响和危害(248)		
3.2.3 微波能的安全使用标准(251)	3.2.4 风险评估和公众教育(255)	3.2.5 结论(256)	
3.3 信号特征与调制理论	259		
3.3.1 信号复包络表示(260)	3.3.2 随机信号的表示和特征(261)	3.3.3 调制理论(263)	3.3.4 概率包络特征(268)
3.3.5 小结(269)			
3.4 成本模型	271		
3.4.1 BOM(材料表)(272)	3.4.2 过程时间(272)	3.4.3 边际成本(273)	3.4.4 管理费(273)
3.4.5 利润(273)	3.4.6 成本(273)	3.4.7 以产品为中心的模型(274)	

3.4.8 以服务为中心的模型(274)	3.4.9 以设想或技术为中心的模型(274)	3.4.10 信息反馈(274)	3.4.11 成本模型的改进(275)
3.5 电源管理	275		
3.5.1 背景(275)	3.5.2 系统内容:技术规格与要求(277)	3.5.3 电源(281)	3.5.4 结论(285)
3.6 低压/低功率微波电子设备	286		
3.6.1 降压的动力(286)	3.6.2 半导体材料技术(287)	3.6.3 半导体器件技术(288)	
3.6.4 电路设计(291)	3.6.5 无线电与系统结构(292)	3.6.6 降压的限制条件(292)	
3.6.7 小结(293)			
3.7 生产率的创新	296		
3.7.1 为组织机构定制创新措施(297)	3.7.2 生产率与营销(298)	3.7.3 制订计划与编制进度(299)	3.7.4 设计(299)
3.7.5 生产率的设计度量——赢得值(300)	3.7.6 制造(302)	3.7.7 6- $\sigma$ 计划(303)	3.7.8 6- $\sigma$ 数学公式(304)
3.8 电子硬件可靠性	305		
3.8.1 产品的要求与限制条件(306)	3.8.2 产品寿命周期环境(306)	3.8.3 材料、元件和生产过程的特征(307)	3.8.4 元器件的选择和管理(307)
3.8.5 故障模式和机理(312)	3.8.6 设计指南和技术(314)	3.8.7 鉴定与加速试验(316)	3.8.8 制造方面的情况(318)
3.8.9 小结(320)			

## 第4章 微波测量

4.1 线性测量	323			
4.1.1 信号测量(323)	4.1.2 网络测量(325)			
4.2 网络分析仪的校准	334			
4.2.1 矢量网络分析仪(VNA)的功能性(335)	4.2.2 测量的不确定性源(335)	4.2.3 VNA系统误差的建模(336)	4.2.4 校准(336)	
4.2.5 校准标准(337)				
4.3 噪声测量	339			
4.3.1 噪声基础(339)	4.3.2 检测(340)	4.3.3 噪声系数与Y因子方法(341)	4.3.4 相位噪声和抖动(342)	
4.3.5 小结(345)				
4.4 非线性微波测量和特性表征	346			
4.4.1 非线性电路的数学特性表征(346)	4.4.2 谐波失真(348)	4.4.3 增益压缩和相位失真(349)	4.4.4 交调失真(352)	
4.4.5 多载频交调失真和噪声功率比(355)	4.4.6 数字调制信号的失真(357)	4.4.7 小结(361)		
4.5 RF和微波晶体管的高功率负载牵引特性原理	362			
4.5.1 高功率负载牵引的系统结构(363)	4.5.2 系统元件的特性(365)	4.5.3 系统性能验证(370)	4.5.4 小结(371)	
4.6 脉冲测量	372			
4.6.1 等温与等力特性(373)	4.6.2 器件的有关特性(377)	4.6.3 脉冲测试设备(381)	4.6.4 测量技术(387)	
4.6.5 数据处理(393)				
4.7 微波在片测试	396			
4.7.1 在片测试的性能及应用(396)	4.7.2 测试精度考虑(401)	4.7.3 在片测试接口(406)	4.7.4 在片RF测试的优点(408)	

4.8 大批量微波测试 .....	409
4.8.1 大批量微波元件的需求(409)	
4.8.2 测试系统概述(412)	
4.8.3 大批量测试的要求(415)	
4.8.4 数据分析评述(420)	
4.8.5 结论(424)	

## 第5章 电路

5.1 接收机 .....	425
5.1.1 频率(425)	
5.1.2 动态范围(426)	
5.1.3 LO链(432)	
5.1.4 潜在问题(433)	
5.1.5 小结(434)	
5.2 发射机 .....	435
5.2.1 ACP、调制、直线性和功率(435)	
5.2.2 功率(436)	
5.2.3 线性化(436)	
5.2.4 效率(436)	
5.2.5 I-Q调制器(436)	
5.2.6 后退A类放大器(437)	
5.2.7 前馈(437)	
5.2.8 笛卡儿和极化环路(438)	
5.2.9 固定预失真(438)	
5.2.10 自适应预失真(439)	
5.2.11 包络消除和恢复(EER)(439)	
5.2.12 利用非线性元件的线性放大(LINC)(440)	
5.2.13 合成模拟锁相环通用调制(CALLUM)(440)	
5.2.14 I-V轨迹修改(441)	
5.2.15 Dougherty放大(441)	
5.2.16 器件修改(441)	
5.2.17 小结(442)	
5.3 低噪声放大器设计 .....	442
5.3.1 定义(442)	
5.3.2 设计理论(446)	
5.3.3 低噪声放大器的设计实践(448)	
5.3.4 设计实例(450)	
5.3.5 未来趋势(458)	
5.4 微波混频器设计 .....	460
5.4.1 单二极管混频器(461)	
5.4.2 单平衡混频器(462)	
5.4.3 双平衡混频器(462)	
5.4.4 FET混频器理论(463)	
5.5 调制和解调电路 .....	465
5.5.1 基础知识:为什么调制?(465)	
5.5.2 如何移频(466)	
5.5.3 模拟乘法器(即“混频器”)(467)	
5.5.4 抑制载波信号的同步检波(468)	
5.5.5 单边带抑制载波(469)	
5.5.6 有载波的双边带幅度调制(470)	
5.5.7 调制效率(470)	
5.5.8 包络检波器(471)	
5.5.9 利用注入载波的SSB包络检波(472)	
5.5.10 产生FM的直接与间接方法(473)	
5.5.11 快速而不纯的FM斜率检波(475)	
5.5.12 较低失真FM检波(476)	
5.5.13 数字调制法(477)	
5.5.14 相关检波(478)	
5.5.15 数字QAM(479)	
5.6 功率放大器电路 .....	480
5.6.1 设计分析(480)	
5.6.2 典型PA技术指标参数(480)	
5.6.3 功率放大器基本原理(481)	
5.6.4 技术分析(482)	
5.6.5 电路拓扑(485)	
5.6.6 有源器件技术的选择(487)	
5.7 振荡器电路 .....	491
5.7.1 性能指标(491)	
5.7.2 工艺技术和性能(494)	
5.7.3 理论(497)	
5.7.4 小结(502)	
5.8 锁相环设计 .....	505
5.8.1 锁相环的作用和特性(505)	
5.8.2 基本PLL的传递函数(506)	
5.8.3 稳定性(507)	
5.8.4 类型和阶(508)	
5.8.5 相位噪声(513)	
5.8.6 相位检波器设计(516)	
5.8.7 环路滤波器设计(518)	
5.8.8 瞬态响应(522)	
5.8.9 结论(523)	
5.9 滤波器和多工器 .....	524
5.9.1 分析和综合(524)	
5.9.2 传递函数的类型(525)	
5.9.3 传递函数近似法(526)	

5.9.4 元件类型和特性(529)	5.9.5 滤波器的实现(531)	5.9.6 模拟和综合软件(533)
5.9.7 线性模拟工具(533)	5.9.8 电磁(E-M)模拟工具(533)	5.9.9 综合软件(534)
5.9.10 有源滤波器(534)		
5.10 RF 开关	535	
5.10.1 PIN 二极管开关(535)	5.10.2 MESFET 开关(537)	5.10.3 开关电路(538)
5.10.4 插入损耗和隔离度(538)	5.10.5 开关设计(539)	

## 第6章 无源技术

6.1 无源集总元件	541	
6.1.1 电阻器(541)	6.1.2 电容器(543)	6.1.3 电感器(545)
6.1.4 扼流器(547)	6.1.5 铁氧体巴伦(548)	
6.2 无源微波器件	549	
6.2.1 无源元件的特征表征(550)	6.2.2 史密斯圆图(551)	6.2.3 传输线段(552)
6.2.4 不连续性(552)	6.2.5 阻抗变换器(552)	6.2.6 终端负载(553)
6.2.7 衰减器(553)	6.2.8 微波谐振器(553)	6.2.9 调谐元件(555)
6.2.10 混合电桥和定向耦合器(555)	6.2.11 铁氧体器件(557)	6.2.12 滤波器和匹配网络(557)
6.2.13 无源半导体器件(558)		
6.3 介质谐振器	560	
6.3.1 微波介质谐振器(560)	6.3.2 工作理论(560)	6.3.3 与微波结构的耦合(563)
6.3.4 陶瓷材料(563)	6.3.5 应用(564)	6.3.6 滤波器(564)
6.3.7 单模带通滤波器(565)	6.3.8 双模滤波器(565)	6.3.9 介质谐振器探头(566)
6.3.10 二极管振荡器(567)	6.3.11 场效应晶体管和双极晶体管振荡器(568)	6.3.12 结论及展望(569)
6.4 RF 微机电系统	571	
6.4.1 RF MEMS 技术概述(572)	6.4.2 制作工艺(575)	6.4.3 器件,元件和电路(576)
6.4.4 RF MEMS 的典型应用(586)		
6.5 声表面波(SAW)滤波器	596	
6.5.1 SAW 材料的特性(598)	6.5.2 滤波器的基本性能(598)	6.5.3 SAW 换能器的建模(599)
6.5.4 失真和二次效应(602)	6.5.5 双向滤波器响应(603)	6.5.6 多相单向换能器(603)
6.5.7 单相单向换能器(604)	6.5.8 色散滤波器(605)	6.5.9 编码 SAW 滤波器(605)
6.5.10 谐振器(605)		
6.6 RF 同轴电缆	608	
6.6.1 同轴电缆的历史(608)	6.6.2 同轴电缆的特性(609)	6.6.3 电缆类型(611)
6.6.4 介质材料(612)	6.6.5 常用的标准同轴电缆型号(612)	6.6.6 连接器(612)
6.6.7 小结(613)		
6.7 同轴连接器	614	
6.7.1 历史(614)	6.7.2 定义(615)	6.7.3 设计(615)
6.7.4 连接器注意事项(615)	6.7.5 N 型连接器(619)	6.7.6 BNC 连接器(619)
6.7.7 TNC 连接器(621)	6.7.8 SMA 连接器(622)	6.7.9 7-6 连接器(624)
6.7.10 7mm 连接器(624)	6.7.11 3.5mm 连接器(625)	6.7.12 2.92mm 连接器(627)
6.7.13 2.4mm 连接器(628)		
6.8 天线技术	630	
6.8.1 基本的天线参数定义(630)	6.8.2 辐射单元类型(636)	6.8.3 天线测量(640)



6.8.4	天线新技术(643)	
6.9	相控阵天线技术	670
6.9.1	线阵技术(670)	
6.9.2	相控阵天线新技术(683)	
6.10	RF封装的设计和开发	689
6.10.1	热管理(689)	
6.10.2	机械设计(691)	
6.10.3	封装的电气和电磁建模(693)	
6.10.4	设计验证、材料和可靠性试验(693)	
6.10.5	计算机集成制造(694)	
6.10.6	结论(695)	

## 第7章 有源器件技术

7.1	半导体二极管	696
7.1.1	变容管(696)	
7.1.2	肖特基二极管倍频器(705)	
7.1.3	渡越时间微波器件(712)	
7.2	晶体管	719
7.2.1	双极结晶体管(BJT)(719)	
7.2.2	异质结构双极晶体管(HBT)(733)	
7.2.3	金属氧化物半导体场效应晶体管(750)	
7.2.4	金属半导体场效应晶体管(773)	
7.2.5	高电子迁移率晶体管(791)	
7.2.6	宽带隙材料的射频功率晶体管(815)	
7.3	电子管	827
7.3.1	微波功率电子管(827)	
7.3.2	微波电子管的工作考虑(832)	
7.4	单片微波集成电路技术	839
7.4.1	单片微波集成电路技术(839)	
7.4.2	GaAs MESFET 和 HEMT 的基本原理(844)	
7.4.3	MMIC 集总元件:电阻、电容和电感(847)	
7.4.4	MMIC 的处理和掩模组(849)	

## 第8章 计算机辅助设计、仿真和建模

8.1	系统仿真	856
8.1.1	增益(856)	
8.1.2	噪声(857)	
8.1.3	互调失真(858)	
8.1.4	利用数字调制射频激励的系统仿真(861)	
8.2	射频与微波结构分析与设计数字技术	865
8.2.1	基于积分方程的技术(865)	
8.2.2	基于PDE的技术 FDTD, TLM, FEM(869)	
8.2.3	小波分析:存储效应自适应方法?(874)	
8.2.4	结论(875)	
8.3	无源元件的计算机辅助设计	882
8.3.1	基于CAD的电路理论(883)	
8.3.2	基于CAD的场论(885)	
8.3.3	电路原理和场原理的求解时间(886)	
8.3.4	电路分析的混合法(887)	
8.3.5	优化(889)	
8.3.6	未来的十年(889)	
8.3.7	结论(890)	
8.4	非线性射频和微波电路分析	891
8.4.1	射频和微波信号的建模(891)	
8.4.2	电路建模基础(896)	
8.4.3	时域电路仿真(897)	
8.4.4	谐波平衡:综合频域和时域仿真法(901)	
8.4.5	非线性电路的频域分析(904)	
8.4.6	总结(905)	
8.5	时域计算机辅助电路仿真	907
8.5.1	建模和仿真的层次(907)	
8.5.2	建模和基本电路方程(908)	
8.5.3	列方程(908)	
8.5.4	求解线性方程(910)	
8.5.5	求解非线性方程(913)	
8.5.6	Newton-Raphson 法在电路仿真中的应用(915)	
8.5.7	求解微分方程(917)	
8.5.8	大型电路技术(920)	
8.6	微波电路的计算机辅助设计	923
8.6.1	初始设计(923)	
8.6.2	物理元件模型(923)	
8.6.3	布线影响(924)	
8.6.4	可调	