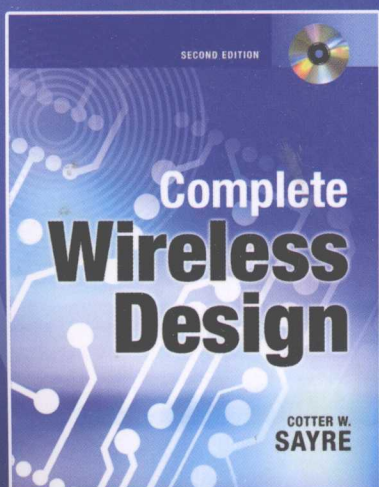


国外电子与通信教材系列
教育部高等理工教育教学改革与实践项目


Mc
Graw
Hill

无线通信电路设计 分析与仿真 (第二版)

Complete Wireless Design, Second Edition



[美] Cotter W. Sayre 著
郭 洁 李正权 燕 锋 等译
沈连丰 审校

 电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>



国外电子与通信教材系列

教育部高等理工教育教学改革与实践项目

无线通信电路设计分析与仿真 (第二版)

Complete Wireless Design, Second Edition

[美] Cotter W. Sayre 著

郭洁 李正权 燕锋 等译

沈连丰 审校

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书全面而详尽地介绍了无线通信电路的各个方面,深入浅出地论述如何规划、设计、仿真、创建以及测试一个完整的无线通信设备,概括了通信电路的基础知识和具体设计,详细给出了各类调制解调器、振荡器、放大器、混频器、滤波器、锁相环、倍频器、射频开关、微带电路、自动增益控制环路、功率分配器、衰减器、双工器等基本单元电路的工作原理、设计方法和实现技巧,系统介绍了射频电路的测试流程、印制电路板设计方法、射频软件仿真技术、小型天线系统的设计以及完整的通信系统仿真实例。

本书可作为高等学校相关课程的教学参考书,也可作为“通信电路”等课程的教科书,亦是通信系统设计工程师理论提高和实际设计的工具书和参考书。

Cotter W. Sayre: Complete Wireless Design, Second Edition
ISBN 978-0-07-154452-8

Copyright 2009 © by The McGraw-Hill Companies, Inc.

Original language published by The McGraw-Hill Companies, Inc. All rights reserved. No part of this publication may be reproduced or distributed in any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

Simplified Chinese translation edition published by McGraw-Hill Education (Asia) Co. and Publishing House of Electronics Industry. Copyright © 2010.

本书简体中文版由美国麦格劳-希尔教育出版(亚洲)公司授予电子工业出版社。未经出版者预先书面许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

本书贴有 McGraw-Hill 公司激光防伪标签,无标签者不得销售。

版权贸易合同登记号 图字:01-2008-4401

图书在版编目(CIP)数据

无线通信电路设计分析与仿真:第2版/(美)塞尔(Sayre, C. W.)著;郭洁等译.

北京:电子工业出版社,2010.1

(国外电子与通信教材系列)

书名原文:Complete Wireless Design, Second Edition

ISBN 978-7-121-10025-3

I. 无... II. ①塞... ②郭... III. ①无线电通信—电路设计—教材 ②无线电通信—电路分析—教材 ③无线电通信—电路—计算机仿真—教材 IV. TN92

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第221699号

策划编辑:谭海平

责任编辑:史平

印刷:北京天宇星印刷厂

装订:三河市鹏成印业有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编100036

开本:787×1092 1/16 印张:31.75 字数:812千字

印次:2010年1月第1次印刷

印数:4000册 定价:75.00元(含光盘1张)



凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

序

2001年7月间,电子工业出版社的领导同志邀请各高校十几位通信领域方面的老师,商量引进国外教材问题。与会同志对出版社提出的计划十分赞同,大家认为,这对我国通信事业、特别是对高等院校通信学科的教学工作会很有好处。

教材建设是高校教学建设的主要内容之一。编写、出版一本好的教材,意味着开设了一门好的课程,甚至可能预示着一个崭新学科的诞生。20世纪40年代MIT林肯实验室出版的一套28本雷达丛书,对近代电子学科、特别是对雷达技术的推动作用,就是一个很好的例子。

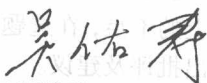
我国领导部门对教材建设一直非常重视。20世纪80年代,在原教委教材编审委员会的领导下,汇集了高等院校几百位富有教学经验的专家,编写、出版了一大批教材;很多院校还根据学校的特点和需要,陆续编写了大量的讲义和参考书。这些教材对高校的教学工作发挥了极好的作用。近年来,随着教学改革不断深入和科学技术的飞速进步,有的教材内容已比较陈旧、落后,难以适应教学的要求,特别是在电子学和通信技术发展神速、可以讲是日新月异的今天,如何适应这种情况,更是一个必须认真考虑的问题。解决这个问题,除了依靠高校的老师 and 专家撰写新的符合要求的教科书外,引进和出版一些国外优秀电子与通信教材,尤其是有选择地引进一批英文原版教材,是会有好处的。

一年多来,电子工业出版社为此做了很多工作。他们成立了一个“国外电子与通信教材系列”项目组,选派了富有经验的业务骨干负责有关工作,收集了230余种通信教材和参考书的详细资料,调来了100余种原版教材样书,依靠由20余位专家组成的出版委员会,从中精选了40多种,内容丰富,覆盖了电路理论与应用、信号与系统、数字信号处理、微电子、通信系统、电磁场与微波等方面,既可作为通信专业本科生和研究生的教学用书,也可作为有关专业人员的参考材料。此外,这批教材,有的翻译为中文,还有部分教材直接影印出版,以供教师用英语直接授课。希望这些教材的引进和出版对高校通信教学和教材改革能起一定作用。

在这里,我还要感谢参加工作的各位教授、专家、老师与参加翻译、编辑和出版的同志们。各位专家认真负责、严谨细致、不辞辛劳、不怕琐碎和精益求精的态度,充分体现了中国教育工作者和出版工作者的良好美德。

随着我国经济建设的发展和科学技术的不断进步,对高校教学工作会不断提出新的要求和希望。我想,无论如何,要做好引进国外教材的工作,一定要联系我国的实际。教材和学术专著不同,既要注意科学性、学术性,也要重视可读性,要深入浅出,便于读者自学;引进的教材要适应高校教学改革的需要,针对目前一些教材内容较为陈旧的问题,有目的地引进一些先进的和正在发展中的交叉学科的参考书;要与国内出版的教材相配套,安排好出版英文原版教材和翻译教材的比例。我们努力使这套教材能尽量满足上述要求,希望它们能放在学生们的课桌上,发挥一定的作用。

最后,预祝“国外电子与通信教材系列”项目取得成功,为我国电子与通信教学和通信产业的发展培土施肥。也恳切希望读者能对这些书籍的不足之处、特别是翻译中存在的问题,提出意见和建议,以便再版时更正。



中国工程院院士、清华大学教授

“国外电子与通信教材系列”出版委员会主任

出版说明

进入 21 世纪以来,我国信息产业在生产和科研方面都大大加快了发展速度,并已成为国民经济发展的支柱产业之一。但是,与世界上其他信息产业发达的国家相比,我国在技术开发、教育培训等方面都还存在着较大的差距。特别是在加入 WTO 后的今天,我国信息产业面临着国外竞争对手的严峻挑战。

作为我国信息产业的专业科技出版社,我们始终关注着全球电子信息技术的发展方向,始终把引进国外优秀电子与通信信息技术教材和专业书籍放在我们工作的重要位置上。在 2000 年至 2001 年间,我社先后从世界著名出版公司引进出版了 40 余种教材,形成了一套“国外计算机科学教材系列”,在全国高校以及科研部门中受到了欢迎和好评,得到了计算机领域的广大教师与科研工作者的充分肯定。

引进和出版一些国外优秀电子与通信教材,尤其是有选择地引进一批英文原版教材,将有助于我国信息产业培养具有国际竞争能力的技术人才,也将有助于我国国内在电子与通信教学工作中掌握和跟踪国际发展水平。根据国内信息产业的现状、教育部《关于“十五”期间普通高等教育教材建设与改革的意见》的指示精神以及高等院校老师们反映的各种意见,我们决定引进“国外电子与通信教材系列”,并随后开展了大量准备工作。此次引进的国外电子与通信教材均来自国际著名出版商,其中影印教材约占一半。教材内容涉及的学科方向包括电路理论与应用、信号与系统、数字信号处理、微电子、通信系统、电磁场与微波等,其中既有本科专业课程教材,也有研究生课程教材,以适应不同院系、不同专业、不同层次的师生对教材的需求,广大师生可自由选择 and 自由组合使用。我们还将与国外出版商一起,陆续推出一些教材的教学支持资料,为授课教师提供帮助。

此外,“国外电子与通信教材系列”的引进和出版工作得到了教育部高等教育司的大力支持和帮助,其中的部分引进教材已通过“教育部高等学校电子信息科学与工程类专业教学指导委员会”的审核,并得到教育部高等教育司的批准,纳入了“教育部高等教育司推荐——国外优秀信息科学与技术系列教学用书”。

为做好该系列教材的翻译工作,我们聘请了清华大学、北京大学、北京邮电大学、南京邮电大学、东南大学、西安交通大学、天津大学、西安电子科技大学、电子科技大学、中山大学、哈尔滨工业大学、西南交通大学等著名高校的教授和骨干教师参与教材的翻译和审校工作。许多教授在国内电子与通信专业领域享有较高的声望,具有丰富的教学经验,他们的渊博学识从根本上保证了教材的翻译质量和专业学术方面的严格与准确。我们在此对他们的辛勤工作与贡献表示衷心的感谢。此外,对于编辑的选择,我们达到了专业对口;对于从英文原书中发现的错误,我们通过与作者联络、从网上下载勘误表等方式,逐一进行了修订;同时,我们对审校、排版、印制质量进行了严格把关。

今后,我们将进一步加强同各高校教师的密切关系,努力引进更多的国外优秀教材和教学参考书,为我国电子与通信教材达到世界先进水平而努力。由于我们对国内外电子与通信教育的发展仍存在一些认识上的不足,在选题、翻译、出版等方面的工作中还有许多需要改进的地方,恳请广大师生和读者提出批评及建议。

电子工业出版社

教材出版委员会

主任	吴佑寿	中国工程院院士、清华大学教授
副主任	林金桐 杨千里	北京邮电大学校长、教授、博士生导师 总参通信部副部长，中国电子学会会士、副理事长 中国通信学会常务理事、博士生导师
委员	林孝康	清华大学教授、博士生导师、电子工程系副主任、通信与微波研究所所长 教育部电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会委员
	徐安士	北京大学教授、博士生导师、电子学系主任
	樊昌信	西安电子科技大学教授、博士生导师 中国通信学会理事、IEEE 会士
	程时昕	东南大学教授、博士生导师
	郁道银	天津大学副校长、教授、博士生导师 教育部电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会委员
	阮秋琦	北京交通大学教授、博士生导师 计算机与信息技术学院院长、信息科学研究所所长 国务院学位委员会学科评议组成员
	张晓林	北京航空航天大学教授、博士生导师、电子信息工程学院院长 教育部电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导分委员会副主任委员 中国电子学会常务理事
	郑宝玉	南京邮电大学副校长、教授、博士生导师 教育部电子信息与电气学科教学指导委员会委员
	朱世华	西安交通大学副校长、教授、博士生导师 教育部电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会副主任委员
	彭启琮	电子科技大学教授、博士生导师、通信与信息工程学院院长 教育部电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导分委员会委员
	毛军发	上海交通大学教授、博士生导师、电子信息与电气工程学院副院长 教育部电子信息与电气学科教学指导委员会委员
	赵尔沅	北京邮电大学教授、《中国邮电高校学报(英文版)》编委会主任
	钟允若	原邮电科学研究院副院长、总工程师
	刘彩	中国通信学会副理事长兼秘书长，教授级高工 信息产业部通信科技委副主任
	杜振民	电子工业出版社原副社长
	王志功	东南大学教授、博士生导师、射频与光电集成电路研究所所长 教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会主任委员
	张中兆	哈尔滨工业大学教授、博士生导师、电子与信息技术研究院院长
	范平志	西南交通大学教授、博士生导师、信息科学与技术学院院长

译者序

通信系统的设计离不开电路。本书全面而详尽地介绍了无线通信电路的各个方面，深入浅出地论述了如何规划、设计、仿真、创建以及测试一个完整的无线通信设备，从书中可看出作者具有丰富的电路设计经验和深厚的理论功底。

该书用通俗的语言，概括了通信电路的基础知识和具体设计，不但详细给出了各类调制解调器、振荡器、放大器、混频器、滤波器、锁相环、倍频器、射频开关、微带电路、自动增益控制环路、功率分配器、衰减器、双工器等基本单元电路的工作原理、设计方法和实现技巧，而且系统地介绍了射频电路的测试流程、印制电路板设计方法、射频软件仿真技术、小型天线系统的设计以及完整的通信系统仿真实例，是一本很有特色的图书。书中内容横跨我国高等学校本科课程的“电路分析”、“信号与系统”、“线性电子线路”、“非线性电子线路”、“通信原理”、“数字通信”、“微波器件与电路”、“信息与通信工程原理与实验”等。因此，本书不但是通信系统电路设计工程师不可多得的工具书，而且也是高等学校相关课程的教学参考书，还可以作为独立设课的“通信电路”等课程的教科书。

书名最初直译为“无线设计大全”，考虑到“无线设计”显得不够具体，而“大全”的中文涵义又颇重，现译为“无线通信电路设计分析与仿真”，以期使其与书中内容更为吻合。

本书翻译是由集体完成的。全书的初稿由李正权（前言、致谢、第1章、第2章）以及硕士研究生宋韬（3.1节~3.3节）、蒲盟（3.4节~3.12节）、鲍楠（第4章）、皮罡（第5章、第7章）、沈丹萍（第6章）、王欣（第8章）、纵邦胜（第9章、第10章）、赵翠娜（第11章、第12章）、孙元凯（第13章、第14章）、黄震（术语表）和夏羽（索引）完成，其中沈丹萍和蒲盟分别对第2章和其余各部分进行了初步统稿；然后由夏玮玮、胡静、许波和宋铁成对全书分工负责修改；修改后的稿子由郭洁、李正权、燕锋和沈连丰分工进行第二次系统的统稿，其中郭洁主要负责第2~7章，李正权主要负责第8~12章，燕锋主要负责第13章和第14章，沈连丰主要负责其他部分；最后由沈连丰负责全书的统稿和审校，燕锋协助校对对全书的图表和公式。

东南大学移动通信国家重点实验室的部分老师和博士研究生对本书的翻译给予了不同形式的帮助；电子工业出版社的编辑为本书的出版进行了辛勤的工作并对翻译工作给予了具体指导，特别是对书名的翻译提出了很好的建议。另外，本书的翻译列入国家教育部高等理工教育教学改革与实践项目“国家工科电工电子教学基地‘通信原理’双语教学课程建设（项目编号：416）”。在此，对所有为本书出版提供帮助的师长和同仁表示诚挚的感谢！

译文对原著中个别笔误和疏漏之处做了更正和注释，但由于译审者水平所限，译文中难免有不妥之处，敬请读者和关注本书的同仁不吝指正。

译审者

2009年9月

于东南大学移动通信国家重点实验室

致 谢

若没有前辈专家的广泛研究和应用,本书不可能写得如此全面和深入。在此,由衷地感谢 Randy Rhea, Dean Banerjee, Chris Bowick, Peter Vizmuller 和 Les Besser, 他们的论著为本书提供了丰富翔实的素材;同时,也非常感谢本书所附参考文献中提及的其他优秀作者及工程师们。

同样感谢下列诸位,感谢他们为我提供的帮助以及他们为了重新制作 RF 软件及软件文件所做出的贡献:

- Stefan Jahn: RF 仿真器 Qucs 的主要开发者。
- Kirt Blattenberger: 高级工程师, RFCafé.com 公司总裁, 提供了系统仿真器 Workbench。
- Mike Engelhardt: Linear Technology 公司高级工程师, 提供了 Spice 仿真器 LTSpice。
- Neil W. Heckt: 高级工程师, AADE.com 公司总裁, 提供了集总滤波器分析软件 AADE Filter Design and Analysis。
- Arie Voors: 开发者及电脑工程师, 提供了 NEC 3D 天线仿真器 4NEC2X。
- Christopher A. Schell: National Semiconductor 公司高级工程师, 提供了 PLL 设计软件 EasyPLL。
- Robert L. Myers: AppCad 公司项目经理, 提供了 Agilent 公司的 RF 设计软件 AppCad。
- James C. Rautio 博士: Sonnet Software 公司主席, 提供了 EM 仿真器 Sonnet Lite em。
- 应用无线电实验室 (Applied Radio Labs): 提供了 PLL 设计软件 ADIsimPLL。

此外,还要感谢以下两位:

- Dale Henkes: Applied Microwave 公司主席, 提供了 Linc2Pro。
- Daren McClearnon: Agilent 公司市场部, 提供了 Genesys' Harbec。

关于作者

Cotter W. Sayre 出生于加利福尼亚圣何塞,曾任 Micro Linear and Radix 公司射频高级设计工程师,以及 3Com 公司高级开发组无线硬件设计工程师。他专门从事频率高达 6 GHz 的无线发射机及接收机的设计、仿真、印制电路板绘制、测试以及故障检测等工作。同时, Sayre 先生是电气和电子工程师学会 (IEEE) 以及 IEEE 微波理论与技术协会 (Microwave Theory and Techniques Society) 会员。

前 言

本书希望为读者在最新射频 (RF) 电路和系统运行方面打下坚实基础。同时, 通过分立电路级到完整无线系统级的全部设计过程来深入浅出地论述如何规划、设计、仿真、创建以及测试一个完整的射频/微波语音和数据无线设备。

本次新版对原版所有章节的内容都进行了拓展、深化和充分更新, 增添了优选的图表以使文字表达更加清晰。此外, 还增添了新的章节, 详细介绍了 RF 电路的测试流程、印制电路板设计、RF 软件仿真技术以及小型天线系统的设计等, 给出了含有完整 RF 仿真结果的设计实例 (即一些简单的例子) 是其新的特点之一。同时, 随书的计算机光盘也已进行了扩充和更新, 包含了更多免费的前沿 RF 程序。这将使读者更容易进行集总式和分布式的 RF 电路设计或针对低功耗用户需求的典型系统设计。

与很多介绍无线通信方面的书籍不同, 本书并不是简单提供一些预先设计好的电路让读者通过某种随意的方式进行修改而应用于自己的无线电路设计中, 也不是为无线电路和系统设计提供一些过于复杂且实用性差的公式而令大多数读者甚至专业工程师都很难读懂。与此相反, 本书将使读者通过应用基本的代数知识和附带的软件程序, 就能轻松、快速地设计出尖端的振荡器、放大器、混频器、滤波器、锁相环、倍频器、射频开关、微带元件、自动增益控制 (AGC) 环路、功率分配器、衰减器、双工器、天线以及 PCB 板, 并且可以对整个无线通信系统进行规划。

本书的任何补充信息, 包括内容或软件的升级以及此版本可能的勘误等, 将会在以下网站公布: <http://cotter.sayre.googlepages.com/home>。

我为本书第二版的出版感到振奋, 期望读者与我有相同感受!

Cotter W. Sayre

目 录

第 1 章 无线设计基础	1
1.1 射频中的无源器件	1
1.1.1 引言	1
1.1.2 电阻器	2
1.1.3 电容器	3
1.1.4 电感器	6
1.1.5 铁氧体磁珠	8
1.1.6 变压器	9
1.2 半导体	10
1.2.1 引言	10
1.2.2 二极管	11
1.2.3 晶体管	17
1.3 微带线设计	21
1.3.1 引言	21
1.3.2 用做传输线的微带线	22
1.3.3 用做等效元器件的微带线	23
1.4 传输线	34
1.4.1 引言	34
1.4.2 传输线类型	34
1.4.3 传输线的电压驻波比	35
1.5 S 参数	36
1.5.1 引言	36
1.5.2 S 参数的测量	38
1.6 电路与系统中的噪声	40
第 2 章 调制	42
2.1 幅度调制	42
2.1.1 引言	42
2.1.2 AM 基本原理	42
2.1.3 AM 功率度量	45
2.1.4 AM 缺点	45
2.2 频率调制	46
2.2.1 引言	46
2.2.2 FM 基本原理	46
2.2.3 FM 与 AM 比较	49
2.3 单边带调制	49
2.3.1 引言	49
2.3.2 SSB 基本原理	49

2.3.3	SSB 调制	50
2.3.4	SSB 输出功率	51
2.4	相位调制	51
2.4.1	引言	51
2.4.2	PM 基本原理	51
2.4.3	PM 的缺点	52
2.5	数字调制	53
2.5.1	引言	53
2.5.2	数字调制的类型	53
2.5.3	数字调制功率	56
2.5.4	数字调制要素	58
2.6	调制器/解调器集成电路的设计	63
2.6.1	引言	63
2.6.2	RFMD RF2713 的设计	66
第 3 章	放大器设计	68
3.1	放大器电路配置	68
3.1.1	引言	68
3.1.2	共基极放大器	68
3.1.3	共发射极放大器	69
3.1.4	共集电极放大器	70
3.2	放大器匹配基础	71
3.2.1	引言	71
3.2.2	放大器匹配网络类型	72
3.2.3	放大器匹配网络要素	74
3.3	失真和噪声产物	76
3.3.1	引言	76
3.3.2	失真	77
3.3.3	噪声	81
3.4	小信号放大器设计	81
3.4.1	引言	81
3.4.2	使用 S 参数设计小信号放大器	81
3.4.3	小信号设计和矢量代数	88
3.4.4	小信号放大器的稳定性	88
3.4.5	小信号设计中的近似	93
3.4.6	小信号匹配网络设计	94
3.4.7	A 类小信号放大器的设计流程	114
3.5	功率放大器设计	118
3.5.1	引言	118
3.5.2	C 类功率放大器	120
3.5.3	使用等效阻抗进行功率放大器的设计	122
3.5.4	功率放大器设计问题	122
3.5.5	功率放大器的负载牵引	124
3.5.6	功率放大器设计步骤	126
3.5.7	功率放大器的稳定性以及测试和改进措施	128
3.5.8	功率放大器增益平坦问题	130

3.6	放大器偏置	131
3.6.1	引言	131
3.6.2	放大器偏置类型	131
3.6.3	放大器偏置电路	133
3.6.4	放大器偏置电路的注意事项	137
3.6.5	放大器偏置的设计	139
3.7	单片微波集成电路放大器	147
3.7.1	引言	147
3.7.2	MMIC 放大器偏置	148
3.7.3	MMIC 偏置的步骤	149
3.7.4	MMIC 的耦合及去耦合	150
3.7.5	MMIC 放大器电路	151
3.8	宽带放大器	151
3.8.1	引言	151
3.8.2	宽带放大器的稳定性	151
3.8.3	宽带放大器设计	153
3.9	并联放大器	155
3.9.1	引言	155
3.9.2	使用 MMIC 设计并联放大器	156
3.10	音频放大器	157
3.10.1	引言	157
3.10.2	音频放大器设计	157
3.11	可调增益放大器	158
3.11.1	引言	158
3.11.2	可调增益放大器的设计	158
3.12	放大器的耦合与去耦合	160
3.12.1	引言	160
3.12.2	耦合与去耦合电路设计	160
第 4 章	振荡器设计	165
4.1	振荡器基础	165
4.1.1	引言	165
4.1.2	振荡器工作原理	165
4.1.3	振荡器设计要素	166
4.2	振荡器仿真方法	167
4.2.1	引言	167
4.2.2	振荡器开环设计和仿真	168
4.3	低相位噪声振荡器设计技术	172
4.3.1	引言	172
4.3.2	低相位噪声振荡器设计方法	173
4.4	LC 和 VCO 振荡器	174
4.4.1	引言	174
4.4.2	LC 和 VCO 振荡器的分类	175
4.4.3	LC 和 VCO 振荡器设计	177
4.4.4	LC 和 VCO 振荡器常规测试	188

4.4.5	LC 和 VCO 输出耦合	189
4.4.6	LC 和 VCO 振荡器谐波	190
4.4.7	LC 和 VCO 振荡器输出功率	191
4.4.8	LC 和 VCO 振荡器的术语	192
4.5	晶体振荡器	192
4.5.1	引言	192
4.5.2	晶体振荡器的类型	194
4.5.3	晶体振荡器设计	195
4.5.4	晶体振荡器要素	198
4.5.5	基于表面声波的晶体振荡器	199
4.5.6	晶体振荡器的测试和优化	199
第 5 章	频率合成设计	201
5.1	锁相环频率合成	201
5.1.1	引言	201
5.1.2	PLL 工作原理	201
5.1.3	PLL 相位噪声	206
5.1.4	PLL 参考杂散	208
5.1.5	PLL 锁定时间	208
5.1.6	PLL 设计步骤	209
5.1.7	PLL 的问题及对策	217
5.1.8	PLL 分频合成器	220
5.2	直接数字式合成	222
第 6 章	滤波器设计	224
6.1	滤波器基础	224
6.1.1	引言	224
6.1.2	滤波器结构	226
6.1.3	滤波器带通响应	229
6.2	集总滤波器设计	229
6.2.1	引言	229
6.2.2	集总滤波器电路类型	230
6.2.3	集总滤波器映像参数设计	234
6.2.4	集总滤波器设计要素	241
6.3	分布式滤波器设计	242
6.3.1	引言	242
6.3.2	分布式滤波器电路类型	242
6.3.3	分布式滤波器设计方法	243
6.3.4	分布式滤波器要素	252
6.4	双工器滤波器	253
6.4.1	引言	253
6.4.2	双工器滤波器设计	254
6.5	晶体和表面声波滤波器	256
6.5.1	引言	256
6.5.2	晶体滤波器	256
6.5.3	表面声波滤波器	257

6.5.4	表面声波滤波器要素	258
6.6	有源滤波器	259
6.6.1	引言	259
6.6.2	有源滤波器设计	261
6.7	调谐滤波器	264
6.7.1	引言	264
6.7.2	调谐滤波器设计	265
6.8	滤波器要素和术语	269
6.8.1	引言	269
6.8.2	滤波器要素	269
6.8.3	滤波器术语	270
第 7 章	混频器设计	272
7.1	无源混频器	272
7.1.1	引言	272
7.1.2	无源混频器类型	274
7.1.3	无源混频器设计	275
7.1.4	无源混频器的失真	279
7.1.5	无源混频器要素	281
7.1.6	无源滤波器术语	282
7.2	有源混频器	282
7.2.1	引言	282
7.2.2	有源混频器种类	283
7.2.3	有源混频器设计	285
7.2.4	有源混频器要素	288
7.3	镜像抑制混频器以及谐波混频器	289
7.3.1	引言	289
7.3.2	镜像抑制混频器	289
7.3.3	谐波模式混频器	289
第 8 章	支持电路的设计	290
8.1	倍频器	290
8.1.1	引言	290
8.1.2	倍频器选择	292
8.1.3	倍频器设计	292
8.1.4	倍频器要素	299
8.2	RF 开关	299
8.2.1	引言	299
8.2.2	RF 开关设计	302
8.2.3	RF 开关要素	309
8.3	自动增益控制	309
8.3.1	引言	309
8.3.2	自动增益控制设计	311
8.3.3	自动增益控制要素	316
8.4	衰减器	316

8.4.1	引言	316
8.4.2	衰减器设计	317
8.5	平衡-不平衡转换器	319
8.5.1	引言	319
8.5.2	平衡-不平衡转换器设计	320
8.6	分路器与合路器	324
8.6.1	引言	324
8.6.2	分路器与合路器设计	324
8.7	电源	327
8.7.1	引言	327
8.7.2	电源稳压器	330
8.7.3	电源稳压器选择	332
8.7.4	电源稳压器设计	333
8.8	定向耦合器	339
8.8.1	引言	339
8.8.2	定向耦合器设计	339
8.9	其他支持电路	341
8.9.1	引言	341
8.9.2	语音处理	341
8.9.3	自动频率控制	343
8.9.4	静噪电路	343
第9章	通信系统设计与传播特性	346
9.1	接收机	346
9.1.1	引言	346
9.1.2	接收机镜像	346
9.1.3	接收机噪声系数	348
9.1.4	接收机动态范围	349
9.1.5	接收机增益	349
9.1.6	接收机互调混频	350
9.1.7	接收机半中频干扰	350
9.1.8	接收机相位噪声	351
9.1.9	接收机系统设计	351
9.2	发射机	357
9.2.1	引言	357
9.2.2	发射机系统设计	357
9.3	完整通信系统	359
9.3.1	引言	359
9.3.2	时分双工收发信机	360
9.3.3	频分双工收发信机	360
9.3.4	射频集成电路收发信机	363
9.3.5	系统设计要素	365
9.4	射频传播	367
9.4.1	引言	367
9.4.2	多径	367

9.4.3	射频链路预算	368
9.4.4	射频链路问题	374
第 10 章	通信天线	376
10.1	天线类型	381
10.1.1	引言	381
10.1.2	内置天线	381
10.1.3	外置天线	384
10.1.4	天线设计	385
第 11 章	射频仿真	388
11.1	RF 仿真器设计软件	388
11.1.1	引言	388
11.1.2	RF 仿真器概述	390
11.1.3	RF 仿真器软件程序	392
11.1.4	RF 仿真器精确度和准则	394
11.1.5	RF 仿真器的有关问题	400
第 12 章	无线测试	404
12.1	无线接收机和发射机测试	404
12.1.1	引言	404
12.1.2	无线接收机测试	404
12.1.3	无线发射机测试	405
12.2	无线测试步骤	406
12.2.1	引言	406
12.2.2	数字信号功率测试	406
12.2.3	星座和眼图测试	408
12.2.4	误比特率测试	410
12.2.5	相位噪声测试	410
12.2.6	噪声系数测试	412
12.2.7	基准激励测试	413
12.2.8	阻塞/减感测试	413
12.2.9	增益和平坦度测试	414
12.2.10	发射机输出功率平坦度测试	414
12.2.11	SINAD 灵敏度测试	414
12.2.12	邻信道抑制测试	415
12.2.13	P1dB 压缩测试	415
12.2.14	IP3 测试	416
12.2.15	无杂散动态范围测试	416
12.2.16	镜像抑制测试	417
12.2.17	频率稳定度测试	417
12.2.18	最小可辨识信号测试	418
12.2.19	NxM 激励测试	418
12.2.20	锁相环响应测试	418
12.2.21	VCO 牵引测试	418
12.2.22	辐射输出功率测试	419

808	12.2.23 整机综合测试	420
第 13 章	电磁干扰控制和印制电路板设计	423
056	13.1 电磁干扰	423
181	13.1.1 引言	423
181	13.1.2 电磁干扰的抑制	424
181	13.2 印制电路板设计	427
491	13.2.1 引言	427
742	13.2.2 印制电路板材料	427
882	13.2.3 印制电路板结构	429
882	13.2.4 印制电路板的设计考虑	431
481	13.2.5 各种电路的印制电路板设计	439
002	13.2.6 印制电路板的制作文档	443
552	13.3 RF 屏蔽	444
402	13.3.1 引言	444
004	13.3.2 RF 屏蔽谐振	446
471	13.4 散热问题	447
401	13.5 样机	448
401	13.5.1 引言	448
401	13.5.2 样机的考虑细则	448
第 14 章	无线系统若干热点	450
201	14.1 软件无线电	450
801	14.1.1 引言	450
011	14.1.2 软件无线电设计	450
011	14.2 直接变换接收机	451
301	14.2.1 引言	451
011	14.2.2 直接变换的有关问题	452
511	14.3 混合电路	453
711	14.3.1 引言	453
711	14.3.2 混合电路装配	453
411	14.3.3 混合电路 PCB 材料	454
411	14.4 RF 连接器	454
411	14.4.1 引言	454
411	14.4.2 连接器类型	455
411	14.5 美国联邦通信委员会设备授权	455
711	14.5.1 引言	455
011	14.5.2 FCC 设备法规	455
	附录 运算规则	458
	术语表	460
	参考文献	476