

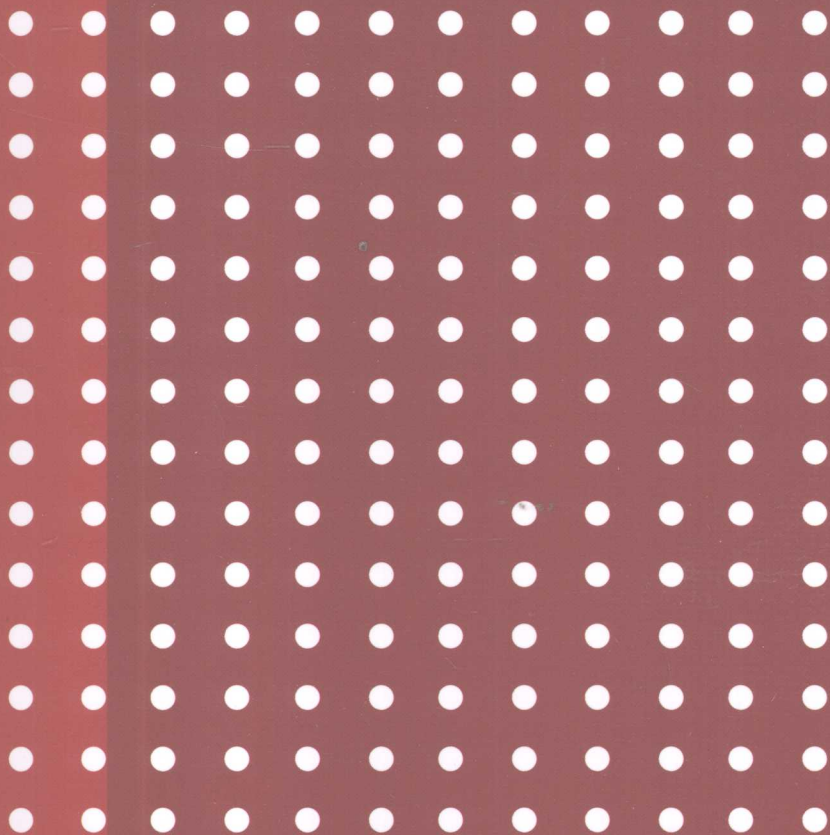
21世纪高等学校电子信息工程规划教材

可下载教学资料

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

# 微波技术基础

杨雪霞 编著



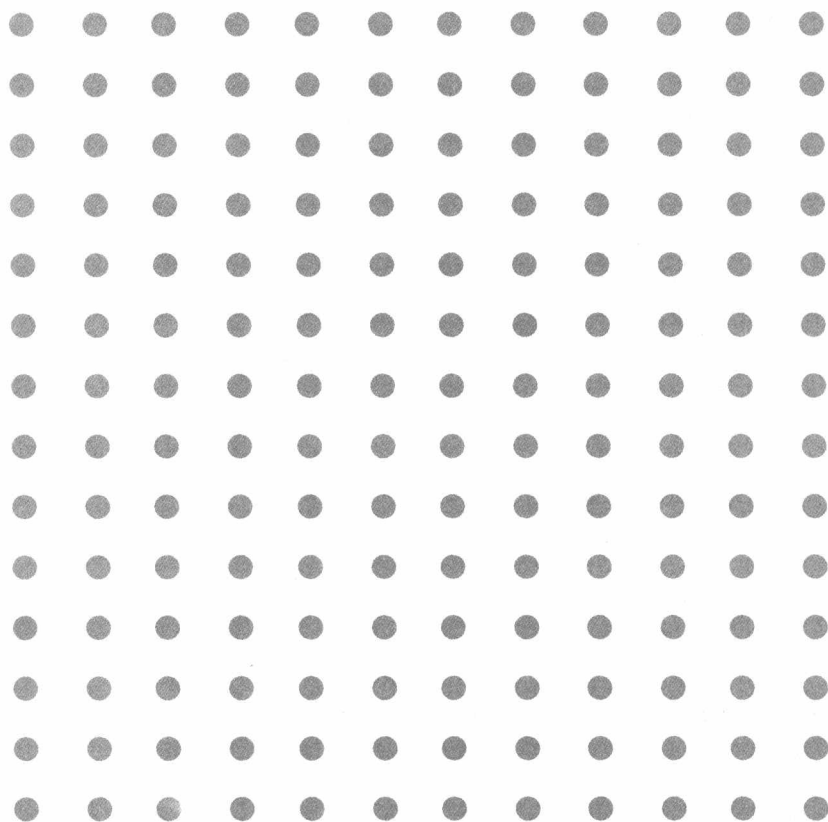
清华大学出版社



21世纪高等学校电子信息工程规划教材

# 微波技术基础

杨雪霞 编著



清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本书以路和场相结合的方法系统阐述了微波在各种传输线中的传输规律,分别是第1章的传输线理论、第2章的规则波导理论和第3章的平面传输线;在此基础上,第4章分析了各种传输线所形成的常用微波谐振腔的基本原理;第5章是微波技术电路理论的进一步发展,介绍微波网络的各种网络参量、微波网络的性质;第6章介绍常用微波无源器件及其应用;第7章简要介绍几个典型的微波系统和微波技术的应用。

本书注重微波技术基本理论的透彻分析以及与实际应用的结合,为高等院校电子工程类无线电技术专业高年级本科生教材,可作为相近专业的教学参考书,也可供从事微波技术以及相关技术的工程技术人员参考。

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

微波技术基础/杨雪霞编著. —北京:清华大学出版社,2009.6

(21世纪高等学校电子信息工程规划教材)

ISBN 978-7-302-19387-6

I. 微… II. 杨… III. 微波技术—高等学校—教材 IV. TN015

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第012525号

责任编辑:魏江江 顾 冰

责任校对:李建庄

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦A座

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

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)

印 装 者:北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:14 插 页:1 字 数:339千字

版 次:2009年6月第1版 印 次:2009年6月第1次印刷

印 数:1~3000

定 价:22.00元

---

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770177 转 3103 产品编号:022830-01

# 出版说明

随着我国高等教育规模的扩大和产业结构调整的进一步完善,社会对高层次应用型人才的需求将更加迫切。各地高校紧密结合地方经济建设发展需要,科学运用市场调节机制,合理调整和配置教育资源,在改革和改造传统学科专业的基础上,加强工程型和应用型学科专业建设,积极设置主要面向地方支柱产业、高新技术产业、服务业的工程型和应用型学科专业,积极为地方经济建设输送各类应用型人才。各高校加大了使用信息科学等现代科学技术提升、改造传统学科专业的力度,从而实现传统学科专业向工程型和应用型学科专业的发展与转变。在发挥传统学科专业师资力量强、办学经验丰富、教学资源充裕等优势的同时,不断更新其教学内容、改革课程体系,使工程型和应用型学科专业教育与经济建设相适应。

为了配合高校工程型和应用型学科专业的建设和发展,急需出版一批内容新、体系新、方法新、手段新的高水平电子信息类专业课程教材。目前,工程型和应用型学科专业电子信息类专业课程教材的建设工作仍滞后于教学改革的实践,如现有的电子信息类专业教材中有不少内容陈旧(依然用传统专业电子信息教材代替工程型和应用型学科专业教材),重理论、轻实践,不能满足新的教学计划、课程设置的需要;一些课程的教材可供选择的品种太少;一些基础课的教材虽然品种较多,但低水平重复严重;有些教材内容庞杂,书越编越厚;专业课教材、教学辅助教材及教学参考书短缺,等等,都不利于学生能力的提高和素质的培养。为此,在教育部相关教学指导委员会专家的指导和建议下,清华大学出版社组织出版本系列教材,以满足工程型和应用型电子信息类专业课程教学的需要。本系列教材在规划过程中体现了如下一些基本原则和特点:

(1) 系列教材主要是电子信息学科基础课程教材,面向工程技术应用培养。本系列教材在内容上坚持基本理论适度,反映基本理论和原理的综合应用,强调工程实践和应用环节。电子信息学科历经了一个多世纪的发展,已经形成了一个完整、科学的理论体系,这些理论是这一领域技术发展的强大源泉,基于理论的技术创新、开发与应用显得更为重要。

(2) 系列教材体现了电子信息学科使用新的分析方法和手段解决工程实际问题。利用计算机强大功能和仿真设计软件,使得电子信息领域中大量复杂的理论计算、变换分析等变得快速简单。教材充分体现了利用计算机解决理论分析与解算实际工程电路的途径与方法。

(3) 系列教材体现了新技术、新器件的开发应用实践。电子信息产业中仪器、设备、产品都已使用高集成化的模块,且不仅仅由硬件来实现,而是大量使用软件和硬件相结合方法,使得产品性价比很高,如何使学生掌握这些先进的技术、创造性地开发应用新技术是本系列教材的一个重要特点。

(4) 以学生知识、能力、素质协调发展为宗旨,系列教材编写内容充分注意了学生创新

能力和实践能力的培养,加强了实验实践环节,各门课程均配有独立的实验课程和课程设计。

(5) 21世纪是信息时代,学生获取知识可以是多种媒体形式和多种渠道的,而不再局限于课堂上,因而传授知识不再以教师为中心,以教材为唯一依托,而应该多为学生提供各类学习资料(如网络教材,CAI课件,学习指导书等)。应创造一种新的学习环境(如讨论,自学,设计制作竞赛等),让学生成为学习主体。该系列教材以计算机、网络和实验室为载体,配有多种辅助学习资料,提高学生兴趣。

繁荣教材出版事业,提高教材质量的关键是教师。建立一支高水平的以老带新的教材编写队伍才能保证教材的编写质量和建设力度,希望有志于教材建设的教师能够加入到我们的编写队伍中来。

**21世纪高等学校电子信息工程规划教材编委会**

**联系人:魏江江 weijj@tup.tsinghua.edu.cn**

# 前 言

随着信息时代的到来,微波与射频(Radio Frequency, RF)技术已渗透到人类生活、工业、科研、军事的各个领域。如蜂窝电话、个人通信系统、无线局域网、车载防撞雷达、广播和电视直播卫星、全球定位系统(Global Position System, GPS)、射频识别(RF Identification, RFID)、超宽带(Ultra Wide-Band, UWB)无线通信、雷达系统,以及微波遥感系统等。射频与微波方面的专业技术人员成为当前社会上的紧缺人才。

在学习本课程之前,学生应具有高等数学、电子线路和电磁场理论的基础知识。

《微波技术基础》是工科电子类电子与信息工程专业的专业基础课。本课程的任务是使学生学会微波理论和技术的基础概念、基本理论和基本分析方法,培养学生分析问题和解决问题的能力,为今后从事微波研究和工程设计工作以及电磁场与微波技术研究生专业学习打下良好的基础。

本教材是编者在多年从事教学和科研实践的基础上编写而成的。教材注重微波技术的基本概念和理论的清晰阐述,配以一定的例题以加深理解;同时又强调实际应用的设计和分析。平面传输线的应用发展很快,但是其理论分析较为复杂,在这里结合常用微波 CAD 做了补充,从而与实际应用更为紧密。对于学习和应用微波技术的科研人员来讲,他们只注重单个器件的研究,缺乏系统概念,本书的最后一章介绍了典型微波系统,同时也可提高学生的学习兴趣。

本教材配有电子课件和电子版的习题解答,可在清华大学出版社网站上下载。

本书的编写得到上海大学教材建设基金的资助。研究生王华红和周建永绘制了部分插图,盛洁和高艳艳编纂了各章习题和解答,在此对他们表示感谢,同时向本书引用的参考书的作者致以敬意。在此我要特别感谢我国微波测量领域和微带天线领域的知名教授、上海大学徐得名教授和钟顺时教授,以及上海大学的徐长龙教授和夏士明副教授。导师们深厚的理论基础、严谨的学术态度、谦虚坦荡的工作作风和甘为铺路石的高尚情怀坚定了我将教师作为职业的信心。

由于编者水平所限,书中难免有差错和不足之处,恳请读者提出宝贵意见。

杨雪霞

xxyang@staff.shu.edu.cn

2009年3月于上海

# 目 录

第 0 章 绪论 .....	1
0.1 电磁波谱及微波 .....	1
0.2 微波的特点及其应用 .....	2
0.3 微波技术的发展 .....	3
0.4 微波技术的研究方法和基本内容 .....	4
习题 .....	5
第 1 章 传输线理论 .....	6
1.1 引言 .....	6
1.1.1 传输线的种类 .....	6
1.1.2 分布参数的概念 .....	7
1.2 传输线波动方程及其解 .....	9
1.2.1 传输线波动方程 .....	9
1.2.2 传输线波动方程的解 .....	10
1.2.3 传输线的特性阻抗 .....	12
1.2.4 均匀无耗传输线的边界条件 .....	12
1.3 均匀无耗传输线的特性参量 .....	15
1.3.1 电压、电流的瞬时值 .....	15
1.3.2 相速和波长 .....	15
1.3.3 输入阻抗和输入导纳 .....	16
1.3.4 反射系数 .....	17
1.3.5 驻波比和行波系数 .....	18
1.4 均匀无耗传输线的工作状态 .....	18
1.4.1 行波 .....	19
1.4.2 纯驻波 .....	20
1.4.3 行驻波 .....	22
1.5 阻抗圆图和导纳圆图 .....	30
1.5.1 阻抗圆图 .....	30
1.5.2 导纳圆图 .....	34
1.6 阻抗匹配 .....	36
1.6.1 阻抗匹配的概念 .....	36
1.6.2 $\lambda/4$ 阻抗变换器 .....	37

1.6.3	多节 $\lambda/4$ 阻抗变换器 .....	38
1.6.4	单支节匹配 .....	39
1.6.5	多支节匹配 .....	41
习题	.....	42
<b>第 2 章</b>	<b>规则波导 .....</b>	<b>45</b>
2.1	规则波导传输的一般理论 .....	45
2.1.1	分离变量法 .....	46
2.1.2	纵向场法求波动方程 .....	46
2.1.3	波型 .....	48
2.1.4	传输特性 .....	50
2.2	矩形波导 .....	53
2.2.1	矩形波导中的 TM 波 .....	53
2.2.2	矩形波导中的 TE 波 .....	54
2.2.3	矩形波导中的波型 .....	55
2.2.4	矩形波导的主模—— $TE_{10}$ .....	57
2.2.5	矩形波导中的高次模 .....	63
2.2.6	激励与耦合 .....	65
2.3	圆形波导 .....	67
2.3.1	圆波导的 TM 波型 .....	67
2.3.2	圆波导中的 TE 波型 .....	70
2.3.3	圆形波导中的波型特征 .....	71
2.3.4	$TE_{11}$ 波型 .....	72
2.3.5	$TM_{01}$ 波型 .....	74
2.3.6	$TE_{01}$ 波型 .....	75
2.4	同轴线及其高次模 .....	77
2.4.1	同轴线中的 TEM 波 .....	78
2.4.2	同轴线中的高次波型 .....	79
2.4.3	同轴线尺寸的选择 .....	81
2.5	特殊波导简介 .....	82
2.5.1	脊波导 .....	82
2.5.2	椭圆波导 .....	83
2.5.3	鳍线 .....	83
2.5.4	槽波导 .....	83
2.5.5	H 形金属介质波导 .....	84
2.5.6	过模波导 .....	84
习题	.....	84
<b>第 3 章</b>	<b>平面传输线 .....</b>	<b>87</b>
3.1	带状线 .....	87



3.1.1	特性阻抗、传播常数和波导波长	88
3.1.2	特性阻抗的数值解	89
3.1.3	损耗和功率容量	91
3.1.4	带状线的设计	92
3.1.5	耦合带状线	93
3.2	微带线	94
3.2.1	微带线的主模	95
3.2.2	特性阻抗、传播常数和波导波长	95
3.2.3	特性阻抗的近似公式	96
3.2.4	特性阻抗的近似静电解	97
3.2.5	损耗	99
3.2.6	微带线的色散	101
3.2.7	微带线的高次模和微带线的设计	102
3.2.8	耦合微带线	104
3.3	介质波导	106
3.4	其他平面传输线	109
3.4.1	共面波导	110
3.4.2	共面带状线	111
3.4.3	槽线	111
3.5	平面传输线的激励与耦合	112
	习题	113
<b>第 4 章</b>	<b>微波谐振腔</b>	<b>114</b>
4.1	引言	114
4.2	谐振腔的主要特性参数	115
4.2.1	谐振频率	115
4.2.2	品质因数	117
4.2.3	等效电导	118
4.3	矩形谐振腔	119
4.3.1	场分量的表示式	119
4.3.2	矩形谐振腔谐振频率	121
4.3.3	矩形腔的 $TE_{101}$ 模	122
4.4	圆形谐振腔	124
4.4.1	场分量的表示式	125
4.4.2	圆柱腔的基本参量	126
4.4.3	圆形谐振腔的波型图	127
4.4.4	圆形谐振腔的 3 种主要工作模式	129
4.5	同轴线谐振腔	131
4.5.1	$\lambda_0/2$ 同轴线谐振腔	132
4.5.2	$\lambda_0/4$ 同轴线谐振腔	133

4.5.3	电容加载同轴线谐振腔 .....	134
4.6	环形谐振腔 .....	136
4.7	微带线谐振腔 .....	137
4.8	介质谐振腔 .....	139
4.9	谐振腔的等效电路 .....	140
4.10	谐振腔的耦合与激励 .....	141
	习题 .....	143
<b>第5章</b>	<b>微波网络</b> .....	<b>146</b>
5.1	引言 .....	146
5.2	微波网络的各种参量矩阵 .....	148
5.2.1	阻抗矩阵 $Z$ .....	148
5.2.2	导纳矩阵 $Y$ .....	149
5.2.3	转移矩阵 $A$ .....	151
5.2.4	散射矩阵 $S$ .....	152
5.2.5	传输参量 $T$ .....	153
5.3	二端口网络各种参量矩阵的关系 .....	153
5.3.1	$Z$ 矩阵和 $Y$ 矩阵的关系 .....	153
5.3.2	$Z$ 、 $Y$ 矩阵与 $A$ 矩阵的关系 .....	154
5.3.3	$S$ 矩阵与 $T$ 矩阵的关系 .....	155
5.3.4	$S$ 矩阵与归一化 $z$ 、 $y$ 矩阵的关系 .....	155
5.4	多端口网络 .....	158
5.5	常用微波网络特性 .....	159
5.5.1	互易网络 .....	159
5.5.2	无耗网络 .....	160
5.5.3	对称网络 .....	161
5.5.4	参考面移动对散射参量的影响 .....	162
5.6	基本电路单元的网络参量 .....	163
5.7	二端口网络的连接 .....	165
5.7.1	网络的串联 .....	165
5.7.2	网络的并联 .....	166
5.7.3	网络的级联 .....	166
5.8	微波网络的外部特性参量 .....	167
5.8.1	电压传输系数 $T$ .....	167
5.8.2	插入衰减 $L$ .....	168
5.8.3	插入相移 $\theta$ .....	168
5.8.4	输入驻波比 $\rho$ .....	168
	习题 .....	169
<b>第6章</b>	<b>基本微波无源元件</b> .....	<b>172</b>
6.1	终端负载 .....	172

6.1.1	匹配负载	172
6.1.2	短路活塞	173
6.2	电抗元件	174
6.2.1	膜片	174
6.2.2	谐振窗	175
6.2.3	销钉	176
6.2.4	螺钉	177
6.3	分支元件	177
6.3.1	T型接头	177
6.3.2	双T型接头	178
6.3.3	微带功分器	179
6.4	定向耦合器	180
6.5	滤波器	182
6.6	隔离器	184
6.7	衰减器	184
6.8	移相器	185
6.9	阻抗变换器	185
<b>第7章</b>	<b>微波系统及微波技术应用简介</b>	<b>187</b>
7.1	天线的系统特征	187
7.1.1	天线的辐射场	187
7.1.2	天线的方向性	188
7.1.3	天线的效率 $\eta$ 和增益 $G$	189
7.1.4	天线的有效面积	190
7.1.5	天线的带宽	190
7.2	无线传输系统	190
7.2.1	Friis 传输公式	191
7.2.2	无线通信系统	191
7.2.3	微波输能系统	192
7.3	雷达系统与导航	194
7.3.1	雷达基本工作原理	195
7.3.2	脉冲雷达	196
7.3.3	多普勒雷达	197
7.4	微波技术的其他应用	197
7.4.1	微波检测技术的工业应用	198
7.4.2	微波能的应用	199
7.4.3	微波技术的医学应用	199
7.4.4	微波技术的科研应用	200
<b>附录</b>		<b>202</b>
附录1	物理常数	202

---

附录 2	用于构成十进制倍数和分数单位词头 .....	202
附录 3	常用矢量公式 .....	203
附录 4	矢量微分运算 .....	203
附录 5	坐标变换 .....	204
附录 6	标准矩形波导主要参数 .....	205
附录 7	常用硬同轴线特性参量 .....	206
附录 8	常用同轴射频电缆特性参量 .....	207
<b>参考文献</b>	.....	208

# 第 0 章 绪 论

微波技术广泛应用于通信、雷达、导航、遥感、全球定位系统(GPS)和电子对抗等领域,其基本理论相对成熟。这一章主要介绍微波的范围、特点,以及微波技术的应用、发展历史及其研究方法。

## 0.1 电磁波谱及微波

电磁波谱是一种宝贵的资源。微波是波长很短的电磁波,其范围在 1m~0.1mm 之间,波长比超短波还要短,所以叫做“微波”;微波频率很高,其范围在 300MHz~3000GHz 之间,故又称超高频电磁波。微波处于超短波与红外光之间,如图 0-1 所示。



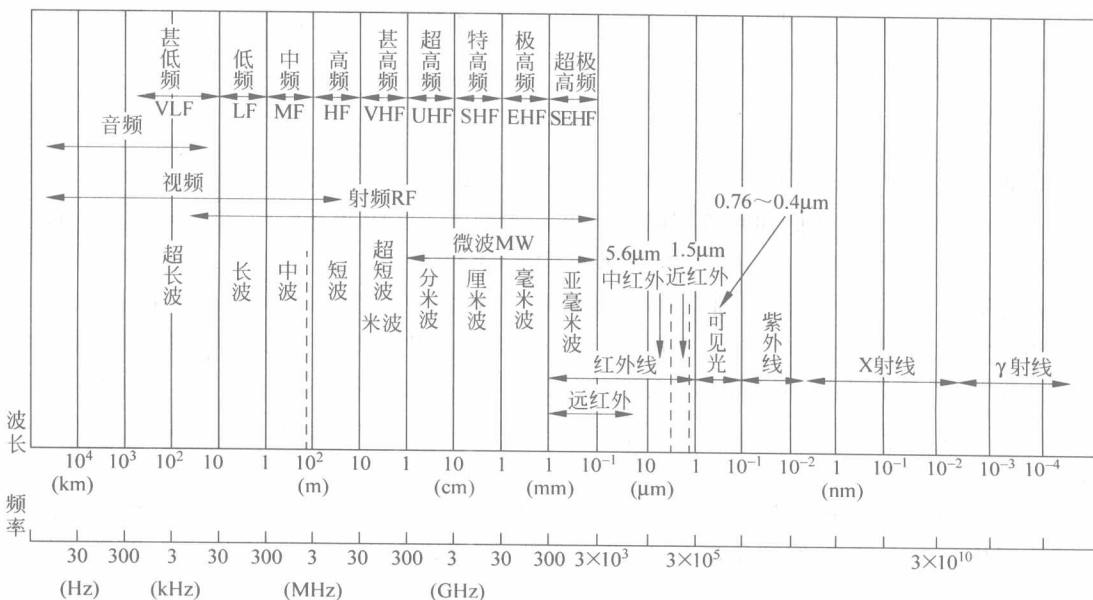
图 0-1 微波范围

电磁波的波长、频率和传播速度有以下关系：

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (0-1)$$

若电磁波在真空中传播,则传播速度就是光速  $v=c=3 \times 10^8 \text{ m/s}$ 。

图 0-2 是宇宙电磁波谱,微波虽然在电磁波谱中仅是很小的一个波段,但是占有很重要



注：甚低频(Very Low Frequency, VLF)、低频(Low Frequency, LF)、中频(Medium Frequency, MF)、高频(High Frequency, HF)、甚高频(Very High Frequency, VHF)、射频(Radio Frequency, RF)、微波(Microwave, MW)

图 0-2 宇宙电磁波谱

的地位。微波划分为 4 个波段,即超高频(Ultra High Frequency, UHF)、特高频(Super High Frequency, SHF)、极高频(Extremely High Frequency, EHF)和超极高频(Super Extremely High Frequency, SEHF)。

在实际应用中,又将微波进一步划分为 17 个波段,并以字母命名,常用于工程设计中,亦见之于科技文献中。其频率和波长范围参见表 0-1。

表 0-1 微波波段划分

符号	频率/GHz	波 长	符号	频率/GHz	波长/mm
UHF	0.30~1.12	1.00~0.27m	Ka	26.5~40.0	11.0~7.5
L	1.12~1.70	0.27~0.18m	Q	33.0~50.0	9.1~6.0
LS	1.70~2.60	0.18~0.12m	U	40.0~60.0	7.5~5.0
S	2.60~3.95	12.0~7.6cm	M	50.0~75.0	6.0~4.0
C	3.95~5.85	7.6~5.1cm	E	60.0~90.0	5.0~3.3
XC	5.85~8.20	5.1~3.7cm	F	90.0~140.0	3.3~2.1
X	8.20~12.40	3.7~2.3cm	G	140.0~220.0	2.1~1.4
Ku	12.40~18.00	2.3~1.7cm	R	220.0~325.0	1.4~0.9
K	18.00~26.50	1.7~1.1cm			

## 0.2 微波的特点及其应用

### 1. 高频特性

微波相对于其“左邻”的超短波、短波和中波等,具有极高的振荡频率(参见图 0-2),根据电磁振荡周期  $T$  与频率  $f$  的关系式

$$T = \frac{1}{f} \quad (0-2)$$

微波的振荡周期在  $10^{-9} \sim 10^{-13}$  s(秒)量级,与普通电真空器件中电子渡越时间(为  $10^{-9}$  s 量级)是可比拟的。于是在低频时被忽略了电磁波与电子间的相互作用、极间电容和引线电感等的影响就不能再忽视了。普通电子管已不能用做微波振荡器、放大器或检波器了,代之而来的则是建立在新的原理基础上的电子器件——微波电子管、微波固态器件和量子器件,这些器件还利用渡越时间与交变场频率的确切关系来产生振荡。随着频率的升高,高频电流的趋肤效应、传输系统的辐射效应及电路的延时效应(相位滞后)等都明显地显露出来。

由于微波的频率很高,因此在一定相对带宽下,其实际可用频带很宽。例如,1%的相对带宽,若中心频率  $f_0 = 600$  MHz,则频宽为 6 MHz;若中心频率  $f_0 = 60$  GHz,则频宽为 600 MHz,这是低频电波无力可及的。微波频带宽,意味着信息容量大,从而使微波通信得到了广泛应用和发展,如微波中继通信、移动通信、不同用途的雷达等。

### 2. 穿透电离层能力较强

普通无线电波会被高空的电离层吸收或反射,而微波则能够穿透电离层,太阳能卫星概

念就是利用微波的这一特点将太阳能定向引到地面的。加之其频带较宽,微波已广泛应用于卫星通信、微波遥感、雷达和射电天文,亦用于星际飞行器与地球之间的通信。

### 3. 似光性

微波波长比地球上宏观物体(如建筑物、飞机、舰船、导弹、卫星等)的几何尺寸小得多,故它具有光波的某些性质。例如,以直线传播,有反射、折射、绕射、干涉等现象,从而使某些几何光学原理仍然适用,如惠更斯原理、镜像原理、多普勒效应等。透镜聚焦可获得定向窄波束辐射或发射,加之与障碍物相比,波长越短,反射越强,从而可获得高方向性天线,保密性强,在雷达系统中得到广泛应用。

### 4. 量子特性

根据量子理论,电磁辐射能量是不连续的,由一个个“光量子”组成,量子能量为

$$\epsilon = hf \quad (0-3)$$

式中, $h=4.136 \times 10^{-15}$  电子伏特·秒(eV·s),是普朗克常数; $f$ 是频率。低频时,这个能量很小,可以忽略。对于微波来说,能量达到 $10^{-7} \sim 10^{-3}$  eV,这与某些物质的能级跃迁能量是可比拟的。一般顺磁物质在此作用下所产生的许多能级间的能量差介于 $10^{-5} \sim 10^{-4}$  eV之间,因而电子在这些能级间跃迁所释放出的量子是属于微波范围的,因此,微波可用于来分析分子和原子的精细结构,形成“微波波谱学”。同样地,在超低温时(接近 0K),物体吸收一个微波量子也会产生显著反应,固体量子放大器就是在此基础上发展起来的,并形成“量子电子学”学科。

实际上,以上微波特性是内在关联的,雷达就是利用了微波的前述 3 个特性的最典型代表。另外,微波还用于微波加热、医疗诊断等。由于微波电路集成度的提高、小型化的需求,其封装技术成为电路的有机组成部分,电磁兼容(Electromagnetic CoMpatibility, EMC)问题凸现,发展成为一门学科,从而使得基于电磁场理论的微波技术大有用武之地。

## 0.3 微波技术的发展

经典电磁场理论是微波技术的理论基础,1885—1887 年间 Oliver Heaviside 发表了一系列论文,他简化了 Maxwell 理论中复杂的数学表达,使其更加适用于应用科学,并引入矢量概念,从而奠定了导波和传输线理论。

波导是微波技术发展的一个里程碑。1897 年,数学物理学家 Lord Rayleigh 从数学上证明了波可以在圆波导和矩形波导中传播,并且可能存在无限的 TE 和 TM 模,而且存在截止频率。直至 1936 年,有两位科学家分别同时公开发表了其实验结果和应用,一个是 MIT(美国麻省理工学院)的 W. L. Barrow,他完成了空管传输电磁波的实验;另一个是 AT&T(美国电话电报公司)的 George C. Southworth,他们把波导用做宽带传输线,并且申请了专利(实际上他的工作在 1932 年就完成了,但为了商业目的直到 1936 年才发表)。这些工作奠定了规则波导的理论基础。

在 20 世纪 40 年代第二次世界大战期间,雷达的出现和发展使得微波理论和技术得到

了人们的高度重视。雷达系统使用微波波段有许多优点,如天线尺寸减小、相对增益提高、角度分辨率较高等。当时,MIT专门建立了辐射实验室,在研究雷达理论和应用的基础上发展了微波网络理论。在1984年,其中一位科学家A. A. Oliner将这项工作做了总结,并发表在学术期刊“IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques”上。“二战”时期的雷达基本上都是用矩形波导和同轴线作为传输线的。波导的优点是容易处理雷达系统所需要的高功率;但是其缺点很多,如带宽窄、笨重、价格高;同轴线的优点是带宽较宽,应用也比较方便。

在20世纪50年代,平面传输线得到广泛关注,首先是R. Barrett发明了带状线,接着出现了微带线、共面波导和鳍线等。这些平面传输线体积小、造价低、易于与二极管、三极管等有源器件集成。随着制作工艺的提高,已被广泛用于微波技术所涉及的各个领域,频段不断提高。在20世纪60年代末生产出第一片MMIC(单片微波集成电路),MMIC将传输线、有源器件和其他元件集成在一片半导体基片(介质)上。目前研究重点向单片集成和毫米波段方向发展。微波器件的发展与材料、加工工艺紧密相关。

## 0.4 微波技术的研究方法和基本内容

一般的高频电子线路,频率通常为几兆赫兹,模拟电子线路的频率为kHz数量级。波长比元件的尺度大很多,波在传播过程中相位( $\beta=2\pi/\lambda$ )的改变很小,达到可以忽略的程度,可以认为整个电路在稳态情况下,电压和电流只与时间有关,而与空间位置无关,因此用集总元件参数来分析电路。

对于微波波段的电磁波来说,波长很短,微波器件的尺度和波长在同一数量级,微波器件是分布式元件,即电压或电流的相位随着元件的物理长度有显著变化,它们既是时间的函数也是空间位置的函数。实际上,这时电压和电流的物理意义不是十分明确,而用电场和磁场来描述更为精确。因此,从根本上来讲微波的基本理论是以经典的电磁理论,即以Maxwell方程组为核心的场与波的理论。

原理上,通过求解偏微分方程,可以得到微波器件和系统在任意时间、任意位置的场强度和磁场强度,但是只有在简单边界条件下方能奏效,对复杂边界条件,直接求解相当烦琐,常需借助各种数值方法。实际情况是,许多微波工程问题并不需要知道系统中某点每一时刻的电、磁场具体值,这超出了具体应用中所需要的信息。应用中一般关心的仅是某器件的对外特性,即终端特性,如功率、阻抗、电压、电流等,用等效电路法求解即可满足要求。这种等效电路法就是把本质上属于场的问题,在一定条件下转化为电路问题,从而使问题比较容易地得到解决。因此,“场”与“路”的方法并非截然分开,而是有内在联系的。

微波技术是研究微波信号的产生、放大、传输、发射、接收和测量的学科,本书主要研究微波传输方面的基本理论,它是微波技术的基础。同时简要介绍常用微波器件和微波网络理论。

除了本章“绪论”外,本书共分7章。第1章,传输线理论,从路的观点出发研究微波传输线的基本传输特性及其计算方法,分析各种匹配技术;第2章,规则波导,研究几种规则



横截面的空心金属管的主要波型和传输特性；第3章,平面传输线,讨论当前在平面电路中常用的传输线；第4章,微波谐振腔,研究几种常用微波谐振腔的基本原理；第5章,微波网络,是微波技术电路理论的进一步发展,介绍微波网络的各种网络参量、微波网络的性质；第6章,常用微波无源器件；第7章,几个典型的微波系统。

## 习 题

- 0-1 什么叫微波? 微波的频率和波长范围如何?
- 0-2 简述微波的特点和应用。