

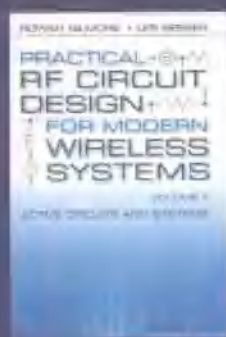
国外电子与通信教材系列

现代无线系统 射频电路实用设计

卷 II 有源电路与系统

Practical RF Circuit Design for
Modern Wireless Systems

Volume II: Active Circuits and Systems



[美] Rowan Gilmore 著
Les Besser

杨芳 翁木云 等译



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

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

现代无线系统射频电路实用设计

卷 II: 有源电路与系统

Practical RF Circuit Design for Modern Wireless Systems Volume II: Active Circuits and Systems

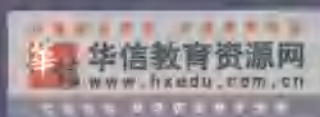
本书特色

- 这是一套具有权威性、高度实用性的工具书,其中第二卷的内容涵盖了有源及非线性电路,并介绍了 RF 电路和系统设计中的高级论题。
- 基于作者在世界各地讲授的大量著名的 RF 设计课程,本书从介绍有源线性电路和 RF 稳定性分析开始,讲述了低噪声和小信号宽带放大器设计。同时对现代 RF 器件及其建模做出综述,探究像谐波平衡这样的非线性电路仿真技术,并始终用大量的图示来说明有源电路设计中现代 CAD 工具的使用方法。
- 工程师们通过在高功率 RF 晶体管放大器、振荡器、混频器和倍频器应用这些非线性设计技术,然后再去学习理论,会对器件的工作性能有个直观的理解。
- 即使是最有经验的 RF 设计师,也会从这本具有独特资源的书中获得对电路工作性能新鲜、直观的洞察力。

ISBN 7-121-03296-1



9 787121 032967 >



责任编辑:雷洪勤
责任美编:毛惠庚

本书贴有激光防伪标志,凡没有防伪标志者,属盗版图书

ISBN 7-121-03296-1 定价:39.00 元

国外电子与通信教材系列

现代无线系统射频电路实用设计 ——卷Ⅱ：有源电路与系统

**Practical RF Circuit Design for Modern Wireless Systems
Volume II : Active Circuits and Systems**

[美] Rowan Gilmore, Les Besser 著

杨 芳 翁木云 等译

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书集作者 40 年从事 RF 电路和系统设计工作及授课经验于一体。涵盖有源及非线性电路，并介绍了 RF 电路和系统设计中的高级论题。全书共分 8 章，依次为线性放大器常规设计、线性低噪声放大器、有源 RF 器件及其模型、非线性电路仿真技术、高功率 RF 晶体管放大器设计、振荡器、混频器与倍频器和无线系统应用。每章后面附有习题和参考书。

本书可作为相关专业的高年级本科生和研究生教材或参考书，也可作为工厂和研究部门的有关科技人员在应用设计时参考。

©2003 ARTECH HOUSE, INC.

685 Canton Street, Norwood, MA 02062.

本书中文翻译版专有出版权由 Artech House Inc. 授予电子工业出版社，未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

版权贸易合同登记号 图字：01-2004-4148

图书在版编目 (CIP) 数据

现代无线系统射频电路实用设计. 卷 II, 有源电路与系统 / (美) 吉尔摩 (Gilmore, R.), (美) 贝斯 (Besser, L.) 著; 杨芳, 翁木云等译. —北京: 电子工业出版社, 2006.11

(国外电子与通信教材系列)

书名原文: Practical RF Circuit Design for Modern Wireless Systems Volume II: Active Circuits and Systems

ISBN 7-121-03296-1

I. 现… II. ①吉…②贝…③杨…④翁… III. 射频电路—电路设计 IV. TN710.02

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 122343 号

责任编辑: 雷洪勤 特约编辑: 王 崧

印 刷: 北京市顺义兴华印刷厂

装 订: 三河市双峰印刷装订有限公司

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: 24.75 字数: 634 千字

印 次: 2006 年 11 月第 1 次印刷

印 数: 5 000 册 定价: 39.00 元

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, 联系电话: (010) 68279077; 邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltts@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和自由组合使用。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。

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 北京邮电大学校长、教授、博士生导师
杨千里 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

近年来，随着通信技术的迅猛发展，射频和微波电路已得到广泛应用，对从事射频和微波电路设计的人才需求很大。但国内这方面注重实用的参考教材比较少。本书是 Rowan Gilmore 和 Les Besser 博士为那些对 RF 电路设计与应用有更高要求的研究生和工程师编著的，其中凝聚了作者几十年的工作和授课经验，具有权威性和实用性。

本书从介绍有源线性电路和 RF 稳定性分析开始，讲述了低噪声和小信号宽带放大器设计。然后对现代 RF 器件及其建模做出综述，探究像谐波平衡这样的非线性电路仿真技术，始终用大量的图示来说明有源电路设计中的现代 CAD 工具使用方法，并用实际的元件使读者增强对所讨论主题的理解。通过在高功率 RF 晶体管放大器、振荡器、混频器和倍频器应用这些非线性设计技术，然后再去学习理论，有助于读者对器件的工作性能有直观的理解。书中还讲述了各种有源和无源直流偏置的方法，侧重于它们在 RF 电路中的应用。最后给出了一个无线芯片组的设计。

本书的突出特点在于始终紧扣如何理解微波和 RF 电路、如何培养直觉洞察力以及如何将其应用于实际工作中这一主题。相信不论是学生还是从业工程师，都能够从本书中获得有益的知识。

全书共分 8 章，其中第 1、2、3、4 和 7 章由杨芳翻译，第 5 和 6 章由翁木云翻译，第 8 章由李波翻译，全书由杨芳统稿，曾越胜审校。刘芸江参加了部分译文的讨论修改工作，硕士研究生卞瑜作了大量的文字及图表工作，在此一并表示感谢。

由于译者水平有限，译文中必定有错误不当之处，敬请广大读者批评指正。

译者

前 言

本书是一本普及型教材。

当我们在书店的书架上看到一排排充满复杂数学方程式的工程类图书时，也许会问，对于那些没有高学位的人，是否有一本他们能读懂的关于微波和 RF 学科的教科书。作者相信会有这样的教科书。一本普及型教材的目的不仅要能够吸引飞速发展的生产部门的实际工作者，同时也要能够吸引高等学府里从事学术研究的人。作者希望读者能从本书中获得有益于你的教学工作或提高你自身的知识。

本书的读者对象主要是从业工程师和即将成为工程师的人。当今时代，有谁能够承受不坚持学习的代价？不论你是在校最后一年的大学生，或者是在工业部门刚刚接手一项 RF 设计任务的工程师，还是经验丰富的微波设计师，我们希望你都能够从本书中获得有益的知识。以我们写作本书的经验，即使你是微波或 RF 行业经验丰富的权威，仍然会有不知其所以然的地方。如果你的确没有从本书中获得你所需要的东西，那么至少可以保证，这些年来你确实没有落伍。

我们并非建议读者将其他讲述半导体传递方程、格林函数以及关于滤波器设计的复杂数学的优秀教科书抛在一边，而恰恰是应该努力掌握这些相互关联的知识。我们并不是暗示任何不应用复杂代数知识的人都可以成为高级 RF 电路和系统设计师，这一点希望读者不要产生误解。然而，我们也深刻认识到，读者以前课程中学到的那么多的数学内容不是必需的。

本书和卷 I 是 40 年授课经验的积累，学员是遍及世界各地的成千上万的从业电子工程师。逐渐地，我们扩展了课程的内容，并且摸索出将基本概念灌输给学生的最通俗的方法。我们经常吃惊地发现，大多数情况下，我们的学生对权威地位、学术知识一般不甚感兴趣，他们感兴趣的往往是如何理解微波和 RF 电路、如何培养直觉洞察力以及如何将其应用于他们的实际工作中。作者希望本书能紧扣这一主题。

本书并不是写给专家的，书中尽量省略了关于专业能手方面的内容（这些内容的确太多）。在每一次课程的开始，我们都告诉学生，如果他们在过去的一年里为设计预矫正电路而研究器件的互调制性质，那么他们很可能就是世界上在这一领域内少数专家中的一员，而且有些东西我们很可能还要请教他们。虽然本书旨在为读者提供和培养成为专家所必需的背景知识和洞察力，但并不是一定要引导读者艰苦地成为一名专家。本书关注于离散电路和离散电路设计，而不涉及 IC 设计。作者认为，只有离散设计技术才能应用于集成电路。书中有意避开 IC 设计，因此许多有意义的专题只好割爱，如 RC 或 AGC 振荡器、复杂偏置技术等，而锁相环这样的集成系统书中也没有涉及。所有这些有意义的专题在其他专家技能教科书中都有所涵盖。也许某一天本系列的卷 III 也会试图简化上述专题。

本书和卷 I 可作为大学本科电子工程专业最后一年的“应用 RF 工程”的教科书，或作为硕士研究生课程作业的阅读材料，或者作为具有同等水平工程师的参考资料。本书可作为人学两个学期课程的教材。作者假设学生已经掌握了矢量、电磁学、傅里叶变换、电路分析以及半导体等基本理论。为保险起见，卷 I 中第 1 章和第 2 章作为必要的基础总结了大部分

基本原理，我们建议后续章节的顺序可作为授课的顺序。根据我们的授课经验，初始预备课程之后，卷 I 第 3 章开始的系统内容有助于激发学生学习其他部分的兴趣。第 3 章包括无线电技术的简单应用，它能使学生较早具有成就感并且愿意深入钻研后续内容。我们在本卷末尾有意呼应本卷开始的关于无线电的内容，完成一个循环，但此时学生已经深入掌握了大量的技术。最后一章要求学生在自己查资料和课堂教学的基础上，完成一个无线电系统及其部分集成电路的样机设计。这种设计是对学生的一种很好的训练，学生可在一学年的时间内逐步完成。本书中间部分讲述了所有重要的 RF 技术，包括阻抗匹配、器件特性描述和建模、放大器、振荡器以及混频器等。学生一旦掌握了组建用于增益、衰减、频率变换和振荡等用途的高速单元电路的技术，就能够组建几乎任何 RF 部件。

与其他教材不同之处在于本书集中讨论了关于设计的系统层面上的问题。就好比是在寻找森林而不是具体的树木，虽然我们发现了许多不同的绿色树木，并且还花费大量时间研究树叶和树干。我们假设学生掌握了基本的农业知识，了解土壤、雨水、太阳等的作用。由于放大这一性质是最基础的性质，因此介绍得非常详细，但我们并未集中讨论其他某一特殊的专题。我们借助放大这一性质学习器件、仿真、分立元件、性质描述、阻抗匹配、稳定性、增益和功率以及非线性工作等。我们也花了大量篇幅讲述许多应用仿真器说明每一棵树的例子，并且鼓励学生自己动手继续深入。我们的目的是使学生学完本课程后，有能力计划和种植属于他或她自己的森林，并且怀着极大的兴趣培育它成长。

贯穿全书，我们强调计算机辅助设计（CAD）技术的重要性，并鼓励学生在平时作业中尽可能多地应用它，同时我们也极力反对那种不是首先得到合理的初始估计和对输出结果的直观感受，而是盲目优化的观点。尽管当前的 CAD 工具非常强大，以至于有时能够立即解决某些简单的问题，但是这种对所分析的电路或系统的基本原理不求甚解而仅依赖于优化技术的做法难免要导致失败。在深入理解 RF 基本概念的基础上，结合 CAD 技术与传统的工程工具才是通向成功的最使路线。

尽管本书倾向于保留那些现代的、比最近发表在学术期刊上的结果更有助于理解基本问题的成熟技术，但书中包含的技术内容有些是成熟的，有些则仍处于继续发展的水平。我们相信最优秀的教科书都是新近完成的，其中讲述的基本原理就好像与新技术一同出现那样，能够应用于所有最新的技术进展，而不是在技术发展过程中显得那样陈旧。我们在授课过程中曾努力做到这一点，我们希望通过将授课内容的核心浓缩在本书中后也能达到这一目的。

致 谢

与其他许多著作一样，本书也取材于授课讲义，我们在 Besser 协会和欧洲 CEI 讲授的应用 RF 技术 I、应用 RF 技术 II 以及应用无线电与微波技术等课程是本书的主要素材。本书以对课程要求更高的研究生、从业工程师为授课对象，这是不同于其他类似著作的显著之处。我们讲授上述课程的过程中得到了业界著名人士的帮助，他们协助整理讲义，当然还有本书。尤其是 Ed Niehenke 和 Alan Podell，他们在过去的几年里，在本书的规划、结构和内容整理等方面为我们提供了大量帮助。他们对本书的贡献有时不是那么直接，但却是多方面的，尤其是对于本卷。Besser 协会的其他教师如 Rick Fornes、Steve Hamilton 和 Lynne Olsen 提出了许多有益的建议和改进意见。Giora Goldberg、Bob Morrow 和 Irving Kalet 做出的专业性很强的评论也丰富了本书的内容。

我们受惠于许多 CAD 销售商，他们慷慨地允许我们在本书和授课过程中使用他们的产品。尤其是 Applied Wave Research 的非常专业和热心的职员给予了我们许多的帮助。AWR 工程部的副总经理 Dane Collins 以及支持小组经常不厌其烦地帮助我们。AWR CTO 的 Steve Maas 在技术方面也给予了帮助。

我们还要感谢 Agilent Technologies 的 Bill Brisges、Joe Civello、Danielle Flint、Ian Piper、Sid seward 和 Al Ward，他们不仅提供给我们关于器件和电路的信息，还提供软件，使本书保持了实用性的特点。Florida 大学的 Bob Stengle 和 Bill Eisenstadt 在混合模式 S 参数技术方面给予了我们宝贵的支持，因为关于此方面很少有公开发表的内容。

Miami 大学的 Bill Gonzalez 也对本书提出了许多有益的建议和改进意见。

我们还得到了许多其他人在设计和 CAD 信息方面给予的帮助，他们是：Motorola 的 Rich Carlson，Ansoft 的 Aki Nakatani，Agilent Technologies 的 Mike Meehan，Sonnet 的 Shawn Carpenter，Jim Rautio 和 Volker Muehlhaus，以及作者以前的同事 Peter Sturzu，我们对他们的热心帮助表示感谢和赞赏。

一些半导体制造商为我们提供了器件信息和图表，我们也应该对他们表达我们的感激之情，如 Agilent、Analog Device、Anadigics、California Eastern、IBM、Infineon、M/A-COM、Maxim、Motorola、Peregrine 和 Philips。下列公司的员工为我们提供了他们的数据表格和器件数据，这些公司是 ATC、Coilcraft、Maurly、Microwave、Modelithics 和 Murata。

Besser Associates 的同事 Jeff Lange 和 Annie Wong 也给予了我们帮助。Rex Frobenius 不辞辛苦地帮助纠正错误、提出改正意见，还帮助绘制了大量的插图。Les 的女儿 Daphne 以她专业的绘画水平也给我们绘制了许多插图。我们还要感谢 Les 的儿子 Kent、女儿 Nanci 为本书做的校对工作以及所提出的有益建议。

Artech House 的员工也为本书的诞生做出了不懈的努力，如 Mark Walsh、Barbara Lovenvirth、Rebecca Allendorf、Judi Stone 和 Darrell Judd 在地球的另一面与本书的两位作者共同指定本书的写作风格并做了许多额外的工作。由于他们的努力，我们才能达到我们的目的，在此向他们表示感谢。本书的评论者们帮助我们修订了部分章节，并且在在我们犯糊涂时帮助澄清了一些论点，当我们在正确的道路上时，他们给予了我们鼓励。感谢他们让我们在

科学面前做诚实的人。

我们向来自不同国家的学生表示我们的感激之情，他们对我们的授课内容提出了批评与建议，他们的反馈意见有助于我们调整讲课的方式、精选例题和保持实用的风格。

最后非常感谢我们的家人，多少个星期我们只顾以电脑为伴，忽略了他们。写一部两卷本的著作要花费多长的时间一定有一个基本惯例，我们没有理会他人的类似经验，而是怀着6个月左右的计划开始了写作。事实证明，6个月远远不够。后来，我们终于结束了每天18小时的思考、写作、讨论、模拟和绘图（绘图时要保持安静，不时还要重绘）。我们的家人忍受了这一切，对此我们深感愧疚。

目 录

第 1 章 线性射频放大器设计——常规设计	1
1.1 引言	1
1.2 功率增益定义	2
1.3 中和	4
1.4 单向转换功率增益	5
1.4.1 单向化设计误差因子	6
1.4.2 举例：单向增益计算	8
1.4.3 带有单个匹配网络的放大器设计	8
1.4.4 单向化等增益圆	10
1.4.5 举例：单边放大器设计	11
1.5 RF 电路稳定性判定	14
1.5.1 RF 振荡的原因	15
1.5.2 源和负载终端为任意值的稳定性分析	19
1.5.3 二端口稳定性考虑	21
1.5.4 稳定性判别圆	24
1.5.5 绝对稳定的图解形式	27
1.5.6 潜在不稳定圆的图解形式	28
1.5.7 关于多级系统的注意事项	29
1.6 保持有源二端口稳定	31
1.6.1 器件输入端的最小损耗电阻	32
1.6.2 宽带稳定性考虑	33
1.7 双极晶体管的稳定	34
1.7.1 检测无耗反馈的影响	34
1.7.2 器件稳定	35
1.8 直流偏置技术	41
1.8.1 无源直流偏置网络	42
1.8.2 有源直流偏置电路	44
1.8.3 RF 电路的直流偏压伺服	44
1.8.4 直流偏置电路仿真	45
1.8.5 直流偏置网络的滤波	48
1.9 统计和最坏情形分析	48
1.10 线路布局考虑	49
1.11 小结	51
1.12 习题	51

参考文献	52
选读参考文献	53
第 2 章 线性低噪声放大器	55
2.1 简介	55
2.2 最大小信号增益双向 RF 放大器设计	55
2.2.1 举例: 最大增益 G_{MAX} 放大器设计	58
2.3 多级放大器	62
2.3.1 多级阻抗匹配放大器的级联	62
2.3.2 直接阻抗匹配的级联放大器	63
2.3.3 级联放大器的输出功率和阻抗匹配进一步考虑	65
2.4 最大线性输出功率的工作功率增益设计	66
2.4.1 工作功率增益设计要点	67
2.4.2 G_F 与 P_{OUT} 之间的折中考虑	68
2.4.3 稳定性考虑	68
2.4.4 举例: 对于最大线性输出功率的工作功率增益设计	69
2.4.5 输出匹配考虑	71
2.5 RF 电路的噪声	71
2.5.1 RF 系统噪声源的回顾	72
2.5.2 二端口噪声参数定义	74
2.6 资用功率增益设计法	75
2.6.1 资用功率增益设计要点	76
2.6.2 低噪声放大器设计考虑	77
2.6.3 举例: 一个 1.9GHz 低噪声放大器的单端设计	77
2.6.4 平衡放大器	80
2.6.5 举例: 在 1.7~2.3GHz 频率范围内设计一个平衡 LNA	81
2.7 不同放大器设计比较及基于 Smith 圆图的辅助图解设计	85
2.8 宽带放大器	87
2.8.1 电抗匹配/失配法	87
2.8.2 输入和/或输出端口的有耗失配	88
2.8.3 放大器与均衡器的组合	91
2.8.4 反馈放大器	91
2.8.5 分布式放大器	99
2.9 小结	100
2.10 习题	100
参考文献	101
选读参考文献	102
第 3 章 有源 RF 器件及其模型	103
3.1 二极管模型	103

3.2 二端口器件模型	104
3.2.1 二端口 RF 器件的输出端	104
3.2.2 双极晶体管	107
3.2.3 异质结双极晶体管	119
3.2.4 GaAs 金属半导体场效应晶体管 (MESFET)	121
3.2.5 高电子迁移率晶体管	125
3.2.6 硅 LDMOS 和 CMOS 技术	127
习题	129
参考文献	129
第 4 章 非线性电路仿真技术	131
4.1 非线性电路模拟器分类	131
4.1.1 分析法	131
4.1.2 时域法	131
4.1.3 时-频域混合技术——谐波平衡法	133
4.1.4 频域技术	135
4.2 谐波平衡法	136
4.3 振荡器的谐波平衡分析	139
4.3.1 振荡器探测分析法	140
4.3.2 基于器件和谐振负载反射系数的振荡器分析	140
4.3.3 基于定向耦合器测量开路增益的振荡器分析	144
参考文献	145
第 5 章 高功率 RF 晶体管放大器设计	146
5.1 非线性概念	146
5.1.1 一些非线性现象	148
5.2 准线性功率放大器设计	150
5.2.1 放大器负载线	150
5.2.2 负载牵引方法	156
5.3 放大器的种类	162
5.3.1 A 类放大器	163
5.3.2 B 类放大器	166
5.3.3 F 类放大器	174
5.3.4 A 类、B 类、F 类和其他工作模式之比较	178
5.3.5 开关模式放大器	182
5.3.6 级联功率放大器设计	187
5.4 功率放大器设计实例	189
5.4.1 晶体管的选择	189
5.4.2 晶体管特性	190
5.4.3 器件的输入和输出匹配	193

5.4.4	谐波调谐举例	201
5.5	偏置条件	202
5.5.1	在输入端的偏置变化	202
5.5.2	输出的偏置变化	204
5.5.3	对功率器件偏置的考虑	206
5.6	失真的减少	208
5.6.1	放大器线性的重要性	209
5.6.2	工作放大器回退	211
5.6.3	预失真	211
5.6.4	前馈抵消	215
5.6.5	器件的改进	216
5.6.6	失真的系统级减小	221
	习题	222
	参考文献	226
第6章	振荡器	230
6.1	振荡器的设计原理	230
6.1.1	双端口振荡器设计方法	230
6.1.2	单端口振荡器设计方法	239
6.1.3	晶体管振荡器的结构	255
6.1.4	特征化振荡器的相位噪声	267
6.2	振荡器设计实例	275
6.2.1	45.455MHz Colpitts 晶体振荡器设计	275
6.2.2	设计一个 3.7~4.2GHz 压控振荡器	279
	习题	293
	参考文献	294
第7章	混频器与倍频器	296
7.1	混频器概述及其在系统中的应用	296
7.2	二极管混频器及其拓扑	302
7.2.1	单端混频器	303
7.2.2	单平衡混频器	304
7.2.3	双平衡混频器	308
7.2.4	混频器中的镜像问题	311
7.2.5	混频器的谐波成分	315
7.3	晶体管混频器的设计	317
7.3.1	有源晶体管混频器	318
7.3.2	阻性 FET 混频器	334
7.3.3	双栅 FET 混频器	338
7.3.4	混频器比较	342

7.4 倍频器概述	343
7.4.1 二次倍频器	344
7.4.2 任意频率的倍频器	346
习题	347
参考文献	347
第 8 章 系统电路——无线系统应用	349
8.1 移动电话系统	349
8.1.1 第二代移动通信系统	349
8.1.2 第三代移动通信系统	351
8.2 软件无线电	353
8.2.1 RF 数字处理	353
8.2.2 宽带 IF 数字处理	355
8.2.3 基带数字处理（直接转换）	355
8.2.4 与软件无线电相关的收发信机问题	356
8.3 1.9GHz 无线集成电路：设计概述	357
8.3.1 用于 PHS 的空中接口规范	357
8.3.2 部件规范	359
8.3.3 部件设计	360
8.4 系统集成电路概述	365
8.4.1 RF 接收机前端	365
8.4.2 RF 上变频器和发射机驱动放大器	368
8.4.3 收发信机和完全的无线解决方案	370
8.4.4 功率放大器模块	373
8.5 结论	374
参考文献	374
附录	375
基本公式汇总 1	375
基本公式汇总 2	376