



教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会规划教材  
高等学校电子信息类专业系列教材

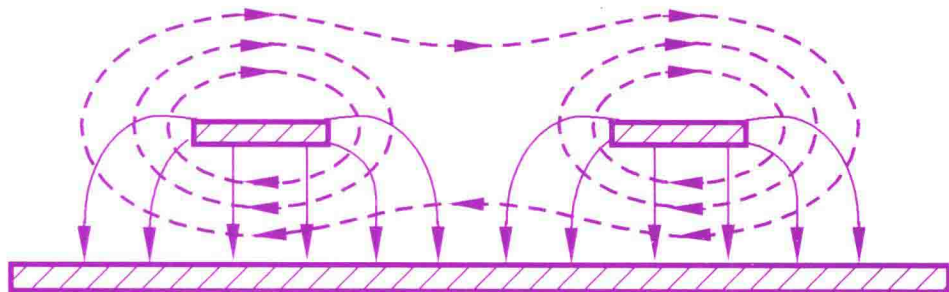
电子科学与技术

**M**icrowave Technology  
and Microwave Devices

# 微波技术与微波器件

栾秀珍 王钟葆 傅世强 房少军 编著

Luan Xiuzhen Wang Zhongbao Fu Shiqiang Fang Shaojun



清华大学出版社





教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会规划教材  
高等学校电子信息类专业系列教材

Microwave Technology and Microwave Devices

# 微波技术与微波器件

栾秀珍 王钟葆 傅世强 房少军 编著

Luan Xiuzhen Wang Zhongbao Fu Shiqiang Fang Shaojun



清华大学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书系统论述了微波技术与微波器件的基本理论及应用。本书共分10章,分别介绍了各种形式的微波传输线、基本微波元件、微波谐振腔、微波网络基础、微波定向耦合器和微波铁氧体器件,阻抗匹配电路、阻抗变换器、微波功率分配器和微波滤波器的设计方法,微波功率、频率、驻波比、波导波长、阻抗和衰减的测量方法,以及定向耦合器特性的测量方法等。

本书内容丰富,包含了微波技术的主要基础理论知识和主要微波无源器件的设计理论和方法,并对专业技术词汇进行了英文标注,较全面地给读者提供必要的知识,适合作为高等学校本科电子信息工程、通信工程、电子科学与技术专业和微波技术等专业学生的教材或参考书。书中含有微波器件设计所需的设计公式及图表等,因此本书也可供从事微波/射频等相关工作的科研及工程技术人员参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

### 图书在版编目(CIP)数据

微波技术与微波器件/栾秀珍等编著. —北京:清华大学出版社,2017

(高等学校电子信息类专业系列教材)

ISBN 978-7-302-46417-4

I. ①微… II. ①栾… III. ①微波技术—高等学校—教材 ②微波装置—高等学校—教材  
IV. ①TN015

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 023660 号

责任编辑:盛东亮

封面设计:李召霞

责任校对:时翠兰

责任印制:宋 林

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, [c-service@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质 量 反 馈:010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:清华大学印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:22.5

字 数:543千字

版 次:2017年8月第1版

印 次:2017年8月第1次印刷

印 数:1~2500

定 价:49.00元

产品编号:071722-01

# 高等学校电子信息类专业系列教材

## 一 顾问委员会

谈振辉	北京交通大学 (教指委高级顾问)	郁道银	天津大学 (教指委高级顾问)
廖延彪	清华大学 (特约高级顾问)	胡广书	清华大学 (特约高级顾问)
华成英	清华大学 (国家级教学名师)	于洪珍	中国矿业大学 (国家级教学名师)
彭启琮	电子科技大学 (国家级教学名师)	孙肖子	西安电子科技大学 (国家级教学名师)
邹逢兴	国防科学技术大学 (国家级教学名师)	严国萍	华中科技大学 (国家级教学名师)

## 一 编审委员会

主 任	吕志伟	哈尔滨工业大学		
副主任	刘 旭	浙江大学	王志军	北京大学
	隆克平	北京科技大学	葛宝臻	天津大学
	秦石乔	国防科学技术大学	何伟明	哈尔滨工业大学
	刘向东	浙江大学		
委 员	王志华	清华大学	宋 梅	北京邮电大学
	韩 焱	中北大学	张雪英	太原理工大学
	殷福亮	大连理工大学	赵晓晖	吉林大学
	张朝柱	哈尔滨工程大学	刘兴钊	上海交通大学
	洪 伟	东南大学	陈鹤鸣	南京邮电大学
	杨明武	合肥工业大学	袁东风	山东大学
	王忠勇	郑州大学	程文青	华中科技大学
	曾 云	湖南大学	李思敏	桂林电子科技大学
	陈前斌	重庆邮电大学	张怀武	电子科技大学
	谢 泉	贵州大学	卞树檀	第二炮兵工程大学
	吴 瑛	解放军信息工程大学	刘纯亮	西安交通大学
	金伟其	北京理工大学	毕卫红	燕山大学
	胡秀珍	内蒙古工业大学	付跃刚	长春理工大学
	贾宏志	上海理工大学	顾济华	苏州大学
	李振华	南京理工大学	韩正甫	中国科学技术大学
	李 晖	福建师范大学	何兴道	南昌航空大学
	何平安	武汉大学	张新亮	华中科技大学
	郭永彩	重庆大学	曹益平	四川大学
	刘缠牢	西安工业大学	李儒新	中科院上海光学精密机械研究所
	赵尚弘	空军工程大学	董友梅	京东方科技集团
	蒋晓瑜	装甲兵工程学院	蔡 毅	中国兵器科学研究院
	仲顺安	北京理工大学	冯其波	北京交通大学
	黄翊东	清华大学	张有光	北京航空航天大学
	李勇朝	西安电子科技大学	江 毅	北京理工大学
	章毓晋	清华大学	张伟刚	南开大学
	刘铁根	天津大学	宋 峰	南开大学
	王艳芬	中国矿业大学	靳 伟	香港理工大学
	苑立波	哈尔滨工程大学		
丛书责任编辑	盛东亮	清华大学出版社		

# 序

## FOREWORD

我国电子信息产业销售收入总规模在 2013 年已经突破 12 万亿元, 行业收入占工业总体比重已经超过 9%。电子信息产业在工业经济中的支撑作用凸显, 更加促进了信息化和工业化的高层次深度融合。随着移动互联网、云计算、物联网、大数据和石墨烯等新兴产业的爆发式增长, 电子信息产业的发展呈现了新的特点, 电子信息产业的人才培养面临着新的挑战。

(1) 随着控制、通信、人机交互和网络互联等新兴电子信息技术不断发展, 传统工业设备融合了大量最新的电子信息技术, 它们一起构成了庞大而复杂的系统, 派生出大量新兴的电子信息技术应用需求。这些“系统级”的应用需求, 迫切要求具有系统级设计能力的电子信息技术人才。

(2) 电子信息系统设备的功能越来越复杂, 系统的集成度越来越高。因此, 要求未来的设计者应该具备更扎实的理论基础知识和更宽广的专业视野。未来电子信息系统的设计越来越要求软件和硬件的协同规划、协同设计和协同调试。

(3) 新兴电子信息技术的发展依赖于半导体产业的不断推动, 半导体厂商为设计者提供了越来越丰富的生态资源, 系统集成厂商的全方位配合又加速了这种生态资源的进一步完善。半导体厂商和系统集成厂商所建立的这种生态系统, 为未来的设计者提供了更加便捷却又必须依赖的设计资源。

教育部 2012 年颁布了新版《高等学校本科专业目录》, 将电子信息类专业进行了整合, 为各高校建立系统化的人才培养体系, 培养具有扎实理论基础和宽广专业技能的、兼顾“基础”和“系统”的高层次电子信息人才给出了指引。

传统的电子信息学科专业课程体系呈现“自底向上”的特点, 这种课程体系偏重对底层元器件的分析与设计, 较少涉及系统级的集成与设计。近年来, 国内很多高校对电子信息类专业课程体系进行了大力度的改革, 这些改革顺应时代潮流, 从系统集成的角度, 更加科学合理地构建了课程体系。

为了进一步提高普通高校电子信息类专业教育与教学质量, 贯彻落实《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020 年)》和《教育部关于全面提高高等教育质量若干意见》(教高【2012】4 号)的精神, 教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会开展了“高等学校电子信息类专业课程体系”的立项研究工作, 并于 2014 年 5 月启动了《高等学校电子信息类专业系列教材》(教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会规划教材)的建设工作。其目的是为推进高等教育内涵式发展, 提高教学水平, 满足高等学校对电子信息类专业人才培养、教学改革与课程改革的需要。

本系列教材定位于高等学校电子信息类专业的专业课程, 适用于电子信息类的电子信

息工程、电子科学与技术、通信工程、微电子科学与工程、光电信息科学与工程、信息工程及其相近专业。经过编审委员会与众多高校多次沟通,初步拟定分批次(2014—2017年)建设约100门课程教材。本系列教材将力求在保证基础的前提下,突出技术的先进性和科学的前沿性,体现创新教学和工程实践教学;将重视系统集成思想在教学中的体现,鼓励推陈出新,采用“自顶向下”的方法编写教材;将注重反映优秀的教学改革成果,推广优秀的教学经验与理念。

为了保证本系列教材的科学性、系统性及编写质量,本系列教材设立顾问委员会及编审委员会。顾问委员会由教指委高级顾问、特约高级顾问和国家级教学名师担任,编审委员会由教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会委员和一线教学名师组成。同时,清华大学出版社为本系列教材配置优秀的编辑团队,力求高水准出版。本系列教材的建设,不仅有众多高校教师参与,也有大量知名的电子信息类企业支持。在此,谨向参与本系列教材策划、组织、编写与出版的广大教师、企业代表及出版人员致以诚挚的感谢,并殷切希望本系列教材在我国高等学校电子信息类专业人才培养与课程体系建设中发挥切实的作用。

吕志伟 教授

# 前言

## PREFACE

随着高校教学改革的不断深入,回归工程教育、培养卓越工程师已经成为工科高校的一个发展趋势,本书正是为顺应这种发展要求而编写的。工程人才的重要任务之一是“设计”,然而,目前市面上见到的微波类教材中很少有涉及“设计”内容的,致使目前在工程中还广泛应用的很多经典而重要的设计理论和方法面临失传的境地,而且新的设计方法和手段也没有得到及时补充。鉴于此,本书在作者原编著的、由北京邮电大学出版社出版的《微波技术》的基础上,通过增加一些与“设计”有关的内容而改编完成。书中含有“设计原理”“设计方法”“设计公式和图表”“设计实例与仿真”“设计类习题”等,从多方面加强对学生的设计能力的培养。

学生在学习的过程中经常会有“所学知识有何用”的疑惑,为此,本书在介绍某些重要知识点时会适当介绍一些这些知识的主要应用。另外,器件的设计过程也是理论知识应用的一个过程,对学生加深对基础知识的理解和了解知识的运用方法都有帮助,因此,本书通过一些设计实例介绍所学知识在微波器件设计中的应用,从而使学生认识到学习这些知识的必要性和重要性。本书还提供了相应的设计类习题,通过布置设计类习题让学生亲历设计过程,可以使学生掌握所学知识的运用方法,同时增加学生的学习兴趣和设计成功后的成就感。

微波给人的印象是抽象的概念和烦琐的公式。麦克斯韦方程和网络(电路)理论是解决微波问题的基本方法。然而,工程中能够严格求解的问题是十分有限的,尤其是微波器件的设计问题,并不是简单地通过相关理论就能得到完全满足设计要求的设计结果。通常,器件设计的实际过程是首先根据基本理论给出初步设计结果,然后再通过相关理论和公式进行修正,运用仿真软件进行仿真优化,最后还要进行加工、测试、调整等,最终才能完成设计。因此,介绍微波器件完整的设计过程是非常必要的。本书通过一些设计实例对主要微波器件的设计过程进行了较完整的介绍。

在基本理论体系的基础上,进一步增加一些设计内容是顺理成章的事情。然而,增加了“设计”元素势必要增加教材的内容和篇幅,那么如何解决“学时数少和内容多”的矛盾呢?其实,设计过程就是基础知识的一个应用的过程,教师通过几个例题演示一下整个设计过程即可,其余的内容学生完全可以自行掌握。

鉴于以上所述,作者编著了本书。本书内容丰富,包含了微波技术的基础知识、基本分析理论和主要微波无源器件的设计方法;各章习题有分析和设计两种类型,并有习题答案可供参考;有PPT可供教师使用;还有与实验内容配套的虚拟微波实验软件可供没有条件建设微波实验室的学校选用。由于我们学识有限,经验不足,书中难免有不足之处,殷切地欢

迎各位同行和读者提出宝贵意见,谢谢!

本书主要由栾秀珍、王钟葆、傅世强、房少军编著,谭克俊、金红、陈鹏、李婵娟等教师为本书做出了多方面的工作,在此表示衷心的感谢。微波/射频实验室的同学们为该书的例题进行了仿真验证,在此一并表示感谢。

作 者

2017年4月



# 目录

## CONTENTS

前言 .....	V
第 0 章 绪论 .....	1
0.1 微波的基本概念 .....	1
0.2 微波的特点 .....	3
0.3 微波技术的发展与应用 .....	4
0.3.1 微波技术的发展 .....	4
0.3.2 微波技术的应用 .....	4
0.4 微波电路的 CAD 软件 .....	6
第 1 章 微波传输线理论 .....	8
1.1 微波传输线的基本概念 .....	8
1.1.1 微波传输线的分类 .....	8
1.1.2 微波传输线的分析方法 .....	9
1.2 长线理论 .....	9
1.2.1 基本概念 .....	9
1.2.2 传输线方程及其解 .....	11
1.3 传输线的特性参数和状态参量 .....	15
1.3.1 传输线的特性参数 .....	15
1.3.2 状态参量 .....	17
1.4 无耗传输线的工作状态 .....	22
1.4.1 匹配状态 .....	22
1.4.2 全反射状态 .....	24
1.4.3 部分反射状态 .....	31
1.5 圆图 .....	33
1.5.1 阻抗圆图 .....	33
1.5.2 导纳圆图 .....	37
1.5.3 阻抗与导纳在圆图上的换算 .....	38
1.5.4 圆图的应用举例 .....	39
1.6 阻抗匹配 .....	40
1.6.1 阻抗匹配的概念 .....	40
1.6.2 负载阻抗匹配的方法 .....	42
1.7 传输线理论的适用范围 .....	52
习题 .....	52

<b>第 2 章 各种形式的微波传输线</b> .....	56
2.1 概论 .....	56
2.2 平行双线 .....	57
2.3 同轴线 .....	59
2.3.1 同轴线中的 TEM 模 .....	59
2.3.2 同轴线中的高次模 .....	60
2.3.3 功率容量与损耗 .....	60
2.3.4 同轴线尺寸的选择 .....	61
2.4 矩形波导 .....	62
2.4.1 矩形波导的结构与场分布 .....	62
2.4.2 矩形波导的基本特性参数 .....	63
2.5 圆形波导 .....	67
2.5.1 圆形波导的传输特性 .....	67
2.5.2 圆形波导中的三个主要模式及其应用 .....	69
2.6 介质波导 .....	71
2.7 微带线 .....	72
2.7.1 微带线的结构 .....	72
2.7.2 微带线中的工作模式 .....	73
2.7.3 微带线的特性阻抗 .....	74
2.8 平行耦合微带线 .....	79
2.8.1 概述 .....	79
2.8.2 奇偶模参量法 .....	79
2.8.3 用奇偶模参量法求平行耦合微带线的特性参量 .....	80
2.8.4 平行耦合微带线节 .....	85
2.9 共面波导和基片集成波导 .....	88
2.9.1 共面波导 .....	88
2.9.2 基片集成波导 .....	88
2.10 微波传输线中波的激励与模式转换 .....	89
2.10.1 激励器 .....	89
2.10.2 模式转换器 .....	90
习题 .....	92
<b>第 3 章 基本微波元件和阻抗变换器</b> .....	94
3.1 概论 .....	94
3.2 微波电阻性元件 .....	94
3.2.1 吸收式衰减器 .....	94
3.2.2 极化衰减器 .....	95
3.2.3 截止式衰减器 .....	96
3.2.4 匹配负载 .....	97
3.3 微波电抗性元件 .....	97
3.3.1 波导不连续性及其波导元件的实现方法 .....	98
3.3.2 微带不连续性及其微带元件的实现方法 .....	106
3.4 微波移相器 .....	114
3.5 极化变换器 .....	115

3.6	抗流式连接元件	117
3.7	阻抗变换器	119
	习题	133
<b>第4章</b>	<b>微波谐振腔</b>	<b>135</b>
4.1	概论	135
4.2	谐振腔的基本参量	136
4.3	矩形谐振腔	139
4.4	圆柱形谐振腔	140
4.5	同轴谐振腔和微带谐振器	142
4.5.1	同轴谐振腔	143
4.5.2	微带谐振器	145
4.6	谐振腔的调谐、激励与耦合	147
4.6.1	谐振腔的调谐	147
4.6.2	谐振腔的激励与耦合	148
4.7	谐振腔的等效电路和它与外电路的连接	151
4.8	微波谐振腔的应用	153
4.8.1	微波炉	153
4.8.2	波长计	154
	习题	156
<b>第5章</b>	<b>微波网络基础</b>	<b>158</b>
5.1	概论	158
5.2	微波传输线与平行双线传输线间的等效	159
5.3	微波网络参量	161
5.3.1	网络参考面	161
5.3.2	微波网络参量的定义	161
5.3.3	网络参量间的相互关系	168
5.3.4	网络参量的性质	168
5.3.5	常用基本电路单元的网络参量	171
5.3.6	参考面移动时网络参量的变化	175
5.4	二端口网络的组合	176
5.5	微波网络的工作特性参量	178
	习题	180
<b>第6章</b>	<b>定向耦合器和功率分配器</b>	<b>183</b>
6.1	概论	183
6.2	微带定向耦合器	185
6.2.1	微带分支线定向耦合器	185
6.2.2	微带混合环	198
6.2.3	微带平行耦合线定向耦合器	204
6.3	矩形波导定向耦合器	209
6.3.1	矩形波导单孔定向耦合器	209
6.3.2	矩形波导多孔定向耦合器	210
6.3.3	矩形波导十字孔定向耦合器	210

6.3.4	矩形波导匹配双 T	213
6.3.5	矩形波导裂缝电桥	220
6.4	功率分配器	224
6.4.1	二路功率分配器	224
6.4.2	多路功率分配器	233
6.4.3	宽带功率分配器	234
	习题	244
<b>第 7 章</b>	<b>微波滤波器</b>	<b>247</b>
7.1	滤波器的基本知识	247
7.2	低通原型滤波器	249
7.2.1	基本概念	249
7.2.2	最平坦式低通原型滤波器的综合设计	250
7.2.3	切比雪夫式低通原型滤波器的综合设计	252
7.3	频率变换	256
7.3.1	低通原型滤波器与低通滤波器间的频率变换	256
7.3.2	低通原型滤波器与高通滤波器间的频率变换	257
7.3.3	低通原型滤波器与带通滤波器间的频率变换	258
7.3.4	低通原型滤波器与带阻滤波器间的频率变换	260
7.4	变形低通原型及集中参数带通滤波器和带阻滤波器	261
7.4.1	倒置变换器	261
7.4.2	变形低通原型	263
7.4.3	含倒置变换器的集中参数带通滤波器	265
7.4.4	含倒置变换器的集中参数带阻滤波器	266
7.5	滤波器电路的微波实现	268
7.5.1	微波低通滤波器的微波实现	268
7.5.2	微波带通滤波器的微波实现	277
7.5.3	微波带阻滤波器的微波实现	297
7.5.4	元件损耗和不连续性对滤波器性能的影响	304
7.5.5	其他形式微波滤波器的微波实现	304
7.6	多工器	305
	习题	307
<b>第 8 章</b>	<b>微波铁氧体器件</b>	<b>309</b>
8.1	概论	309
8.2	铁氧体中的张量磁导率	309
8.3	场移式铁氧体隔离器及移相器	311
8.3.1	场移式铁氧体隔离器	311
8.3.2	场移式铁氧体移相器	313
8.4	相移式铁氧体环形器	314
8.5	铁氧体器件的应用	316
8.5.1	在微波通信系统中的应用	316
8.5.2	在雷达系统中的应用	317
8.5.3	在微波测量中的应用	318
	习题	318

<b>第 9 章 微波测量</b> .....	320
9.1 微波功率与频率的测量 .....	320
9.1.1 微波功率的测量.....	320
9.1.2 微波频率的测量.....	321
9.2 驻波比的测量 .....	323
9.2.1 概论.....	323
9.2.2 实验仪器描述.....	323
9.2.3 测量方法.....	324
9.3 晶体检波器的校准及阻抗测量 .....	325
9.3.1 晶体检波器的校准.....	325
9.3.2 驻波法测阻抗的基本原理.....	327
9.3.3 测量方法.....	327
9.3.4 实验仪器描述.....	328
9.3.5 实验步骤.....	329
9.4 衰减测量 .....	329
9.4.1 替代法.....	329
9.4.2 散射参量法.....	331
9.5 定向耦合器特性的测量 .....	333
9.5.1 技术指标.....	333
9.5.2 测试方法.....	334
9.5.3 实验步骤.....	335
<b>附录 A 常用硬同轴线主要参数表</b> .....	336
<b>附录 B 标准矩形波导主要参数表</b> .....	337
<b>附录 C 习题参考答案</b> .....	338
<b>参考文献</b> .....	343

微波技术是近代科学研究的重大成就之一。几十年来,它已发展成为一门比较成熟的学科,在通信、雷达、导航、电子对抗等许多领域得到了广泛的应用。在绪论中将介绍微波的概念、特点及应用。

## 0.1 微波的基本概念

微波(Microwave)是波长微小的电磁波,其波长范围从 0.1mm 到 1m,频率范围从 300MHz 到 3000GHz。图 0.1-1 给出了微波在整个电磁波谱中的位置。由图可见,微波可以细分为分米波、厘米波、毫米波和亚毫米波四个波段。在通信和雷达等工程中,通常还根据微波器件特性随频率的变化规律,将微波分为多个分波段,并用英文字母表示各分波段,如表 0.1-1 所示。

表 0.1-1 常用微波分波段代号

波段代号	频率范围/GHz	波长范围/cm	标称波长/cm
L	1~2	30~15	22
S	2~4	15~7.5	10
C	4~8	7.5~3.75	5
X	8~12	3.75~2.5	3
Ku	12~18	2.5~1.67	2
K	18~27	1.67~1.11	1.25
Ka	27~40	1.11~0.75	0.8
U	40~60	0.75~0.5	0.6
V	60~80	0.5~0.375	0.4
W	80~100	0.375~0.3	0.3

从图 0.1-1 可知,微波的低频端与普通无线电波的“超短波”波段相连接,而其高频端与红外线的“远红外”波段毗邻。与其他波段的无线电波相比,微波的波长要短得多,频率也高得多,这种数量的变化引起了电磁波性质的变化,使得微波具有一系列不同于其他波段无线电波的特点。同时,微波的波长又比可见光的波长长得多,与光波也不同。所以,通常将其划分出来进行专门研究,这就是微波技术。

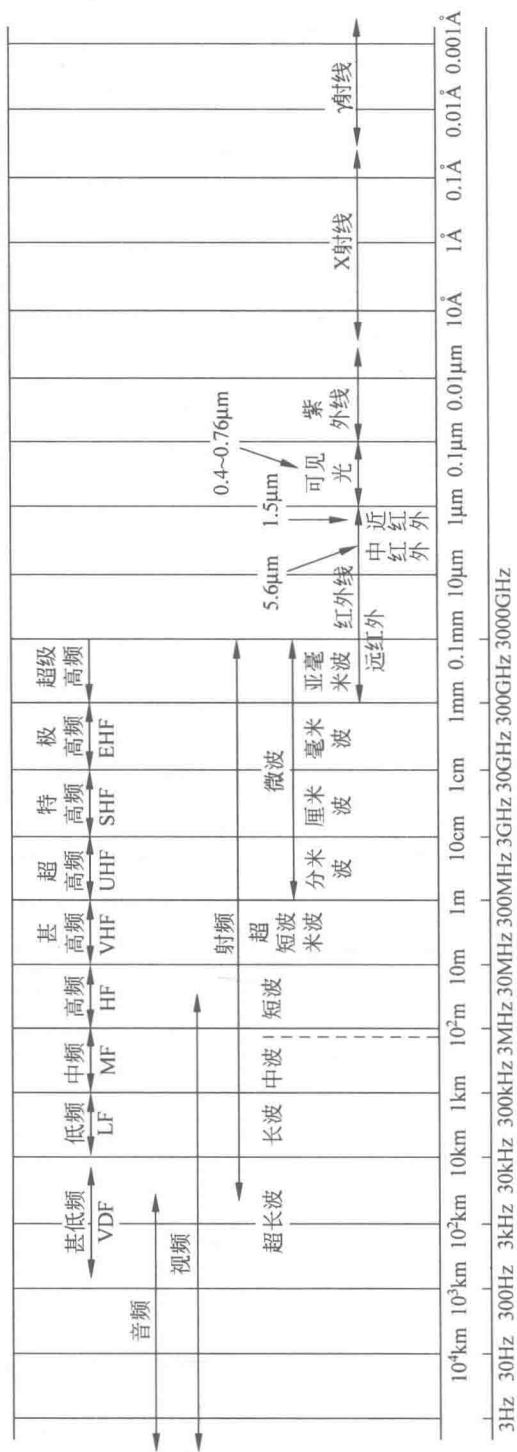


图 0.1-1 电磁波频谱

## 0.2 微波的特点

与其他波段的无线电波相比,微波具有以下主要特点:

### 1. 似光性和似声性

微波波段的波长与无线电设备的线长度及地球上的一般物体的尺寸相当或小得多,其传播特性与光相似:沿直线传播,遇到障碍物时会产生反射。利用这一特点,可以制造出高方向性的微波天线,从而为微波中继通信、卫星通信及雷达等提供了必要条件。

微波的波长与无线电设备尺寸相当的特点,使得微波又表现出与声波相似的特征,即具有似声性。例如,微波波导类似于声学中的传声筒;喇叭天线和缝隙天线类似于声学喇叭、箫和笛;微波谐振腔类似于声学共鸣箱等。

### 2. 高频性

微波的频率很高,这使之在应用上能适合于宽频带技术的要求。因为无线电设备相对带宽的增大受到技术的限制,而载波频率的提高就可以在相同相对带宽情况下使设备的绝对带宽增加,从而在微波设备上可以容易地实现大信息容量宽带信号(如多路的电话和电视信号)的传送和辐射。

另一方面,由于微波的频率很高、波长很短,使得在低频电路中被忽略了一些现象和效应(例如趋肤效应、辐射效应、分布参数效应)在微波波段不可忽略。这样,在低频电路中常用的集中参数元件(电阻、电感、电容)、普通双导线传输线和LC谐振回路等都不能适用于微波,电压、电流在微波波段甚至失去了唯一性意义。在微波波段,取而代之的是分布参数电路元件、微波传输线和谐振腔等微波元器件。因此,不论在结构型式和工作原理上,微波分布参数电路与低频集中参数电路都将有很大的差别。

### 3. 穿透性

微波照射于介质物体时,能深入该物质内部的特点称为穿透性。例如,微波能穿透电离层,因而成为卫星通信、全球卫星导航及人类探测外层空间的“宇宙窗口”;微波能穿透云雾、雨、植被、积雪和地表层,具有全天候和全天时工作的能力,成为遥感技术的重要波段;微波能穿透生物体,成为医学透热疗法的重要手段;毫米波还能穿透等离子体,是远程导弹和航天器重返大气层时实现通信和终端制导的重要手段。

### 4. 研究方法和测量方法的独特性

微波技术的研究方法不同于低频无线电。在低频传输线中,电压、电流仅是时间的函数,与空间位置无关,因此可以通过基尔霍夫定律描述的电路理论来研究。而在微波传输线中,电场矢量和磁场矢量不仅是时间的函数,而且还是空间位置的函数,因此必须通过麦克斯韦方程所描述的电磁场理论来研究。

微波测量也不同于低频无线电测量。低频无线电测量的基本参量是电压、电流、频率以及电路元件参数(如电阻、电容和电感)。而微波测量的基本参量是功率、阻抗、波长以及电路的衰减和相移等。这是因为在微波波段,一些低频参量已经没有唯一确定的物理意义了。

### 5. 抗低频干扰特性

地球周围充斥着各种各样的噪声和干扰,主要包括由宇宙和大气在传输信道上产生的自然噪声以及由各种电气设备工作时产生的人为噪声。由于这些噪声一般在中低频区域,



与微波波段的频率差别较大,在微波滤波器的阻隔下,基本不会影响微波通信的正常进行,因此微波具有抗低频干扰特性。

综上所述,正是由于微波具有许多独特的性质,才为它的迅速发展和广泛应用提供了动力,开辟了前景。

## 0.3 微波技术的发展与应用

### 0.3.1 微波技术的发展

微波技术的发展和它的实际应用是相互促进的。在第二次世界大战期间,雷达的需求和研制推动了微波技术的飞速发展。在20世纪60年代以后,微波通信、卫星通信兴起,更促使微波技术加速发展;到了20世纪70年代,微波技术的应用扩大到遥感、医疗、无损检测和能源等各个领域。微波技术在不断满足上述应用中得到了发展和完善。目前,就其发展方向来看,主要有如下几个特点。

#### 1. 工作频段不断向高频段扩展

微波波段经历了从分米波、厘米波到毫米波的发展阶段,目前正向毫米波和亚毫米波段发展。

#### 2. 微波元器件及整机设备不断向小型化和宽频带化方向发展

随着电子技术的发展,微波元器件也经历了从电真空器件向半导体微波器件、从分离元件到集成电路的发展过程。而整机设备也不断向体积小、重量轻、频带宽、可靠性高的方向发展。

#### 3. 微波系统不断向自动化、智能化和多功能化方向发展

随着科学技术,特别是计算机技术的普及,各门学科间的相互渗透,促使微波设备、系统和测试仪表也逐步实现了自动化、智能化和多功能一体化。

### 0.3.2 微波技术的应用

由于微波有上述众多特点,因此得到了广泛的应用。它的应用已经遍及尖端科技、军事国防、工农业生产和科学研究等各个部门,甚至深入到医疗卫生和人们的日常生活中,而且新的应用领域还在不断地扩大。微波的应用主要分为信息载体的应用和微波能的应用两个方面,下面简要介绍微波在这两个方面的应用。

#### 1. 雷达

雷达是微波技术发展的策源地。它是利用电磁波遇物体会发生反射回波,并根据所接收的回波来获取被测物体的有关信息,从而实现对被测物体的测距、测向、测速以及目标识别与重建等。

雷达作为一种测量设备具有许多独特的特点,如测量距离远、全天候、实时性、穿透性等,这是其他测量方法所不及的。因此,雷达技术除了大量应用于军事上外,还越来越广泛地应用于民用上,如民用航空(航空管制及飞机导航)、航海、气象、天文、遥感、城市交通等方面。现代雷达大多数都工作在微波波段。

#### 2. 通信

由于微波具有频率高、频带宽、信息量大的特点,因此被广泛地应用于各种通信业务中。