

国外高校 电子电气类优秀教材

射频与微波电子学

Radio Frequency and Microwave
Electronics Illustrated

[美] M.M. 拉德马内斯 著
顾继慧 李 鸣 译
王宝发 主审



科学出版社

www.sciencep.com

国外高校电子电气类优秀教材

射频与微波电子学

〔美〕 M. M. 拉德马内斯 著

顾继慧 李 鸣 译

王宝发 主审

科学出版社

北 京

图字:01-2003-6983

内 容 简 介

本书是美国加州大学 M. M. 拉德马内斯博士撰写的 *Radio Frequency and Microwave Electronics Illustrated* 一书的中译本。本书内容丰富,编排合理,叙述清楚。本书的英文版在美国用作大学微波电子工程专业高年级和研究生的教材,授课两学期。

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概念,电学和电子工程学中的基本概念,电路学数学基础,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 I:小信号设计,射频/微波放大器 II:大信号设计,射频/微波振荡器的设计,射频/微波频率转换器 I:整流器和检波器设计,射频/微波频率转换器 II: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。

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:科学出版社,2006

书名原文:Radio Frequency and Microwave Electronics Illustrated
(国外高校电子电气类优秀教材)
ISBN 7-03-015621-8

I. 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. ①TN710②TN015

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 055775 号

责任编辑:匡 敏 于宏丽 / 责任校对:李奕莹
责任印制:黄晓靖 / 封面设计:耕者设计工作室

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新 蕾 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2006年3月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2006年3月第一次印刷 印张:45 3/4

印数:1—3 000 字数:887 000

定价:80.00元(含光盘)

(如有印装质量问题,我社负责调换<环伟>)

Authorized translation from the English language edition, entitled **RADIO FREQUENCY AND MICROWAVE ELECTRONICS ILLUSTRATED**, 1st Edition, ISBN: 0130279587 by **RADMANESH, MATTHEW M.**, 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 **SCIENCE PRESS**, Copyright © 2006

本书是其英文版的授权翻译版,书名为:射频与微波电子学,第一版,ISBN:0130279587,作者RADMANESH, MATTHEW M.,该英文版由培生教育,Prentice Hall PTR 出版,版权©2001。

版权所有。未获得培生教育的许可不能对本书进行任何形式,诸如:电子或材介,包括图片、记录或任何存储系统修改信息上的重写或改动。

中文简体版由科学出版社出版,版权©2006。

谨以此书献给为人类开启知识之源、开拓思维并创造更高境界的可持续生存空间的几代科学家、工程师和富于实践智慧的哲学家们。

译者的话

本书是美国理工类本科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 ϵ_r ，直译为“介电常数”，但中文习惯称 ϵ_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 及术语表由顾继慧翻译；第 7 章、第 21 章及附录 L~M 由李鸣翻译，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，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。

译者

E-mail: gujihui@mail.njust.edu.cn

m.lee@163.com

于南京

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《射频与微波电子学》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(Ohm)定律及其常用形式、基尔霍夫(Kirchhoff)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(RF)和微波频段晶体管电路的分析和设计提供了一个可靠的基础。

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)向读者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,它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(TLs);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、高功率放大器的设计;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射频和微波的理解,这对于力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。

总的来说,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(Maxwell's equations)及其解的描述避开了繁琐的数学推导,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作过多论述,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作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,使得繁琐的内容清晰易懂。

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, 爱荷华州教育学会会士, 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,我们就能易于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,决定将形成现存物理科学核心的基本定律作为物理科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。

本书可用作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”型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 EEsos 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以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 Window 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。

M. M. 拉德马内斯 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

2000 年 11 月

作者简介



M. M. 拉德马内斯在美国安阿伯的密歇根大学获得电机工程学硕士和博士后,曾任教于 Kettering 大学工程与管理专业,先后在休斯航空公司、Maury 微波公司及波音航空公司从事射频和微波工作,现在加利福尼亚州立大学电气与计算机工程系工作。拉德马内斯博士为 IEEE 的会士、Eta Kappa Nu 协会的会士,曾任 IEEE 微波理论与技术学会 SFV 分会主席(为期三年)。多年的微波工业和学术界生涯使他在国内外学术刊物上发表了数十篇论文。目前

他主要从事射频和微波器件及电路的设计、毫米波电路应用及集成光路等工作。拉德马内斯博士在休斯航空公司及波音航空公司工作期间均获得过 MPD 奖励,由于他的杰出工作和创新设计,他曾获得过两项有关毫米波噪声源方面的专利。

CD-ROM 简介

本书附有一张含教材中全部例题的 CD 光盘,解题所用程序为 VB 软件,以 Microsoft Excel 的形式给出。

特点:

与《射频与微波电子学》一书配套的 CD 光盘是学习本书内容及解题的有力交互工具。光盘中所含书中 90 道例题可帮助读者轻松、准确、快速地分析和设计射频、微波电路。该交互式软件的最大优点便是数学工具的生动应用。

使用方法:

执行以下步骤方可调用 CD-ROM 的内容:

(1) 直接打开 CD 光盘中的文件或在 C 盘驱动器上创建名为“E-book”的文件夹,将 CD 光盘中的内容全部拷入其中。

(2) 打开 Microsoft Excel 2000(或带 SR-1、SR-2 的 Excel 97),从 CD 光盘或 C 盘驱动器打开“E-book”文件夹。

(3) 双击“Table of Content”文件便可运行程序。或采用不打开 Microsoft Excel 而直接双击“Table of Content”文件的快捷方式。

(4) 打开“Table of Content”后单击打开“About the CD”文件。

(5) 详细阅读“About the CD”文件中的内容,若需切换回“E-book”,可

a. 按下“ALT”键,通过“TAB”键切换到“Excel”;

b. 按“Ctrl”键的同时点击“Return to Table of Content”箭头。

(6) 有关 CD-ROM 的更多信息,请参阅附录 N。

授权协议:

使用与本书配套的软件必须遵守授权协议条款。

技术支持:

Prentice 大厦不对 CD 光盘上的任何程序提供技术支持,但若 CD 光盘有损,读者可发 E-mail: disc_exchange@prehall.com,我们将负责包换。

目 录

译者的话

序

前言

第一部分 基础知识

第 1 章 科学和工程学的基本概念	3
1.1 引言	3
1.2 知识和科学的定义	3
1.3 科学的结构	5
1.4 科学的基本内容	5
1.5 基本内容的共性和相关性.....	10
1.6 数学的作用.....	26
1.7 物理科学:分类和定义	29
1.8 小结和结论.....	31
符号/缩略语表.....	32
习题	32
参考文献	33
第 2 章 电学和电子工程学中的基本概念	34
2.1 引言.....	34
2.2 能量.....	34
2.3 物质.....	39
2.4 物理学中的隐含概念.....	40
2.5 电子学领域.....	42
2.6 基本电量及其定义.....	43
2.7 能量守恒原理.....	50
2.8 麦克斯韦方程组.....	51
2.9 单位制.....	54
符号/缩略语表.....	57
习题	57

参考文献	58
第3章 电路学数学基础	59
3.1 引言	59
3.2 相量变换	60
3.3 相量逆变换	60
3.4 采用相量的原因	61
3.5 低频电能概念	62
3.6 基本电路元件	62
3.7 串联和并联的概念	66
3.8 阻抗概念	68
3.9 低频电子定律	69
3.10 基本电路理论	72
3.11 米勒定理	79
3.12 正弦稳态条件下的功率计算	82
3.13 分贝	86
符号/缩略语表	89
习题	90
参考文献	93
第4章 直流和低频电路的概念	94
4.1 引言	94
4.2 二极管	94
4.3 晶体管	105
4.4 双结型晶体管	105
4.5 场效应晶体管	121
4.6 交流小信号分析方法	134
4.7 小结	136
符号/缩略语表	136
习题	138
参考文献	141

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	145
5.1 引言	145
5.2 采用射频/微波的原因	147
5.3 射频/微波的应用	147

5.4	射频波	152
5.5	射频/微波电路设计	153
5.6	不变的基本原理应万变的新型结构	159
5.7	有源电路的基本方框图	161
5.8	小结	164
	符号/缩略语表	164
	习题	165
	参考文献	166
第6章	射频电子学的概念	167
6.1	引言	167
6.2	射频/微波信号与直流及低频交流信号的比较	167
6.3	电磁波频谱	170
6.4	波长和频率	171
6.5	基本元器件介绍	171
6.6	谐振电路	182
6.7	频域中简单电路的分析	185
6.8	阻抗变换器	195
6.9	射频电路的阻抗匹配	198
6.10	三单元匹配网络	206
	符号/缩略语表	207
	习题	208
	参考文献	209
第7章	波传播中的基本概念	210
7.1	引言	210
7.2	能量的性质	210
7.3	波的定义	213
7.4	行波的数学形式	215
7.5	波的性质	218
7.6	传输媒介	221
7.7	微带线	237
	符号/缩略语表	244
	习题	245
	参考文献	246
第8章	二端口射频/微波网络的电路表示	248
8.1	引言	248