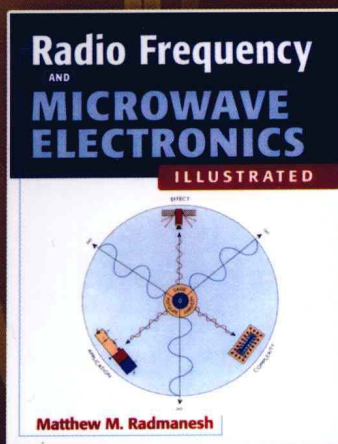


国外电子与通信教材系列

PEARSON

# 射频与微波电子学

Radio Frequency  
and Microwave Electronics Illustrated



[美] Matthew M. Radmanesh 著

顾继慧 李 鸣 译

王宝发 主审



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

# 射频与微波电子学

Radio Frequency and Microwave Electronics Illustrated

[美] Matthew M. Radmanesh 著

顾继慧 李 鸣 译

王宝发 主审

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本书主要内容分五部分共21章。第一部分基础知识,包括科学和工程学的基本概念,电学和电子工程学中的基本概念,电路数学基础,直流和低频电路的概念;第二部分波在网络中的传输,包括射频和微波的基本概念与应用,射频电子学的概念,波传播中的基本概念,二端口射频/微波网络的电路表示;第三部分无源电路的设计,包括Smith圆图,Smith圆图的应用,匹配网络的设计;第四部分有源网络中的基本考虑,包括有源网络的稳定性,放大器的增益,有源网络的噪声;第五部分有源网络:线性与非线性设计,包括射频/微波放大器小信号设计、大信号设计,射频/微波振荡器的设计,射频/微波频率转换器之整流器和检波器设计及混频器设计,射频/微波控制电路的设计,射频/微波集成电路设计。

本书可作为我国高等院校电子工程、通信工程类本科生和研究生的教材,也可供相关科研工作者及工程技术人员参考。

Authorized translation from the English language edition, entitled *Radio Frequency and Microwave Electronics Illustrated* 0-13-027958-7 by Matthew M. Radmanesh, published by Pearson Education, Inc., publishing as Prentice Hall, PTR, Copyright © 2001.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission from Pearson Education, Inc.

Chinese Simplified language edition published by Pearson Education Asia Ltd. And Publishing House of Electronics Industry, Copyright © 2012.

本书简体中文版由Pearson Education培生教育出版亚洲有限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。

本书简体中文版贴有Pearson Education培生教育出版集团激光防伪标签,无标签者不得销售。

版权贸易合同登记号 图字:01-2011-7600

### 图书在版编目(CIP)数据

射频与微波电子学/(美)拉德马内斯(Radmanesh, M. M)著;顾继慧,李鸣译.

北京:电子工业出版社,2012.1

(国外电子与通信教材系列)

书名原文:Radio Frequency and Microwave Electronics Illustrated

ISBN 978-7-121-15309-9

I. ①射… II. ①拉… ②顾… ③李… III. ①射频电路—高等学校—教材 ②微波电子学—高等学校—教材

IV. ①TN710 ②TN015

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第244195号

策划编辑:谭海平

责任编辑:谭海平 特约编辑:王 崧

印 刷: 北京京师印务有限公司

装 订:

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:30.75 字数:840千字

印 次:2012年1月第1次印刷

定 价:79.00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,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zts@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”。

为作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<br>杨千里 | 北京邮电大学校长、教授、博士生导师<br>总参通信部副部长，中国电子学会会士、副理事长<br>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<br>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<br>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<br>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<br>计算机与信息技术学院院长、信息科学研究所所长<br>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<br>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<br>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<br>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<br>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<br>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<br>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<br>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<br>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  |

# 转版说明

本书的英文原版由 Prentice Hall (Pearson Education 旗下出版公司) 于 2000 年 12 月出版。2003 年 8 月科学出版社与 Pearson Education (培生教育出版集团) 签订翻译合同, 并于 2006 年 3 月出版了本书的简体中文版。2011 年, 由于翻译出版合同到期, Pearson Education 与科学出版社的合同终止。

电子工业出版社曾于 2002 年 2 月出版了该书原著的影印版, 并得到了广大读者的好评。由于本书在射频和微波领域的影响较大, 电子工业出版社于 2011 年与 Pearson Education 签订了该书的简体中文翻译出版合同, 并在采用原译者译稿的基础上对本书重新修订出版, 纠正原著中的一些错误与不足, 如书中排版正斜体的规定应按照国家标准统一等。

电子工业出版社  
2011 年 10 月

# 改版前言

译著《射频与微波电子学》一书自 2006 年 3 月在全国公开发行人以来, 一直备受读者欢迎和喜爱, 至今仍能陆续收到来自全国各地不同领域的读者来信, 在此译者诚挚感谢使用或参阅过本译著的广大高校师生、科技人员和射频微波爱好者, 衷心感谢科学出版社给我提供的这一良好平台和其他仍在继续的友好合作, 想当初在刚完成自己的教材写作任务后便马不停蹄地接受该书的翻译工作真有点害怕, 书太厚人太累, 但如今能不断从与读者的交流中感受到快乐使我越来越觉得所有的付出是值得的, 我会珍惜这一切, 愿与大家共勉。

非常感谢电子工业出版社给我提供了与读者交流的新平台。

此次改版纠正了原译著中的一些错误和不足。

顾继慧  
2011 年 10 月于南京

# 译者的话

本书是美国理工类本科生及研究生的基础理论课教材之一。译者通读全书后对原作者写作风格的体会为：全书内容丰富翔实，几乎囊括了从直流到微波段的方方面面；表述由浅入深，全书主要内容共 21 章 150 多节，每一章节均从基本的术语解释或定义入手，继而对其加以分析、推导、举例、注解和总结，条理清晰，易学易用；推导简明扼要，全书对所有基本公式的推导几乎仅涉及低次二项式公式、三角函数、指数函数、双曲函数、简单的矩阵运算、复数、矢量性质及直角坐标系下的矢量运算和微积分，易读易记；分析透彻实用，书中大量篇幅用于对专业名称、公式及图表物理概念的解释，帮助初学者打下扎实的基础；图表确切可信，全书配合概念的理解，共用图 560 多幅，表 30 多个，图表中所标名称、数据及点的位置与所述文字相符，并注有出处及版权所属。图表精致、真实、可信，有助于读者自学；例题、习题（全书共 130 多道例题，200 多道习题）与章节内容配合默契，难易程度适中，有助于读者对基本概念的进一步理解。

译者在翻译过程中对原文中出现的少数印刷、叙述错误及笔误、疏漏之处进行了订正，并同时兼顾了国内相关中文教材中专业术语的习惯用法（如  $\epsilon_r$  直译为“介电常数”，但中文习惯称  $\epsilon_r$  为“相对介电常数”，而称  $\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0$  为“介电常数”），以缩小中英文文字间的差异而求概念理解的统一。

全书翻译分工为：序、前言、第 1~6 章、第 8~20 章、附录 A~K 及术语表由顾继慧 (gujihui@mail.njust.edu.cn) 翻译；第 7 章、第 21 章及附录 L~M 由李鸣 (m.lee@163.com) 翻译，顾继慧统稿和校订全书。

北京航空航天大学王宝发教授仔细审阅了全部译稿，并提出了不少宝贵意见，王教授扎实而深厚的学术功底和务实的工作作风令人难忘。在此谨致以深切的谢意！

本书的翻译工作得到了南京理工大学许建中教授的大力支持和帮助，译者在此深表感谢！同时由衷地感谢参与过译稿整理工作及排版打印的老师、学生和出版社工作人员，本书的字里行间凝聚着他们的智慧和辛劳。我们将永远珍惜这一切！

由于译者水平有限，加之时间仓促，错误和不妥之处在所难免，恳请读者交流指正，共同进步。



# 序

在过去的十年中射频和微波领域经历了一场重要的变革。起初射频和微波技术主要应用于国防和军事方面，现在它已发展为一门前沿科学，是无线电通信、其他工业、医药以及商业应用中的基础技术。随着射频和微波应用的不断发展，它已成为科学和工程领域中一个普遍存在的技术，这就迫切需要在校大学生及从事实践的科学家和工程师彻底地熟悉这项技术的测量原理、电子学以及设计的基础知识。

第二次世界大战期间，射频和微波领域的标志性研究成果被运用于雷达和相关技术的发展中，自此一些相关书籍先后问世。其中最值得关注、最经典的当数 MIT Radiation Laboratory（美国麻省理工学院放射实验室）出版的系列丛书。这套丛书至今依然地位突出，因为它不仅是世界众多领衔科学家、工程师对科学和工程领域所做贡献的一个经典汇总，更是对众多从事这一领域而不为人知的科学家和工程师的纪念。自这套丛书出版后，许多关于射频和微波技术的书也相继出版。这些书既囊括了这一领域的最新成果，也提供了基于基本科学定律的严格的数学分析。然而，这些书作为大学教材和工程实践参考书使用时仍存在脱节问题，尚需读者查阅相关文献。因此需要一种教材，它可通过图例的应用而不纯粹是严格的数学分析来让研究生和从事实践的工程师掌握基本的知识。Radmanesh 博士所著的本书就是这方面的一个尝试。

该书的主要内容分为五部分共 21 章。在每章末尾都列有符号/缩略语表，并附有若干习题以测试读者对本章主要内容的理解程度，同时列有一些参考文献供进一步查阅更详细的相关主题。

第一部分包括 4 章（第 1~4 章）内容。其中第 1、2 章向读者介绍了科学和工程中的基本假设和公理，以及电气和电子工程中的基本概念和定律，它们是所有工程科学的基础，更值得注意的是，这些假设和公理从未在其他任何射频和微波书籍中出现过，所以用一定的篇幅介绍它们是非常必要的。第 3、4 章讨论了基本电路数学和低频的概念，第 3 章以基本数学概念为主，包括矢量、基本电路元件、欧姆定律及其常用形式、基尔霍夫电压和电流定律、基本网络理论以及分贝单位；第 4 章向读者介绍了晶体管电路在直流和低频下的工作特性，其分析方法为射频和微波频段晶体管电路的分析和设计提供了可靠的基础。

第二部分包括 4 章（第 5~8 章）内容。其中第 5 章介绍了射频和微波的基本概念及其应用；第 6 章介绍了射频电子学的概念；第 7 章介绍了波传播的基本概念；第 8 章主要介绍了射频和微波器件及其电路的特征。在前几章建立的概念基础之上，第 8 章中还讨论了二端口网络的概念，读者可从中了解到二端口网络的特征及其相应的网络参量的矩阵描述方法。

第三部分（第 9~11 章）介绍了阻抗匹配的概念和无源电路的设计。其中第 9 章介绍了微波工程中最实用的图表工具之一——Smith 圆图，Smith 圆图作为一个反射系数与阻抗/导纳的转换工具，可简化诸如传输线或集总元件等复杂设计问题的分析。第 10 章讨论了 Smith 圆图在三类不同电路中的应用：①以分布参数元件为主的电路，特别是传输线（TL）；②由集总参数元件组成的电路；③由分布参数和集总参数元件混合组成的电路。第 11 章在读者对 Smith 圆图的构成及其应用已有较深入理解的前提下，介绍了阻抗匹配网络的设计。

第四部分（第 12~14 章）介绍了微波放大器的设计。这部分中的各章节系统地向读者介绍了放大器的每一个重要参数。其中第 12 章介绍了双端口网络的稳定性；第 13 章介绍了放大器的增益；第 14 章介绍了放大器的噪声。

第五部分（第 15~21 章）通过对线性和非线性电路的设计举例及其应用完成了从理论到实

际设计的过渡。作为实例，第 15 章介绍了包括小信号、窄带、低噪声多级放大器的设计；第 16 章介绍了大信号、大功率放大器的设计；第 17 章介绍了运用负阻器件概念实现微波晶体管振荡器的设计；第 18 章介绍了微波整流器和检波器的设计；第 19 章介绍了微波混频器的设计；第 20 章介绍了微波控制电路，如开关、移相器和衰减器的设计。作为全书内容的综合运用，第 21 章着重讨论了射频和微波集成电路（MIC）。书中对混合集成（HMIC）和单片集成（MMIC）两类微波集成电路分别从材料、生产工艺、可靠性及各自的优点等方面给予了较详细的讨论。

本书末尾所列的一些术语有助于理解射频和微波，这对于为求精通本领域的研究者而言极具价值。附录部分提供了本书中所用的全部符号、一些物理常量、常用的数学恒等式以及常用的定律等，以供读者参考。光盘中所含的计算机辅助设计的例子提供了实际的设计数据和设计方法，读者在使用中将会发现它们非常有用。

总体来说，这本书因与先前的相关书籍相比有其独到之处而成为吸引读者的一部佳作：

（1）本书一开始所提供的一系列基本原理和公理是所有工程科学的基石，更可贵的是与其他同类书籍相比，这是独一无二的。

（2）书中对经典定律、电磁规则及其相互关系的描述，概念清晰，图文并茂。

（3）书中对麦克斯韦方程组及其解的描述避开了烦琐的数学推导，重点放在其基本概念和物理意义的叙述上，这有利于加深对射频/微波电子学的理解。

（4）本书并未像大多数射频/微波类教科书那样对低频电子学部分做过多论述，而是仅将其作为从低频到射频/微波段的自然过渡，以免造成读者知识的脱节。

（5）书中对每个首次出现的术语均做了严密而精确的定义，因此，通篇主题明确，思路清晰。另外，书中引用了大量的图解和图表，使得烦琐的内容清晰易懂。

我相信，Radmanesh 博士早已仔细琢磨过了我在序中所提及的同类文献中的不足，并给予了自己独到的补充，这正是广大研究生、专业技术人员和大学教授能从中受益并得到启迪的可贵之处。因此，这本书是射频和微波领域的一本有价值的参考书。

Asad M. Madni 博士

IEEE 会士，IEE 会士，艾奥瓦州教育学会会士，纽约科学院院士

BEI 技术公司总裁兼首席执行官

# 前 言

射频和微波工程学科的教育应在注重基本概念的基础上引导读者沿着已有的知识方向循序渐进。本书中所提供的众多基本概念远比数学和物理等工程基础科学更为基础，几乎囊括了宇宙间真理的精髓。而这些基本真理对物理世界本质的揭示比其他任何描述射频和微波的书或任何讲述科学的书籍都更加深刻。

这些基本真理构成了人类知识探索的基础，其中仅有一小部分内容（如射频和微波工程）可被验证。一旦掌握了这些基本概念，我们就能描述和很好地理解微波书籍中所用到的诸多原理。

针对大学里科学和工程研究的实情，本书作者在严格的数学分析和众多物理定律的描述方面力求简捷、透彻并加以提高。考虑再三，决定将形成现有物理科学核心的基本定律作为物理学的基础放在本书第1章中叙述。

本书在第1章中以金字塔式的图形结构哲理性地概述了全书内容。从这一“金字塔”中可见：一个有效的知识链结构就像一座金字塔。其塔尖由一系列基本原理、公理和自然定律所描述的为数不多的名词开始，它们构成了一门科学的基础，由此可构造和发展起无数的元器件、电路和系统，其应用方法近乎无限。可见，牢牢地把握住“塔尖”是至关重要的，因为它是科学中固定不变的部分，而“金字塔”的基底将随科技的发展而不断发展。

本书在紧随这一简短的介绍之后，便进入如同其他大多数高级教科书中均包含的对电子工程中基础定律和基本原理的讨论。本书将这部分内容安排在主题内容（射频和微波工程）之前，其理由是：若缺乏对这些基本概念的深入理解，将导致对电子工程基础的肤浅了解和认识，最终将导致对主题内容的严重误解和误用。

本书的写作强调基础，对每一个在正文中首次出现的术语都给予了完整的定义，这一新颖的方法是受教育界最近一次调研结果的启迪。此次调研结果表明：术语定义的不明确（即使是丝毫的不确切）都将会在读者的脑海中对教材的全面了解形成一个不可逾越的障碍，而一系列术语的误解将会阻碍读者对整个主题的掌握。最终导致读者对这一学科的厌倦甚至放弃。

作者的写作初衷是想将基础知识置于首位，以引导读者正确理解基本概念。在这一初衷下作者历经多年努力，完成了从初稿到最终定稿出版的任务。

在具体的写作过程中，作者通篇强调基础知识和基本概念的叙述，尽量避开严格而复杂的麦克斯韦方程组的数学分析，而将其思想合理地贯穿于运用简单概念进行射频和微波电路的分析和设计当中。

本书可用做高等院校微波电子工程专业高年级本科生和研究生的教材，本书对应的课程教学时间为两学期。本书也可作为从事射频和微波专业工程技术人员的参考指南。

本书的写作风格为：从最普遍的原理、引理和定律开始，由浅入深，逐章叙述，最终过渡到专业概念和应用上——各种射频和微波电路的设计。本书主要内容分为五部分共21章，各章节的先后排列次序按第1章中“金字塔”形的循序渐进的模式分布，分别为：

## 第一部分 基础知识

第1~4章构成了电子学的基础。

## 第二部分 波在网络中的传输

第5~8章提供了射频和微波学的基础、波的传输和网络特性概念。

## 第三部分 无源电路的设计

第9~11章主要介绍 Smith 圆图及其在匹配电路中的各种应用。

#### 第四部分 有源网络中的基本考虑

第 12~14 章讨论了电路设计的基本考虑。

#### 第五部分 有源网络：线性与非线性设计

第 15~21 章提供了详细的线性和非线性有源网络的分析设计方法。

每章末尾都列有本章中所用的符号，并附有若干习题，以帮助读者充分理解章节内容。全书以术语表和一些重要的附录结束，附录内容包括一些在电路分析和设计中常用的物理参量和重要数据，其中附录 L 专门提供了 HP EEsof 的“Libra/touchone” 6.1 版本软件运用计算机辅助设计技术进行一些有源网络设计的例子。

#### 致谢

作者首先要感谢那些学习过本书初稿及多次修改稿的历届学生，正是因为有了他们，才有了本书成熟的今天。作者还要感谢 Litton Guidance Center 的 Jeff Quin 先生，他对本书许多章节的定稿提供了极有价值的帮助；同时感谢 Hayes Associates 的 Lyman Hayes 先生、Edwards Air Force Base 技术部门的 Ed Skochinsky 先生和 Peter Green 的 Oskar Ulloa 先生对书中图表的设计，及 Chris Savage 先生对图形设计和排版提出的许多有价值的讨论和建议；感谢 Kimo Watanaby 先生在 Microsoft Excel 窗口环境下运用 Visual Basic 娴熟地进行了数值仿真范例的编程。另外，也非常感谢 Prentice Hall 的主编兼发行商 Bernard Goodwin 先生，他给予了许多宝贵的提示、建议和指导。最后非常感谢 Anne Trowbridge (PTR) 的良好合作和 Dmitri Nerubenko, Greg deZarn O'Hare (Benchmark Productions) 对本书出版所做的有益的组织工作。

作者也非常感谢许多同仁，尤其是 Asad Madni 博士 (CEO/COO of BET Technologies, Inc.)，他真是一位良师益友。另外，还有 E. S. Gillespie 博士 (California State University, Northridge, CA)，Harvey Endler (JPL)，Phillip Arnold (HP)，George Haddad 博士和 C. M. Chu 博士 (University of Michigan, Ann Arbor, MI)，M. Toreh 博士，H. Hizroglu 博士和 B. Guru 博士 (Kettering University, Flint, MI)，Charles Alexander 博士和 M. E. Mokari 博士 (Ohio University, Athens, OH)，在本书的撰写期间，他们为我提供了多年的支持和帮助。

最后，深深地感谢我的妻子 Jane Marie 和我的儿子 Jeremy William，在整个写作过程中他们带给了我无限欢乐。还要深深感谢我的父母 Mary 和 G. H. Radmanesh 博士，是他们给了我生命中的爱、勇气和无私的支持。

Matthew M. Radmanesh 博士  
美国加利福尼亚州立大学 Northridge 学院电气与计算机工程系  
18111 Nordhoff St., Northridge, CA 91330

# 目 录

## 第一部分 基础知识

|                            |    |                         |    |
|----------------------------|----|-------------------------|----|
| 第 1 章 科学和工程学的基本概念 .....    | 2  | 3.2 相量变换 .....          | 38 |
| 1.1 引言 .....               | 2  | 3.3 相量逆变换 .....         | 39 |
| 1.2 知识和科学的定义 .....         | 2  | 3.4 采用相量的原因 .....       | 39 |
| 1.3 科学的结构 .....            | 3  | 3.5 低频电能概念 .....        | 40 |
| 1.4 科学的基本内容 .....          | 3  | 3.6 基本电路元件 .....        | 40 |
| 1.5 基本内容的共性和相关性 .....      | 7  | 3.7 串联和并联的概念 .....      | 43 |
| 1.6 数学的作用 .....            | 16 | 3.8 阻抗概念 .....          | 43 |
| 1.7 物理科学：分类和定义 .....       | 18 | 3.9 低频电子定律 .....        | 44 |
| 1.8 小结和结论 .....            | 19 | 3.10 基本电路理论 .....       | 46 |
| 符号/缩略语表 .....              | 19 | 3.11 米勒定理 .....         | 50 |
| 习题 .....                   | 20 | 3.12 正弦稳态条件下的功率计算 ..... | 52 |
| 参考文献 .....                 | 20 | 3.13 分贝 .....           | 55 |
| 第 2 章 电学和电子工程学中的基本概念 ..... | 21 | 符号/缩略语表 .....           | 57 |
| 2.1 引言 .....               | 21 | 习题 .....                | 58 |
| 2.2 能量 .....               | 21 | 参考文献 .....              | 59 |
| 2.3 物质 .....               | 24 | 第 4 章 直流和低频电路的概念 .....  | 60 |
| 2.4 物理学中的隐含概念 .....        | 24 | 4.1 引言 .....            | 60 |
| 2.5 电子学领域 .....            | 26 | 4.2 二极管 .....           | 60 |
| 2.6 基本电量及其定义 .....         | 27 | 4.3 晶体管 .....           | 67 |
| 2.7 能量守恒原理 .....           | 32 | 4.4 双极结型晶体管 .....       | 67 |
| 2.8 麦克斯韦方程组 .....          | 32 | 4.5 场效应晶体管 .....        | 78 |
| 2.9 单位制 .....              | 34 | 4.6 交流小信号分析方法 .....     | 86 |
| 符号/缩略语表 .....              | 36 | 4.7 小结 .....            | 87 |
| 习题 .....                   | 37 | 符号/缩略语表 .....           | 87 |
| 参考文献 .....                 | 37 | 习题 .....                | 88 |
| 第 3 章 电路学数学基础 .....        | 38 | 参考文献 .....              | 90 |
| 3.1 引言 .....               | 38 |                         |    |

## 第二部分 波在网络中的传输

|                           |    |                               |     |
|---------------------------|----|-------------------------------|-----|
| 第 5 章 射频和微波的基本概念与应用 ..... | 92 | 5.5 射频/微波电路设计 .....           | 97  |
| 5.1 引言 .....              | 92 | 5.6 不变的基本原理应万变的新型<br>结构 ..... | 101 |
| 5.2 采用射频/微波的原因 .....      | 93 | 5.7 有源电路的基本方框图 .....          | 103 |
| 5.3 射频/微波的应用 .....        | 94 | 5.8 小结 .....                  | 105 |
| 5.4 射频波 .....             | 96 |                               |     |

|                          |            |                              |            |
|--------------------------|------------|------------------------------|------------|
| 符号/缩略语表                  | 106        | 7.4 行波的数学形式                  | 137        |
| 习题                       | 106        | 7.5 波的性质                     | 139        |
| 参考文献                     | 106        | 7.6 传输媒介                     | 140        |
| <b>第 6 章 射频电子学的概念</b>    | <b>107</b> | 7.7 微带线                      | 153        |
| 6.1 引言                   | 107        | 符号/缩略语表                      | 159        |
| 6.2 射频/微波信号与直流及低频交流信号的比较 | 107        | 习题                           | 159        |
| 6.3 电磁波频谱                | 109        | 参考文献                         | 160        |
| 6.4 波长和频率                | 109        | <b>第 8 章 二端口射频/微波网络的电路表示</b> | <b>161</b> |
| 6.5 基本元器件介绍              | 110        | 8.1 引言                       | 161        |
| 6.6 谐振电路                 | 116        | 8.2 低频参量                     | 161        |
| 6.7 频域中简单电路的分析           | 118        | 8.3 高频参量                     | 163        |
| 6.8 阻抗变换器                | 124        | 8.4 $S$ 参量的描述                | 164        |
| 6.9 射频电路的阻抗匹配            | 126        | 8.5 $S$ 参量的特性                | 166        |
| 6.10 三单元匹配网络             | 131        | 8.6 参考面的平移                   | 170        |
| 符号/缩略语表                  | 132        | 8.7 传输矩阵                     | 171        |
| 习题                       | 132        | 8.8 广义散射参数                   | 172        |
| 参考文献                     | 133        | 8.9 信号流程图                    | 173        |
| <b>第 7 章 波传播中的基本概念</b>   | <b>134</b> | 8.10 小结                      | 179        |
| 7.1 引言                   | 134        | 符号/缩略语表                      | 179        |
| 7.2 能量的性质                | 134        | 习题                           | 179        |
| 7.3 波的定义                 | 136        | 参考文献                         | 180        |

### 第三部分 无源电路的设计

|                            |            |                       |            |
|----------------------------|------------|-----------------------|------------|
| <b>第 9 章 SMITH 圆图</b>      | <b>182</b> | 10.3 集总参数元件电路的应用      | 207        |
| 9.1 引言                     | 182        | 10.4 福斯特电抗理论          | 213        |
| 9.2 Smith 圆图               | 182        | 符号/缩略语表               | 216        |
| 9.3 Smith 圆图的构成            | 182        | 习题                    | 216        |
| 9.4 两种 Smith 圆图的描述         | 184        | 参考文献                  | 218        |
| 9.5 Smith 圆图的周向刻度          | 187        | <b>第 11 章 匹配网络的设计</b> | <b>219</b> |
| 9.6 Smith 圆图的径向刻度          | 187        | 11.1 前言               | 219        |
| 9.7 归一化阻抗-导纳 (ZY) Smith 圆图 | 190        | 11.2 阻抗匹配的定义          | 219        |
| 符号/缩略语表                    | 191        | 11.3 匹配网络的选择          | 219        |
| 习题                         | 191        | 11.4 匹配网络的目的          | 220        |
| 参考文献                       | 191        | 11.5 集总参数元件电路的匹配网络设计  | 222        |
| <b>第 10 章 SMITH 圆图的应用</b>  | <b>193</b> | 11.6 分布参数电路匹配网络的设计    | 227        |
| 10.1 引言                    | 193        | 符号/缩略语表               | 236        |
| 10.2 分布参数电路应用              | 193        | 习题                    | 237        |
|                            |            | 参考文献                  | 238        |

## 第四部分 有源网络中的基本考虑

|                              |     |                             |     |
|------------------------------|-----|-----------------------------|-----|
| <b>第 12 章 有源网络的稳定性</b> ..... | 240 | 13.10 双向情况                  | 261 |
| 12.1 引言 .....                | 240 | 13.11 小结                    | 262 |
| 12.2 稳定准则 .....              | 241 | 符号/缩略语表                     | 262 |
| 12.3 稳定准则的图解法 .....          | 242 | 习题                          | 262 |
| 12.4 稳定准则的解析法 .....          | 244 | 参考文献                        | 264 |
| 12.5 潜在不稳定情形 .....           | 246 | <b>第 14 章 有源网络的噪声</b> ..... | 265 |
| 符号/缩略语表                      | 248 | 14.1 引言 .....               | 265 |
| 习题                           | 248 | 14.2 噪声的重要性 .....           | 265 |
| 参考文献                         | 250 | 14.3 噪声的定义 .....            | 265 |
| <b>第 13 章 放大器的增益</b> .....   | 251 | 14.4 噪声源 .....              | 266 |
| 13.1 引言 .....                | 251 | 14.5 热噪声的分析 .....           | 266 |
| 13.2 功率增益的概念 .....           | 251 | 14.6 有噪电阻的噪声模型 .....        | 267 |
| 13.3 特例: 单向晶体管 .....         | 252 | 14.7 等效噪声温度 .....           | 268 |
| 13.4 失配因子 .....              | 253 | 14.8 噪声系数的定义 .....          | 270 |
| 13.5 输入、输出电压驻波比 .....        | 254 | 14.9 级联网络的噪声系数 .....        | 272 |
| 13.6 最大增益设计 .....            | 256 | 14.10 等噪声系数圆 .....          | 275 |
| 13.7 单向情况(最大增益) .....        | 256 | 符号/缩略语表                     | 277 |
| 13.8 等增益电路(单向情况) .....       | 257 | 习题                          | 277 |
| 13.9 单向优质指数 .....            | 259 | 参考文献                        | 280 |

## 第五部分 有源网络: 线性与非线性设计

|  |     |   |     |
|--|-----|---|-----|
| <b>第 15 章 射频/微波放大器 I: 小信号设计</b> .....  | 282 | 16.5 互调分量产生的信号失真 .....                      | 321 |
| 15.1 引言 .....                          | 282 | 16.6 多级大信号放大器的设计 .....                      | 323 |
| 15.2 放大器的分类 .....                      | 282 | 符号/缩略语表                                     | 327 |
| 15.3 小信号放大器 .....                      | 283 | 习题  | 328 |
| 15.4 不同类型放大器的设计 .....                  | 285 | 参考文献  | 329 |
| 15.5 多级小信号放大器的设计 .....                 | 300 | <b>第 17 章 射频/微波振荡器的设计</b> .....             | 331 |
| 符号/缩略语表                                | 303 | 17.1 引言 .....                               | 331 |
| 习题                                     | 303 | 17.2 振荡器与放大器设计的比较 .....                     | 331 |
| 参考文献                                   | 306 | 17.3 振荡条件 .....                             | 332 |
| <b>第 16 章 射频/微波放大器 II: 大信号设计</b> ..... | 307 | 17.4 晶体管振荡器的设计 .....                        | 336 |
| 16.1 引言 .....                          | 307 | 17.5 发生器调谐网络 .....                          | 339 |
| 16.2 大功率放大器 .....                      | 307 | 符号/缩略语表                                     | 344 |
| 16.3 大信号放大器的设计 .....                   | 308 | 习题  | 345 |
| 16.4 微波功率的合成与分配技术 .....                | 314 | 参考文献  | 345 |
| 16.5 互调分量产生的信号失真 .....                 | 321 | <b>第 18 章 射频/微波频率转换器 I: 整流器和检波器设计</b> ..... | 347 |
| 16.6 多级大信号放大器的设计 .....                 | 323 | 18.1 引言 .....                               | 347 |
| 符号/缩略语表                                | 327 |   |     |
| 习题                                     | 328 |   |     |
| 参考文献                                   | 329 |   |     |

|   |            |                                  |            |
|---|------------|----------------------------------|------------|
| 18.2 二极管的小信号分析 .....                      | 348        | <b>第 20 章 射频/微波控制电路的设计 .....</b> | <b>379</b> |
| 18.3 检波器电路中的二极管应用 .....                   | 350        | 20.1 引言 .....                    | 379        |
| 18.4 检波器损耗 .....                          | 355        | 20.2 PN 结器件 .....                | 379        |
| 18.5 匹配网络对电压灵敏度的影响 .....                  | 356        | 20.3 开关结构 .....                  | 381        |
| 18.6 检波器设计 .....                          | 357        | 20.4 移相器 .....                   | 386        |
| 符号/缩略语表 .....                             | 358        | 20.5 数字移相器 .....                 | 387        |
| 习题 .....                                  | 359        | 20.6 半导体移相器 .....                | 387        |
| 参考文献 .....                                | 359        | 20.7 PIN 二极管衰减器 .....            | 392        |
| <b>第 19 章 射频/微波频率转换器 II: 混频器设计 .....</b>  | <b>360</b> | 符号/缩略语表 .....                    | 393        |
| 19.1 引言 .....                             | 360        | 习题 .....                         | 394        |
| 19.2 混频器的种类 .....                         | 361        | 参考文献 .....                       | 395        |
| 19.3 SSB 混频器的变频损耗 .....                   | 363        | <b>第 21 章 射频/微波集成电路设计 .....</b>  | <b>396</b> |
| 19.4 SSB 混频器与 DSB 混频器的比较: 变频损耗和噪声系数 ..... | 364        | 21.1 引言 .....                    | 396        |
| 19.5 单个二极管(或单端)混频器 .....                  | 366        | 21.2 微波集成电路 .....                | 396        |
| 19.6 双二极管混频器 .....                        | 370        | 21.3 MIC 材料 .....                | 397        |
| 19.7 四管混频器 .....                          | 374        | 21.4 MIC 的类型 .....               | 399        |
| 19.8 八管混频器 .....                          | 375        | 21.5 混合 MIC 与单片 MIC 的比较 .....    | 402        |
| 19.9 混频器总结 .....                          | 376        | 21.6 芯片的核算方法 .....               | 404        |
| 符号/缩略语表 .....                             | 377        | 符号/缩略语表 .....                    | 409        |
| 习题 .....                                  | 377        | 习题 .....                         | 410        |
| 参考文献 .....                                | 378        | 参考文献 .....                       | 410        |

## 第六部分 附 录

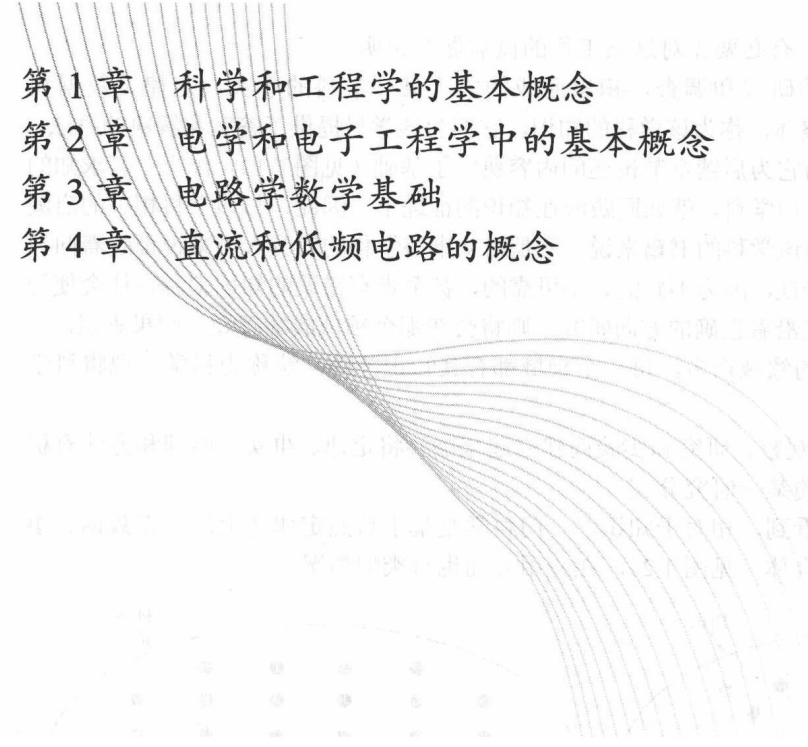
|                           |     |                          |     |
|---------------------------|-----|--------------------------|-----|
| 附录 A 符号和缩略语表 .....        | 414 | 附录 I 晶体管 Y 参量的转换 .....   | 431 |
| 附录 B 物理常量 .....           | 419 | 附录 J 常用数学公式 .....        | 432 |
| 附录 C 国际单位制 (SI) .....     | 420 | 附录 K 场效应管的直流偏置网络 .....   | 436 |
| 附录 D 单位字首 .....           | 421 | 附录 L 计算机辅助设计实例 .....     | 437 |
| 附录 E 希腊字母表 .....          | 422 | 附录 M 等增益圆和噪声系数圆的推导 ..... | 458 |
| 附录 F 电学、磁学和电磁学的经典定律 ..... | 423 | 附录 N 关于软件 .....          | 460 |
| 附录 G 材质常量和频段 .....        | 427 | 术语表 .....                | 462 |
| 附录 H 二端口网络参量的转换 .....     | 429 |                          |     |





## 第一部分

# 基础知识

- 
- 第1章 科学和工程学的基本概念
  - 第2章 电学和电子工程学中的基本概念
  - 第3章 电路学数学基础
  - 第4章 直流和低频电路的概念