

国外电子与通信教材系列

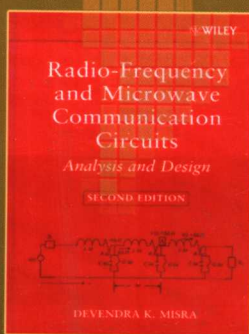


射频与微波通信电路

——分析与设计（第二版）

Radio-Frequency and Microwave
Communication Circuits

Analysis and Design, Second Edition



[美] Devendra K. Misra 著

张肇仪 徐承和 祝西里 等译

徐承和 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

2

射频与微波通信电路

—— 分析与设计

(第二版)

Radio-Frequency and Microwave
Communication Circuits

Analysis and Design

Second Edition

[美] Devendra K. Misra 著

张肇仪 徐承和 祝西里 等译

徐承和 审校

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 · BEIJING

内 容 简 介

本书在第一版的基础上对内容进行了扩展和更新。全书由13章和9个附录组成,按照从一般到具体的方式,在简略介绍通信系统、射频无线通信和微波地面通信的基础上,对所采用的射频和微波电路的设计进行了分析与讨论。

本书有两个特点:一是注重实用,书中涉及的内容很广,包括一些难懂的理论 and 复杂的数学推导,作者深入浅出地以少量的数学分析给出了一些重要的物理概念和数学公式,并且着重于分析如何把它们应用于电路设计;另一个特点是便于自学。书中包含153个例题,各章结尾共有275道课堂测验习题,可供教师们采用。

本书既可作为通信专业本科生或研究生的教材或参考书,也可作为通信领域从业人员的自学用书。

Devendra K. Misra: **Radio-Frequency and Microwave Communication Circuits: Analysis and Design, Second Edition.**
ISBN 0-471-47873-3

Copyright © 2004, John Wiley & Sons, Inc.

All Rights Reserved. Authorized translation from the English language edition published by Wiley Publishing, Inc.

No part of this book may be reproduced in any form without the written permission of Wiley Publishing, Inc.

Simplified Chinese translation edition Copyright © 2005 by Publishing House of Electronics Industry.

本书中文简体字翻译版由 Wiley Publishing, Inc 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。

版权贸易合同登记号 图字: 01-2004-5758

图书在版编目(CIP)数据

射频与微波通信电路: 分析与设计: 第2版 / (美) 米斯拉 (Misra, D. K.) 著; 张肇仪等译.

北京: 电子工业出版社, 2005.11

(国外电子与通信教材系列)

书名原文: Radio-Frequency and Microwave Communication Circuits: Analysis and Design, Second Edition

ISBN 7-121-01817-9

I. 射... II. ①米... ②张... III. ①射频电路-教材 ②微波电路-教材 IV. TN710

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第116152号

责任编辑: 周宏敏

印 刷: 北京智力达印刷有限公司

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

经 销: 各地新华书店

开 本: 787 × 1092 1/16 印张: 29.5 字数: 755千字

印 次: 2005年11月第1次印刷

定 价: 53.00元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,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。质量投诉请发邮件至 zlt@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

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。

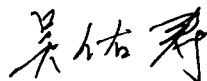
我国领导部门对教材建设一直非常重视。20世纪80年代,在原教委教材编审委员会的领导下,汇集了高等院校几百位富有教学经验的专家,编写、出版了一大批教材;很多院校还根据学校的特点和需要,陆续编写了大量的讲义和参考书。这些教材对高校的教学工作发挥了极好的作用。近年来,随着教学改革不断深入和科学技术的飞速进步,有的教材内容已比较陈旧、落后,难以适应教学的要求,特别是在电子学和通信技术发展神速、可以讲是日新月异的今天,如何适应这种情况,更是一个必须认真考虑的问题。解决这个问题,除了依靠高校的老师 and 专家撰写新的符合要求的教科书外,引进和出版一些国外优秀电子与通信教材,尤其是有选择地引进一批英文原版教材,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 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
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 教育部电子信息与电气学科教学指导委员会委员
	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、移动通信国家重点实验室主任
	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
	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委员
	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、电子与信息工程学院院长 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
	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、秘书长
	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 教育部电子信息科学与电气信息类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长
	范平志	西南交通大学教授、博士生导师、计算机与通信工程学院院长

译者序

近年来由于高新技术特别是通信技术（包括移动通信、卫星通信和光通信）和计算机技术的迅猛发展，工作频率日益提高，射频和微波电路得到了广泛的应用。无绳电话、局域网和微波炉已经进入家庭，通信和计算机领域的从业人员与日俱增。但目前我国已出版的实用性强的射频和微波电路方面的书籍还不多见。因此经电子工业出版社的大力支持，我们决定翻译此书，希望译本早日与读者见面，从而使通信专业的师生以及由其他行业转入到通信领域的从业人员有所裨益。

Devendra K.Misra 教授编著的《射频和微波通信电路——分析与设计》（第二版）（2004年版）在第一版的基础上对内容进行了扩展和更新，按照从一般到具体的方式，在简略介绍通信系统、射频无线通信和微波地面通信的基础上，对所使用的射频和微波通信电路的设计进行了分析与讨论，明确了通过各章所要达到的目的。

本书有两大特点：一是注重实用，书中涉及内容很广，包括一些难懂的理论 and 复杂的数学推导，作者深入浅出地以少量数学分析给出了一些重要的物理概念和数学公式，并且着重于分析如何把它们应用于通信电路设计；另一个特点是便于自学。书中包含 153 个例题，各章结尾共有 275 道课堂测验习题，可供教师们采用。

本书由 4 人合作翻译，不同译者在遣词用句上难免存在一些差异，但在专业名词上采用了统一的规范。书中对专业术语尽量标注了原文，以便读者查询。此外尽量使书中主要概念的术语与国内规范的译名相符，以免给读者造成不便。

全书共分 13 章和 9 个附录，其中前言、第 1 章、第 2 章以及第 9 章由徐承和教授翻译；第 3 章到第 5 章由祝西里教授翻译；第 6 章由吴德明教授翻译；第 7 章、第 8 章、第 10 章到第 13 章以及附录由张肇仪教授翻译；徐承和教授负责全书的审校工作。王长青教授、刘家祯编审参加了译文的讨论及修改工作；李力工程师参加了文字录入工作。在此表示感谢。

由于译者水平有限，译文难免会有一些不妥之处，希望广大读者给予批评指正。最后，感谢电子工业出版社对本书翻译工作的大力支持。

前 言

无线通信技术以惊人的速度持续增长，几乎每天都有新的应用的报道。除了诸如无线电广播和电视等传统的通信应用外，射频（RF）和微波也正在被应用于无绳电话、蜂窝移动通信、局域网和个人通信系统中。无钥匙进门，射频识别，在医院或疗养院中监控病人，计算机的无线鼠标和无线键盘，以及家用电器的无线网络化，这些都是应用射频技术的其他一些领域。其中某些应用传统上采用红外技术，然而射频电路由于其卓越的性能正在取而代之。在可以预见的将来，射频技术有望继续保持当前的增长率。射频和微波工程方面的这些进展需要更多的科技人员。因此，在例行课程之外，应该对从业的工程技术人员定期地开设这方面的短期课程和研修班。

本书的第二版保留了原来的基于电子电路基本教程所讲述的内容编排，同时，采纳使用过本书第一版的读者的建设性建议，已加上了新的有关电磁场的一章，从而使本书为传统的采用电磁场和电磁波概念的微波工程课程用书提供了另一种选择。换句话说，电磁场这一章可以跳过去。也就是说，本书通过电路概念来引入主题，而不是像大多数微波工程教学用书那样通过电磁场概念来引入。此外，本书开头对通信系统进行了概述，使读者可以对其中所包括的各种功能模块得到一个总体印象。

本书的这一版由 13 章和 9 个附录组成，按照从一般到具体的方式展开。本书一开始介绍了频段划分，射频和微波器件，以及在通信、雷达、工业和生物医学领域中的应用。第 5 章对波导、带状线和微带线等微波传输线进行了简述。此外还包括发射机和接收机，以及数字调制与解调技术的概述。第 2 章扼要讨论了现代无线通信系统，例如地面与卫星通信系统以及射频无线通信业务。在引入天线术语之后，叙述了有效全向辐射功率、Friis 传输公式和雷达测距方程。在这一章的最后一节中介绍了与通信系统相关联的噪声和失真。

第 3 章一开始讨论了分布电路和传输线方程解的构成。这一章介绍的主要议题是：射频电路分析，相速和群速，发送端阻抗，反射系数，回波损耗，插入损耗，特性阻抗和传播常数的实验测定，电压驻波比，以及阻抗测量。第 3 章的最后一节介绍了史密斯（Smith）圆图及其在传输线电路中的应用。第 4 章介绍了电磁场的基本规律，以及波动方程及其均匀平面波解。随后引入了边界条件和势函数，由此得出方程的解的结构。这一章还对各种形状的金属波导进行了分析。

第 5 章以串联和并联 RLC（电阻-电感-电容）电路作为开始，讨论了谐振电路。接下来的一节讲解变压器耦合电路。这一章的最后两节集中介绍传输线谐振电路和微波谐振腔。第 6 章和第 7 章讲述阻抗匹配技术。第 6 章讨论了单个电抗元件或单短截线、双短截线和集总元件的匹配技术。第 7 章致力于讨论多节传输线阻抗变换器、二项式和切比雪夫（Chebyshev）段以及阻抗渐变段。

第 8 章介绍有关二端口网络的电路参量。叙述了阻抗、导纳、混合、传输、散射参量以及网络链的散射参量，并通过实例阐明了它们的特性变化。第 9 章一开始介绍了无源滤波器电路设计的镜像参量法。随后引入插入损耗技术以合成巴特沃思（Butterworth，或称最大平坦）和切比雪夫低通滤波器。这一章还介绍了为实现高通、带通和带阻滤波器网络所采用的阻抗和频率定标技术。此外还用一节的篇幅介绍了有关微波传输线滤波器的设计。

第 10 章介绍了信号流图 (signal-flow-graph) 分析的概念, 以及电压源和无源器件的表示法, 从而使功率增益关系可以方便地得到确切的表达, 而这是第 11 章中讨论放大器设计所需要的。第 11 章一开始采用二端口网络散射参量分析稳定性问题, 随后讨论了各种放大器的设计技术。

第 12 章给出了各种振荡器电路的基本概念和设计, 简述了在频率合成器设计中的锁相环及其应用。该章最后一节介绍了用 S 参量对微波晶体管振荡器进行设计和分析。第 13 章讲述频分复用、振幅调制、射频检测、频率调制信号和混频器电路的基本原理。本书的结尾有 9 个附录, 包括: 关于对数单位 (dB、dBm、dBW、dBc 和 neper) 的讨论, 选定传输线 (同轴线、带状线和微带线) 的设计方程, 以及用于通信领域的英文缩写表。

本书具有如下特点:

- 一开始概述了频段划分、RF 和微波器件及其在各种不同领域中的应用。第 2 章讲述了通信系统, 包括地面和卫星通信系统, 无线通信业务, 天线术语, Friis 传输公式, 雷达方程和多普勒雷达。从而使学生认识到通信系统是用放大器、振荡器、混频器、滤波器等模块搭建而成的。学生的反应强有力地证明了这种由一般到具体的处理方法是卓有成效的。
- 因为假设电路课程只有一个学期, 因此本书包括了谐振电路和二端口网络的内容。而网络参量 (阻抗、导纳、混合、传输和散射矩阵) 的概念以及它们的特性则是通过例题引入的。
- 振荡器设计自成一章, 包括: 反馈概念, 哈特莱 (Hartley) 振荡器, 考毕兹 (Colpitts) 振荡器, 克拉普 (Clapp) 振荡器, 晶体振荡器, 锁相环和频率合成器, 用 S 参量设计晶体管振荡器和用三端口 S 参量描述的晶体管, 以及它们在反馈网络设计中的应用。
- 检测器和混频器自成一章, 包括: 振幅和频率调制的信号特征及它们的检测方案, 单二极管混频器, RF 检测器, 双-平衡混频器, 变频损耗, 在二极管环形混频器中的互调失真, 以及场效应晶体管混频器。
- 附录中包括: 对数单位, 选定传输线的设计方程, 以及用于通信领域的缩略术语表。
- 包含 153 个例题, 并对其一步一步地加以诠释, 因此非常适合于工程技术人员自学。
- 各章结尾共有 275 道课堂测验的习题。补充材料可供采用本书的教师们使用。

感谢

我从很多工程师和作者那里学习了这门科学, 在这里衷心地感谢他们的贡献, 由于篇幅所限难以一一列举。此外还要感谢国内外的许多书评人和教师们, 他们使用了本书的第一版并提出了一系列建设性的建议; 感谢我以前的学生们, 他们为改进本书提出了有益的建议。特别感谢在写作本书的过程中我的妻子 Ila 和儿子 Shashank 给予的支持。本书第一版的出版由于得到当时 Wiley 公司的资深编辑 Philip Meyler 及其助手的热情支持而得以实现。我很幸运能够继续得到现任编辑 Val Moliere 和 Kirsten Rohstedt 的同样支持。

Devendra K. Misra

目 录

第 1 章 引言	1
1.1 微波传输线	5
1.2 发射机和接收机体系结构	6
第 2 章 通信系统	9
2.1 地面通信	9
2.2 卫星通信	10
2.3 射频无线业务	13
2.4 天线系统	14
2.5 噪声和失真	25
推荐读物	39
习题	39
第 3 章 传输线	43
3.1 传输线的分布电路分析	43
3.2 输入阻抗	50
3.3 驻波和驻波比	60
3.4 Smith 圆图	64
推荐读物	72
习题	72
第 4 章 电磁场与波	78
4.1 电磁场的基本定律	78
4.2 波方程及均匀平面波	85
4.3 边界条件	89
4.4 垂直入射于界面的均匀平面波	92
4.5 修正的麦克斯韦方程与位函数	94
4.6 解的构成	97
4.7 金属平板波导	100
4.8 金属矩形波导	103
4.9 金属圆波导	107
推荐读物	109
习题	109

第 5 章 谐振电路	113
5.1 串联谐振电路	113
5.2 并联谐振电路	120
5.3 变压器耦合电路	122
5.4 传输线谐振电路	127
5.5 微波谐振腔	133
推荐读物	138
习题	138
第 6 章 阻抗匹配网络	141
6.1 单电抗性元件或短截线匹配网络	141
6.2 双短截线匹配网络	150
6.3 采用集总元件的匹配网络	153
推荐读物	167
习题	167
第 7 章 阻抗变换器	174
7.1 单节 $\lambda/4$ 波长变换器	174
7.2 多节 $\lambda/4$ 变换器	176
7.3 均匀分布节反射系数变换器	177
7.4 二项式变换器	181
7.5 切比雪夫变换器	184
7.6 多节阻抗变换器的精确公式和设计	190
7.7 渐变传输线	196
7.8 传输线渐变段的综合	201
7.9 无耗匹配网络的 Bode-Fano 约束条件	209
推荐读物	210
习题	210
第 8 章 二端口网络	212
8.1 阻抗参量	212
8.2 导纳参量	216
8.3 混合参量	221
8.4 传输参量	223
8.5 阻抗、导纳、链式和混合参量的转换	228
8.6 散射参量	229
8.7 从阻抗、导纳、链式和混合参量变换到散射参量或反向变换	242
8.8 链式散射参量	244
推荐读物	244
习题	244

第 9 章 滤波器设计	250
9.1 镜像参量法	250
9.2 插入损耗法	265
9.3 微波滤波器	286
推荐读物	293
习题	293
第 10 章 信号流图及其应用	295
10.1 信号流图的定义和运算	297
10.2 电压源的信号流图表示法	301
10.3 无源单端口器件的信号流图表示法	302
10.4 功率增益方程	308
推荐读物	314
习题	314
第 11 章 晶体管放大器的设计	317
11.1 稳定性判定	317
11.2 最大增益放大器的设计	322
11.3 固定增益电路	330
11.4 等噪声系数圆	344
11.5 宽带放大器	350
11.6 晶体管的小信号等效电路模型	353
11.7 晶体管的直流偏置电路	355
推荐读物	357
习题	358
第 12 章 振荡器的设计	360
12.1 反馈及基本概念	360
12.2 晶体振荡器	369
12.3 振荡器的电调谐	371
12.4 锁相环	373
12.5 频率合成器	387
12.6 单端口负阻振荡器	389
12.7 微波晶体管振荡器	392
推荐读物	403
习题	404
第 13 章 检波器和混频器	407
13.1 幅度调制	407
13.2 频率调制	416

13.3 开关型混频器	419
13.4 变频损耗	423
13.5 在二极管环混频器中的互调失真	425
13.6 FET 混频器	427
推荐读物	432
习题	432
附录 A 分贝和奈培	435
附录 B 选定的传输线特性	437
附录 C 常用的同轴线和波导的特性	441
附录 D 一些数学公式	443
附录 E 矢量恒等式	446
附录 F 一些有用的网络变换	448
附录 G 一些材料的特性	450
附录 H 常用的英文缩写	451
附录 I 物理常数	459

第 1 章 引 言

19 世纪的科学家和数学家奠定了远程通信和无线技术的基础, 这影响到现代社会的方方面面。1864 年, James C. Maxwell (麦克斯韦) 提出了电磁场的基本规律, 它不单是 Laplace (拉普拉斯)、Poisson (泊松)、Faraday (法拉第)、Gauss (高斯) 以及其他人的研究发现的总结, 而且预见到电信号可以穿过空间传播。随后 Heinrich Hertz (赫兹) 在 1887 年证实了这一发现, Guglielmo Marconi (马可尼) 在 1900 年使无线信号成功地穿越了大西洋。有兴趣的读者可以阅读期刊 *IEEE Transactions on Microwave Theory and Technique* (Vol. MTT-32, September 1984) 中关于射频和微波的历史发展的精彩论述。

为了有效地传输信息, 无线通信系统需要采用高频率信号。这种需要是由以下因素造成的。举例说, 如果天线尺寸可以与信号波长相比拟的话, 那么天线辐射更为有效。因为信号频率反比于它的波长, 因此工作在射频和微波区域的天线有更高的辐射效率。进一步说, 如果天线尺寸相对较小, 就可方便地用于移动通信。另一个使射频和微波受欢迎的因素是: 传输宽频带信息要有一个高频率的载波信号, 在单一音频信道的情况下, 该信息的带宽约为 20 kHz。如用振幅调制 (AM) 把它的信息置于一载波上, 它至少需要信号谱单边的带宽。因而, 商业 AM 广播要求两个发射台的频率隔开 10 kHz。另一方面, 如果采用频率调制 (FM) 的话, 要求的带宽大大增加。每个 FM 广播发射台为音频传送, 一般需要 200 kHz 的带宽。同样, 每个电视 (TV) 信道需要约 6 MHz 带宽来携带视频信息, 表 1.1 给出了用于音频和 TV 广播的频道。

表 1.1 用于商业广播的频道

	频道数	频率范围	波长范围
AM	107	535~1605 kHz	186.92~560.75 m
TV	2~4	54~72 MHz	4.17~5.56 m
	5~6	76~88 MHz	3.41~3.95 m
FM	100	88~108 MHz	2.78~3.41 m
TV	7~13	174~216 MHz	1.39~1.72 m
	14~83	470~890 MHz	33.7~63.83 cm

在数字传输的情况下, 一个标准的黑白电视图像是在 512×480 像元 (称为像素) 的网格上取样。显示 256 个灰度等级需要 8 比特。为了显示电视图像的运动, 每秒需取样 30 帧, 因此需要有 59 Mb/s ($512 \times 480 \times 8 \times 30 = 58\,982\,400$) 的传输速率。传送彩色图像甚至需要更高的带宽 (为 90 Mb/s 的数量级)。

无线通信技术发展得非常快, 每天都有新的应用的报道。除传统的通信应用 (诸如音频广播和电视) 之外, RF 和微波信号已被用于无绳电话、蜂窝移动通信、局域网、广域网、都市网和个人通信业务。无钥匙进门, 射频识别 (RFID), 在医院或疗养院中监控病人, 计算机的无线鼠标和键盘, 这些都是射频技术在其他领域的应用。虽然这里的某些应用传统上采用红外 (IR) 技术, 但当今的趋势更倾向于采用 RF 技术, 这是因为 RF 在许多方面优于红外技术。与 RF 不同, 红

外线需要有无阻挡视线连通。当然，RF 器件比 IR 器件要昂贵，但由于 RF 产品产量的增加，现在其价格有下降的趋势。

电磁频谱被分成很多频段，如表 1.2 所示，因此，AM 广播工作中频（MF）频段，电视的 2~12 频道工作在甚高频（VHF）频段，电视的 18~90 频道工作在超高频（UHF）频段。表 1.3 给出了在微波频率范围内各频段的名称。

表 1.2 IEEE 频段名称

频段名称	频率范围	波长范围（在自由空间）
VLF（甚低频）	3~30 kHz	10~100 km
LF（低频）	30~300 kHz	1~10 km
MF（中频）	300~3000 kHz	100 m~1 km
HF（高频）	3~30 MHz	10~100 m
VHF（甚高频）	30~300 MHz	1~10 m
UHF（特高频）	300~3000 MHz	10 cm~1 m
SHF（超高频）	3~30 GHz	1~10 cm
EHF（极高频）	30~300 GHz	0.1~1 cm

表 1.3 微波频段名称

频率范围	旧（仍广泛使用）	新（不经常使用）
500~1000 MHz	UHF	C
1~2 GHz	L	D
2~4 GHz	S	E
3~4 GHz	S	F
4~6 GHz	C	G
6~8 GHz	C	H
8~10 GHz	X	I
10~12.4 GHz	X	J
12.4~18 GHz	Ku	J
18~20 GHz	K	J
20~26.5 GHz	K	K
26.5~40 GHz	Ka	K

除了自然和人为的改变之外，大气的电特性也会影响电信号的传播。图 1.1 显示出由于大气中空气的电离化，从而形成电离层的不同层次和对流层。正如在图 1.2 (a) 和图 1.2 (b) 中所示，射频信号可以沿地面传播或经电离层反射到达接收机。这些信号可以分类为地波（ground wave）或天波（sky wave）。天波的性质与季节、白天或夜晚以及太阳辐射有关。电离层不反射微波，信号沿视线传播，如图 1.2 (c) 所示。因此，地球的曲率限制了微波通信链路的距离不能超过 50 km。增大距离的一种途径是在空中放置一个人造的反射器，称之为卫星通信系统。另一种扩大微波通信链路距离的途径是在周期间距上安放转发器（repeater），这称为地面通信系统。

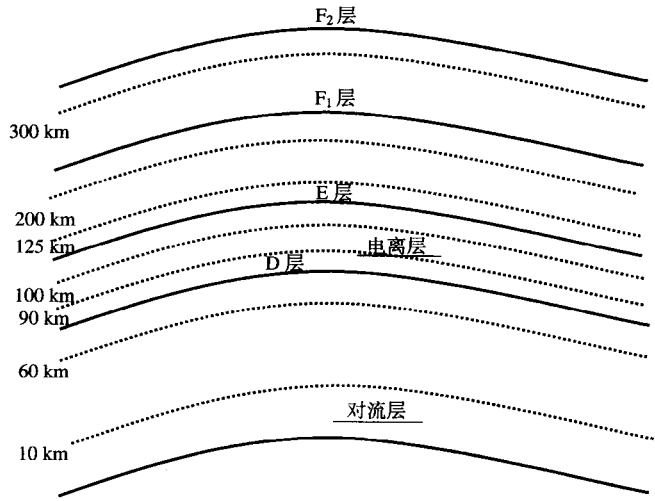


图 1.1 环绕地球的大气

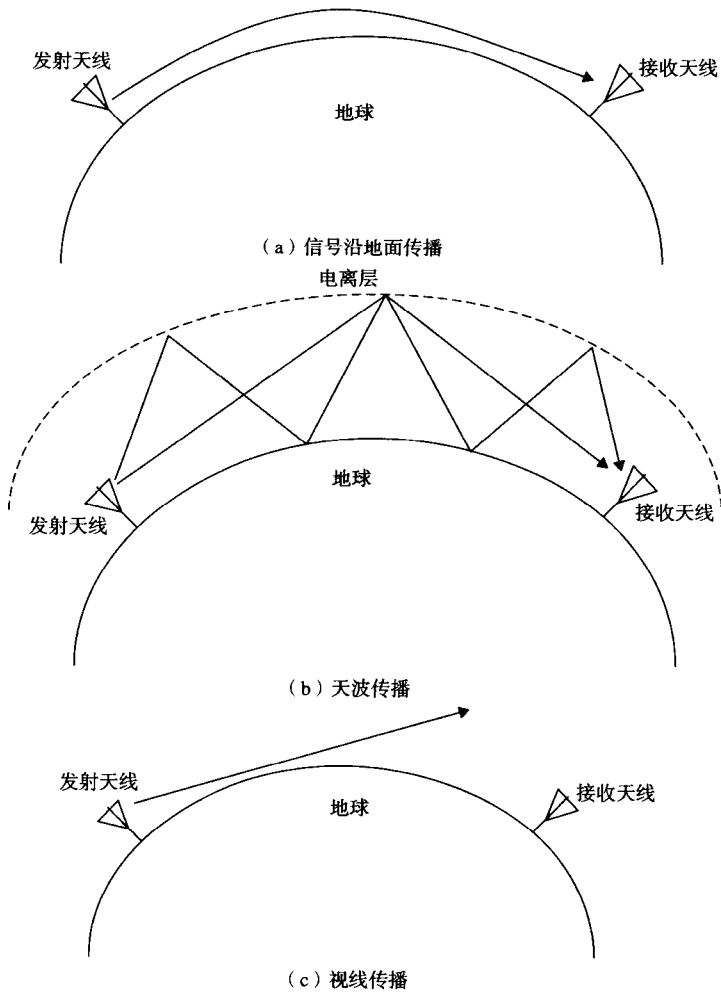


图 1.2 信号传播模式

图 1.3 和图 1.4 列出了一部分用于 RF 和微波的器件。固态器件和真空电子管一样被用做 RF 和微波电路中的有源元件，微波电子管优先应用于雷达、通信、电子对抗（ECM）和微波烹饪，它们还被用于粒子加速器、等离子体加热、材料加工和功率传输。固态器件主要用于 RF 领域和低功率微波电路中，诸如用于局域网的低功率发射机和接收机电路。固态器件的某些应用列于表 1.4 中。

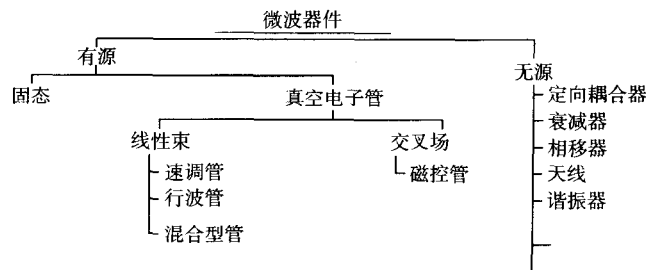


图 1.3 微波器件

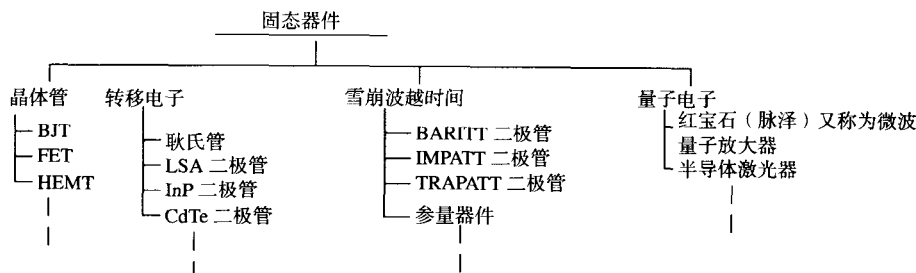


图 1.4 用于 RF 和微波频率的固态器件

表 1.4 一些微波固态器件的应用

器件	应用	优点
晶体管	用于遥测系统和相控阵雷达的 L 波段发射机；用于通信系统的发射机	低价格，低功率供电，可靠，高连续波（CW）功率输出，重量轻
转移电子器件（TED）	C-、X- 和 Ku-波段的宽带电子对抗（ECM）放大器；用于雷达系统（如交通管制）的 X- 和 Ku-波段发射机	低功率供电（12 V），低价格，重量轻，可靠，低噪声，高增益
IMPATT 二极管	毫米波通信用发射机	低功率供电，低价格，可靠，高 CW 功率，重量轻
TRAPATT 二极管	用于相控阵雷达系统的 S-波段脉冲发射机	高峰值和平均功率，可靠，低功率供电，低价格
BARITT 二极管	通信和雷达接收机中的本机振荡器	低功率供电，低价格，低噪声，可靠

图 1.5 列出了若干微波应用，除了地面和卫星通信之外，微波还被应用于雷达系统中及各种工业和医学领域。雷达的民用包括空中交通管制、导航、遥感和执法领域。其军用领域包括警戒、武器的导引以及指挥、控制和通信（C³, command, control, and communication）。射频和微波能量还被用于工业热处理和家庭烹饪，因为这种加热不利用热转移的传导机制，所以能大大改善某些产品的质量。例如，印刷过程中用于干燥油墨的热空气对纸张不利，会缩短它的寿命，而用微波