



高等学校信息工程专业规划教材

微波技术与天线

曹祥玉 高 军 编著
曾越胜 杨 芳



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

面向 21 世纪高等学校信息工程专业规划教材

微波技术与天线

曹祥玉 高 军
曾越胜 杨 芳 编著

西安电子科技大学出版社

2008

内 容 简 介

本书根据“微波技术与天线”课程要求而编写，简明扼要地介绍了微波技术与天线的基础知识、基本原理以及电波传播的基本规律。

全书共 8 章(不含绪论)，分为两篇。第一篇微波技术分为 3 章：传输线理论、微波网络基础、无源微波元件。第二篇天线与电波传播分为 5 章：天线理论基础、对称振子与阵列天线、常用线天线、面天线理论和常用面天线、电波传播。为了切实帮助学生掌握和理解所学内容，提高分析问题和解决问题的能力，书中每章末均附有精选的习题。

本书可作为电子与通信类专业本科生教材，也可作为有关工程技术人员的参考书。

★ 本书配有电子教案，需要者可与出版社联系，免费提供。

图书在版编目(CIP)数据

微波技术与天线/曹祥玉等编著. —西安: 西安电子科技大学出版社, 2008. 3

面向 21 世纪高等学校信息工程类专业规划教材

ISBN 978-7-5606-1992-7

I. 微… II. 曹… III. ①微波技术—高等学校—教材 ②微波天线—高等学校—教材

IV. TN015 TN822

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 006358 号

策 划 臧延新

责任编辑 夏大平 臧延新

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

http://www.xduph.com E-mail: xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西华沐印刷科技有限责任公司

版 次 2008 年 3 月第 1 版 2008 年 3 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印 张 24.5

字 数 581 千字

印 数 1~4000 册

定 价 35.00 元

ISBN 978-7-5606-1992-7/TN·0409

XDUP 2284001-1

*** 如有印装问题可调换 ***

本社图书封面为激光防伪覆膜，谨防盗版。

前

言

微波技术与天线同雷达、通信、导航等密切相关,实际应用相当广泛,在军事和国民经济建设中不可或缺,其重要性与日俱增。

“微波技术与天线”是电子与通信类专业本科生必修的一门专业基础课,课程涵盖的内容是电子与通信类专业本科学生所应具备知识结构的重要组成部分。在本书的编写中,力求能够比较全面、系统地论述微波技术与天线的基础知识、基本原理,尽可能简明扼要地介绍微波传输、微波网络、天线和电波传播等知识。本书从“微波技术与天线”课程的教学要求出发,参考了国内使用较为广泛的多本优秀教材,并基于作者多年的教学实践经验。通过本书的学习,可使学生掌握微波技术与天线的基本概念、基本性质、基本规律以及求解问题的基本方法,培养学生从“场”和“路”的角度分析问题和解决问题的能力,为今后学习其它后续课程或从事微波、天线方面的研究和工程设计打下良好的基础。

本书共8章(不含绪论),分为两篇。第一篇为微波技术,包括传输线理论、微波网络基础、无源微波元件等3章内容。本篇从“路”的观点出发,阐述了传输线理论,介绍了反射系数、驻波比、阻抗、圆图和阻抗匹配等概念;采用“场”与“路”相结合的方法,讲述了微波网络的基本理论,其中包括微波网络参数、网络矩阵和工作特性参量;介绍了各种常用微波元件的结构、工作原理和应用。第二篇为天线与电波传播,分为两部分,天线部分包括天线理论基础、对称振子与阵列天线、常用线天线、面天线理论和常用面天线等4章内容,阐述了天线基础知识,介绍了各种常用天线的结构、工作原理和用途;电波传播部分(第8章)概述了电波传播的基本理论,包括地面波、天波、视距波传播的过程、规律及场强的计算方法。每章前、后分别有摘要和总结,指出学习要点,总结重点;每章中有典型例题讲解及大量习题,帮助学生加深理解,巩固所学知识,提高分析问题和解决问题的能力。

本书可作为电子与通信类专业本科生教材,也可作为有关工程技术人员的参考书。本课程的参考学时为60学时。

本书由空军工程大学电讯工程学院曹祥玉教授主持编写,其中,第1、2章由高军编写,第3章由曾越胜编写,第4~7章由曹祥玉编写,第8章由杨芳编写。曹祥玉对全书进行了统稿。刘涛、徐晓飞、王伟、马佳骏、文曦、姚旭和李晓刚等也为本书做了大量的工作。

本书在编写过程中得到了空军工程大学电讯工程学院各级领导和许多同志的支持与帮助,在此表示衷心的感谢。对本书参考的相关教材的作者致以诚挚的谢意。

感谢西安电子科技大学出版社为编者提供了难得的机会,并为本书出版付出了大量辛勤的劳动。

由于编写时间较仓促,加上编者水平有限,书中难免有错误和不当之处,殷切希望读者批评指正。

编者

2007年11月15日

1.7.2	双支节匹配	49
1.8	微带传输线	53
1.8.1	带状线	53
1.8.2	微带	55
	本章小结	57
	习题一	59
第2章	微波网络基础	63
2.1	微波网络的基本概念	63
2.1.1	引言	63
2.1.2	微波网络的分析模型	64
2.1.3	微波网络的分类	66
2.2	微波网络的电路矩阵	66
2.2.1	阻抗参数、导纳参数和转移参数矩阵	67
2.2.2	电路矩阵参数的互换	68
2.2.3	归一化电路矩阵	68
2.2.4	双端口微波网络的组合	70
2.3	散射矩阵	70
2.3.1	端口波变量	71
2.3.2	归一化散射矩阵	72
2.3.3	散射矩阵与电路矩阵的互换	73
2.3.4	散射矩阵的性质	74
2.4	基本单元电路的网络参数	76
2.5	微波网络的一般特性	79
2.5.1	双端口网络	79
2.5.2	无耗三端口网络	81
2.5.3	无耗四端口网络	81
2.6	双端口微波网络的工作特性参量	84
2.6.1	插入驻波比 ρ	84
2.6.2	传输系数	84
2.6.3	功率衰减	85
2.6.4	插入相移	85
	本章小结	86
	习题二	87
第3章	无源微波元件	90
3.1	波导中的电抗元件	90
3.1.1	波导中的膜片	90
3.1.2	波导中的销钉和螺钉	93
3.1.3	波导中的 T 形接头	95
3.2	微带电路中的不连续性	96
3.2.1	微带开路端	96
3.2.2	串联间隙	97

3.2.3	匹配拐角	97
3.2.4	阶梯	98
3.2.5	T形接头	98
3.3	连接元件和终接元件	99
3.3.1	波导抗流接头	99
3.3.2	波型变换器	101
3.3.3	终接元件	101
3.4	衰减器和相移器	103
3.5	定向耦合器	104
3.5.1	分支定向耦合器	105
3.5.2	平行耦合线定向耦合器	107
3.6	微波分路元件	109
3.6.1	波导双T和魔T接头	109
3.6.2	折叠双T接头	110
3.6.3	混合环	110
3.6.4	微带功分器	111
3.7	微波滤波器	112
3.7.1	微波低通滤波器	113
3.7.2	微波高通滤波器	114
3.7.3	微波带通滤波器	114
3.7.4	微波带阻滤波器	115
3.8	微波谐振器	115
3.8.1	同轴谐振腔	116
3.8.2	矩形谐振腔	117
3.8.3	圆柱谐振腔	119
3.8.4	谐振腔的激励与耦合输出	120
	本章小结	121
	习题三	122

第二篇 天线与电波传播

第4章	天线理论基础	127
4.1	概述	127
4.1.1	天线的主要功能和特性	127
4.1.2	天线的辐射机理	128
4.1.3	天线的分类	132
4.2	天线辐射问题的麦克斯韦方程解	133
4.3	天线的基本辐射单元	135
4.3.1	电基本振子	135
4.3.2	磁基本振子	139
4.3.3	缝隙基本振子	144
4.4	天线的基本电参数	146
4.4.1	方向图函数及方向图	146

70	4.4.2	主瓣宽度、副瓣电平与前后比	149
80	4.4.3	方向性系数、效率和增益	151
80	4.4.4	天线的输入阻抗	154
90	4.4.5	天线的极化	155
90	4.4.6	天线的带宽	157
101	4.4.7	天线的有效长度	157
101	4.5	互易定理与接收天线电参数	159
801	4.5.1	互易定理	159
101	4.5.2	接收天线的等效电路和最大接收功率	163
301	4.5.3	有效面积 $A_e(\theta, \varphi)$	164
701	4.5.4	等效噪声温度	166
901		本章小结	169
901		习题四	170
1011		第 5 章 对称振子与阵列天线	173
111	5.1	对称振子天线	173
121	5.1.1	对称振子上的电流分布	173
131	5.1.2	对称振子的远区辐射场和方向图	174
141	5.1.3	对称振子的主要特性参量及辐射场统一表达式	177
141	5.1.4	印刷对称振子	181
211	5.2	天线阵	182
211	5.2.1	二元天线阵	183
311	5.2.2	N 元均匀直线式天线阵	186
711	5.2.3	方向图乘积定理及其应用	197
911	5.3	地面对天线方向图的影响	209
1011	5.3.1	镜像法	209
1311	5.3.2	理想导电面上的垂直对称振子	211
1311	5.3.3	理想导电面上的水平对称振子	213
	5.3.4	镜像原理在阵列天线中的应用	214
	5.4	自适应天线	216
751	5.4.1	自适应天线的基本结构	216
	5.4.2	自适应天线的工作原理	217
751	5.4.3	最佳准则和自适应算法	218
751	5.4.4	自适应天线的基本用途	219
851		本章小结	220
851		习题五	221
851		第 6 章 常用线天线	224
251	6.1	水平对称天线	224
351	6.1.1	双极天线	224
141	6.1.2	笼形天线	230
141	6.1.3	折合振子天线	231
31	6.2	直立天线	233

6.2.1	直立架设天线	234
6.2.2	直立天线性能的改善	235
6.2.3	几种常见的直立天线	237
6.3	环天线	240
6.4	线天线的馈电	242
6.4.1	平行双线馈电	242
6.4.2	同轴传输线馈电	243
6.5	行波天线	246
6.5.1	菱形天线	246
6.5.2	鱼骨形天线	253
6.5.3	引向天线(八木天线)	254
6.5.4	背射天线	261
6.5.5	对数周期天线	261
6.5.6	螺旋天线	269
6.6	电视发射天线	274
6.6.1	正交振子	275
6.6.2	电视发射天线(蝙蝠翼天线)	276
6.7	缝隙天线	277
6.7.1	有限金属平面上的缝隙天线	277
6.7.2	波导缝隙天线	278
6.7.3	谐振式缝隙阵	280
6.7.4	非谐振式缝隙阵	281
6.8	微带天线	282
6.8.1	微带天线辐射原理	282
6.8.2	辐射场及方向图函数	283
6.8.3	微带天线阵	285
	本章小结	285
	习题六	286
第7章 面天线理论和常用面天线		288
7.1	面天线理论	288
7.2	惠更斯-菲涅耳原理	289
7.3	等效原理和面元的辐射场	290
7.3.1	等效原理	290
7.3.2	惠更斯源的场	290
7.4	平面口径辐射场特性	292
7.4.1	矩形同相口径的辐射场	292
7.4.2	圆形同相口径的辐射场	298
7.4.3	口径场相位分布对方向图的影响	299
7.5	喇叭天线	303
7.5.1	喇叭天线的结构及分类	303
7.5.2	喇叭天线的口径场分布	304
7.5.3	喇叭天线的方向性	306

7.5.4	喇叭天线的设计	309
7.5.5	喇叭天线的阻抗及匹配	312
7.6	反射面天线	312
7.6.1	旋转抛物面天线	313
7.6.2	卡赛格伦天线	319
7.6.3	赋形抛物面天线	322
	本章小结	324
	习题七	324
第 8 章 电波传播		326
8.1	引言	326
8.2	无线电波在自由空间内的传播	330
8.2.1	自由空间传播时的场强及接收功率	330
8.2.2	自由空间基本传播损耗 L_0	331
8.2.3	实际电道传播损耗 L 和基本传播损耗 L_w	331
8.3	地面波传播	332
8.3.1	地球表面的特性	332
8.3.2	大地对电波的吸收与波前倾斜的概念	334
8.3.3	地面波场强的计算	336
8.3.4	不均匀性对电波传播的影响	340
8.3.5	地下和水下传播	342
8.4	天波传播	346
8.4.1	电离层的形成、结构与变化	346
8.4.2	电离层的等效电参数	349
8.4.3	电波在电离层中的传播	351
8.4.4	短波天波传播	355
8.4.5	中波天波传播	360
8.4.6	长波天波传播	362
8.5	视距波传播	362
8.5.1	视线距离与亮区场的计算	362
8.5.2	地形起伏对微波传播的影响	370
8.5.3	低空大气层对微波传播的影响	374
	本章小结	378
	习题八	380
参考文献		382

绪 论

0.1 微波与微波技术

1. 微波与微波技术的概念

微波是一种频率非常高的电磁波。微波技术以电磁场理论为基本依据,其主要研究的对象是微波。微波技术是在20世纪初发展起来的,雷达的研制,微波通信和卫星通信的兴起,微波波谱、微波生物、微波超导等交叉学科的形成,使微波技术不断完善并得到了飞速发展。微波技术在军用、民用和科学研究方面都得到了极其广泛的应用。

如果把电磁波按波长(或频率)划分,则可以把300 MHz~3000 GHz(对应空气中波长 λ 是1 m~0.1 mm)这一频段的电磁波称为微波,如表0.1-1所示。

表 0.1-1 微波波段的划分

频段	频率范围	波长范围	波段
特高频(UHF)	300~3000 MHz	1~0.1 m	分米波
超高频(SHF)	3~30 GHz	10~1 cm	厘米波
极高频(EHF)	30~300 GHz	10~1 mm	毫米波
至高频(THF)	300~3000 GHz	1~0.1 mm	丝米波

在通信和雷达工程中,又将微波波段划分为更细的分波段,如表0.1-2所示。

表 0.1-2 微波波段的代号及对应的频率范围

波段	频率/GHz	波段	频率/GHz
UHF	0.3~1.12	Ka	26.5~40.0
L	1.12~1.7	Q	33.0~50.0
LS	1.7~2.6	U	40.0~60.0
S	2.6~3.95	M	50.0~75.0
C	3.95~5.85	E	60.0~90.0
XC	5.85~8.2	F	90.0~140.0
X	8.2~12.4	G	140.0~220.0
Ku	12.4~18.0	R	220.0~325.0
K	18.0~26.5		

微波处于超短波和红外光波之间,如图0.1-1所示。对于任何波,波长和频率与波速相关,即

$$v = \lambda f$$

因此,只用一个波长 λ (或频率 f)不能确定是何种波。例如,声波在有些情况下也有与微波相近的波长。在微波频段范围内,一方面,其波长比普通电磁波波长短得多,相应的频率

高得多；另一方面，其波长又比可见光长得多。因而，微波具有自己的特点、应用领域和研究方法，它的产生、传输、辐射、传播也与别的波段不同。这就是把微波波段单独列出来进行专门研究的原因。

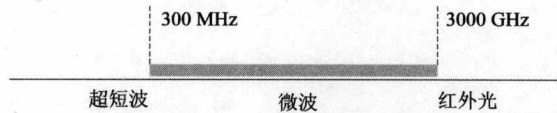


图 0.1-1 电磁波频谱图

2. 微波的特点

微波具有两重性。微波介于一般无线电波与光波之间，它不仅具有电磁波的性质，还具有光波的某些性质。即对于尺寸大的物体，如建筑物、目标体(飞机、导弹、军舰等)，它显示出粒子的特点，即似光性或直线性，而对于相对尺寸小的物体，又显示出波动性。利用微波似光这一特性可获得强方向性、高分辨率的天线，用来发射或接收微波信号，从而为雷达、微波通信、微波着陆引导、卫星通信和卫星导航定位等提供了必要的条件。另外，由于波动性，在微波频段内，电路上各点的电压、电流不能看成是同时建立的，各点电压、电流的振幅和相位也都不相同，必须用分布参数的观点和电磁场的分析方法。这使微波的研究方法与低频电磁波的大不相同。

与普通无线电波相比，微波的频率要高的多，在同样的相对带宽条件下，其可用绝对带宽很宽，故信息容量大，有巨大的信息潜力，且微波波段的电磁波能穿透电离层，因而微波可以用于独特的宇宙通信，它大大扩展了通信通道，开辟了微波通信和卫星通信。

由于微波具有上述特点，使微波技术在通信、雷达、导航、遥感、天文、气象、工业、农业、医疗以及科学研究等方面得到越来越广泛的应用，成为电子科学技术的一个重要分支。

3. 微波技术的主要应用

微波技术的实际应用相当广泛，尤其是近年来随着它的发展，新的应用层出不穷。

1) 在雷达方面的应用

雷达是微波技术的早期应用，事实上正是由于第二次世界大战期间，国防上对于雷达的迫切需要，才使微波技术得以迅速发展。雷达利用目标对电磁波的二次散射特性来获取回波，以此得到被测目标的有关信息，从而实现对被测目标的测距、测向、测速以及目标识别等。

雷达已问世 70 余年，直至今日仍方兴未艾，蓬勃发展，充分展示了它在第二次世界大战及战后各次重大局部战争和国民经济建设中的重要作用。雷达被人们称为千里眼，在现代战争中，由于雷达技术的进步，使交战双方在相距几十千米甚至上万千米，人们还相互看不到时，就已拉开了空战的序幕。这就是现代空间战利用雷达的一个特点——超视距空战。

雷达如按工作频段分，有短波雷达、米波雷达、分米波雷达、厘米波雷达、毫米波雷达、丝米波(亚毫米波)雷达和激光雷达等。大多数雷达工作于微波频段和超短波频段。

2) 在通信方面的应用

由于微波频带宽，信息容量大，因此，微波可用于多路通信。在有线通信方面，利用同轴电缆可以同时传送几千路电话和几路电视信号。在无线通信方面，利用微波的中继接力可传送电视信号；利用微波能穿透电离层的特性，可进行卫星通信和宇航通信；利用外层空间的三颗互成 120° 角的同步卫星，就能实现全球通信和电视实况传播。

3) 在导航与定位方面的应用

无线电导航系统是利用电磁波的传播特性来实现导航的,大多工作在微波波段,用以帮助舰船和空中飞行器确定它们的位置,目前已扩展到包括陆地上及外层空间中一切需要定位的物体(如车辆、导弹和个体单兵等)。主要使用的陆基无线电导航系统有:塔康系统、测距器、微波着陆系统以及地面雷达引导着陆系统等;卫星导航系统有:GPS(全球定位系统)、GLONASS(全球导航卫星系统)、伽利略卫星导航系统以及北斗双星导航定位系统等。

4) 在科学研究方面的应用

微波可以作为科学研究的一种重要手段。根据各种物质对微波吸收的不同,可以用来研究物质的内部结构;利用大气对微波的吸收和反射特性,来观察气象的变化;利用微波来观测天体,可以发现新的星体。此外,在等离子体参量测定、电子直线加速器、精细的频谱分析、基本物理常数的测定等方面都要用到微波技术。

5) 在其它方面的应用

在生物医学中,利用微波可以进行疾病诊断和治疗,微波在生物医学方面的应用呈现出广泛的应用潜力。在能源方面,微波本身可以作为一种能源,用于加热、烘干等,如家用微波炉可以快速、有效、干净地烹调食物。微波卫星电站为解决能源问题带来新的希望。利用高能微波的杀伤机理制成的武器称为微波武器,或称为高功率微波定向能武器(HPW)。其概念有别于传统的枪炮,必将在未来的战场上现身,发挥重要作用。

0.2 天线

对于无线电系统,如通信、广播、电视、雷达、导航、电子对抗、遥测、遥感、射电天文等等,都是通过辐射和接收电磁波来传输信息的。而电磁波的辐射和接收必须依靠天线来完成,即天线是电磁波的“出口”与“入口”。以无线电通信系统为例,从发射机输出的高频功率信号经传输线送到发射天线,发射天线将高频功率变换成空间的辐射波;在接收端,接收天线将入射的空间电磁波变换成高频导波,再经传输线送到接收机。因此,天线可以说是导波和空间波的变换装置,是任何无线电技术设备中用以辐射或接收电磁波的必不可少的重要组成部分之一。

最早的发射天线是 H. R. 赫兹在 1887 年为了验证 J. C. 麦克斯韦根据理论推导所作关于存在电磁波的预言而设计的。当时,赫兹用的接收天线是单圈金属方形环状天线,根据方环端点之间空隙出现火花来指示收到了信号。G. 马可尼是第一个采用大型天线实现远洋通信的,所用的发射天线由 30 根下垂铜线组成,顶部用水平横线连在一起,横线挂在两个支持塔上。这是人类真正付之实用的第一副天线。

在无线电获得应用的最初时期,真空管振荡器尚未发明,人们认为电磁波波长越长,传播中衰减越小。因此,为了实现远距离通信,所利用的波长都在 1000 m 以上。在这一时期应用的是各种不对称天线,如倒 L 形、T 形、伞形天线等。由于高度受到结构上的限制,这些天线的尺寸比波长小很多,因而均属于电小天线的范畴。后来,业余无线电爱好者发现短波能传播很远的距离,A. E. 肯内利和 O. 亥维赛发现了电离层的存在和它对短波的反射作用,从而开辟了短波波段和中波波段领域。这时,天线尺寸可以与波长相比拟,促进了天线的顺利发展。这一时期除塔式广播天线外,还设计出各种水平天线和各种天线阵,

采用的典型天线有：偶极天线(对称天线)、环形天线、长导线天线、同相水平天线、八木天线(八木一字田天线)、菱形天线和鱼骨形天线等。这些天线比初期的长波天线有较高的增益、较强的方向性和较宽的频带，后来一直得到使用并经过不断改进。

虽然早在 1888 年赫兹就首先使用了抛物柱面天线，但由于没有相应的振荡源，一直到 20 世纪 30 年代才随着微波电子管的出现陆续研制出各种面天线。这时已有类比于声学方法的喇叭天线、类比于光学方法的抛物反射面天线和透镜天线等。这些天线利用波的扩散、干涉、反射、折射和聚焦等原理获得窄波束和高增益。第二次世界大战期间出现了雷达，大大促进了微波技术的发展。为了迅速捕捉目标，研制出了波束扫描天线，利用金属波导和介质波导研制出波导缝隙天线和介质棒天线以及由它们组成的天线阵。

从第二次世界大战结束到 20 世纪 50 年代末期，微波中继通信、对流层散射通信、射电天文和电视广播等工程技术的天线设备有了很大发展，建立了大型反射面天线。各种单脉冲天线相继出现，同时频率扫描天线也付诸应用。在 20 世纪 50 年代，宽频带天线的研究有所突破，出现了等角螺旋天线、对数周期天线等宽频带或超宽频带天线。

20 世纪 50 年代以后，人造地球卫星和洲际导弹研制成功，对天线提出了一系列新的课题，要求天线有高增益、高分辨率、圆极化、宽频带、快速扫描和精确跟踪等性能。从 20 世纪 60 年代到 70 年代初期，天线的发展空前迅速。一方面是大型地面站天线的修建和改进，包括卡塞格伦天线的出现，波纹喇叭等高效率天线馈源和波束波导技术的应用等；另一方面，相控阵天线由于新型移相器和电子计算机的问世，以及多目标同时搜索与跟踪等要求的需要，而受到重视并获得了广泛应用和发展。

到 20 世纪 70 年代，无线电频道的拥挤和卫星通信的发展，反射面天线的频率复用、正交极化等问题和多波束天线开始受到重视；无线电技术向波长越来越短的毫米波、丝米波以及光波方向发展，出现了介质波导、表面波导和漏波天线等新型毫米波天线。此外，在阵列天线方面，由线阵发展到圆阵；由平面阵发展到共形阵；信号处理天线、自适应天线、合成孔径天线等技术也都进入了实用阶段。同时，由于电子对抗的需要，超低副瓣天线也有了很大的发展。随着电路技术向集成化方向发展，微带天线引起了广泛的关注和研究，并在飞行器上获得了应用。

随着现代通信技术的飞速发展，对天线提出了许多新的要求，天线的研发主要趋向于小尺寸、宽带和多波段工作、智能方向图控制等几个方面。天线的功能不断有新的突破，促使许多新型天线诞生。例如，为了适应微型化和集成电路的要求，出现了体积小、剖面低的多频多极化微带天线；为适应信息化军事技术的发展，电扫描和多波束天线能同时跟踪多目标；随着电子设备集成度的提高，经常需要一个天线在较宽的频率范围内支持两种或更多种的无线服务，出现了宽带和多波段天线；为适应复杂电磁环境，出现了具有抗干扰能力的自适应天线；尤其是实现第三代移动通信的关键技术——智能天线，除了完成高频能量的转换外，天线系统还对传递的信息进行一定的加工和处理，能够智能化地进行来波到达角(DOA)估计以及具有预定空域特征的数字波束形成(DBF)。目前智能天线技术已成为移动通信领域的研究热点。

天线问世已 100 多年，它在社会生活中的重要性与日俱增，如今已成不可或缺之势。天线无处不在——家庭或工作场所，汽车或飞机里，船舶、卫星和航天器的有限空间里，甚至可以由步行者随身携带。

天线的种类繁多,有到处可见的手机带有的半波天线,也有用于观测数亿光年以远的射电源带有的巨大抛物面天线阵,还有在 2000 km 的中高度地球轨道上 24 颗全球定位卫星所装载的螺旋天线阵,等等。为了适应各种不同用途的需要,人们设计和研制出各种类型的天线。

虽然各种各样的天线令人眼花缭乱,但它们都遵从相同的电磁场基本原理。研究天线的问题就是研究天线所产生的空间电磁场分布以及由其所决定的天线的特性。求解天线问题的实质,就是求解满足特定边界条件的麦克斯韦方程组的解。严格求解天线问题是非常复杂和困难的,因此,对于具体天线问题往往将条件理想化,采取近似处理的方法来获得所需的结果。目前,随着计算机仿真软件不断涌现,人们往往依靠电磁仿真软件进行辅助分析、设计,从而可以更准确地处理天线问题。

展望未来,下述天线技术具有巨大的发展空间和应用前景:

(1) 左手材料(媒质的电磁参数 ϵ 和 μ 是负值)在天线中的应用是一个热门课题。已有的研究进展表明,将左手材料用于天线,利用它奇异的电磁特性有利于天线的集成和一体化,可以明显地改善天线的辐射特性。

(2) 等离子体的独特性质给天线的发展注入了新的动力和广阔的应用前景,值得引起天线界的高度重视。

0.3 电波传播

电波传播是指无线电波在地球、地球大气层和宇宙空间中的传播过程。电波受媒质和媒质交界面的作用,产生反射、散射、折射、绕射和吸收等现象,使电波的特性参量如幅度、相位、极化、传播方向等发生变化。电波传播研究无线电波与媒质间的这种相互作用,阐明其物理机理,计算传播过程中的各种特性参量,为各种无线电技术设备的方案论证、最佳工作条件选择和传播误差修正等提供数据和资料。

电波传播基本上是按研究对象进行分类的。由于电波传播是研究电波和媒质间的作用过程,因而电波和媒质都是研究的对象,这样就形成了电波传播按电波频率(波段)划分和按媒质划分两类方法。按频率分类,有极长波传播、超长波传播、长波传播、中波传播、短波传播、超短波传播、微波传播和毫米波传播等;按媒质分类,则有地下电波传播、地面波传播、对流层电波传播、电离层电波传播和磁层电磁波传播等。这两种分类基本上是“平行”的和彼此对应的,但又是互相交叉的。

电波传播同无线电技术设备关系非常密切。首先,电波传播探测需要利用通信、雷达、无线电导航和天线等技术设备,数据处理和测试控制则须利用电子计算机,而电波传播的研究成果也为这些系统设计、运转和参数预报服务。

电波传播在无线电技术设备中的应用非常广泛,几乎所有的无线电技术设备都要涉及电波传播问题,都要利用电波传播。早期的电波传播研究就是为了建立和改善无线电通信而开展起来的。随着电子技术的发展,无线电技术设备日新月异,提出各种各样的电波传播问题。正是这些实际应用中的问题,成了电波传播研究的出发点和动力,促使电波传播研究向前发展。反过来,电波传播每一新的发现和进展,也都为无线电技术设备开辟了新的技术途径。电波传播对无线电技术设备起着技术基础的作用。

无线电技术设备工作频段需要根据系统技术指标和电波传播特性来选择。以水下潜艇通信为例,为了使无线电信号穿过海水而不遭受太大的损耗,只能选用在海水中吸收损耗小的超长波或更长的波段。超远程精密导航系统选用长波和超长波,就是因为这样的电波沿地面的传播衰减很小,而且相位和幅度都相当稳定。短波可以有效地经电离层反射达到数千、上万千米的距离,与长波、超长波相比较,传输容量较大,天线方向性也较强,所以,远距离的通信、广播、航海移动通信,还有超视距雷达等,都常用这一波段。然而,大容量、高质量和高可靠度的无线电通信和高分辨率雷达等,却必须使用超短波、微波甚至波长更短的波。

无线电技术设备必须考虑的另一电波传播问题是传播衰减预计。通信、广播和导航系统必须有足够的辐射功率,以便经过传播的波在接收端能够保证有足够的信噪比,为此就需要预计单向传播衰减。为使所有的无线电技术设备互不干扰,每一无线电发射系统还应保证不干扰其他系统,这又需要预计干扰场强,即电磁兼容性研究。

无线电技术设备的电路设计在很大程度上是电波传播条件设计。如通信站址选择、天线架设高度和仰角的确定以及如何采取有效的分集接收措施以减轻衰落等,都要根据电波传播规律来进行。另外,系统设计还要适应传播信道的特性。例如,传输容量或传输速率都不能超过传播信道所容许的限度。

0.4 本书的内容及研究方法

本书的内容涵盖微波技术、天线与电波传播两部分。

第一部分为微波技术,主要研究微波传输方面的基本理论,它是研究其它方面问题的基础。第1章从“路论”的观点研究普通的 TEM 波传输线,给出传输线的基本概念、传输特性、计算公式及 Smith 圆图,这一章是微波传输线的基础。第2章介绍四种微波网络参数,重点是 S 参数,它是分析微波元部件及微波电路的基础,把一些“场”的问题转变为用“路”的方法进行分析。第3章介绍无源微波元件,包括波导中的电抗元件及微带电路中的不连续性、微波连接元件和终接元件、定向耦合器及微波分路元件、常用微波滤波器、微波谐振腔等。

第二部分为天线与电波传播,主要研究天线的辐射规律和电磁波的传播规律。第4章至第7章介绍天线的基本理论,对典型线天线和面天线进行了分析并介绍了其工作原理及电特性,为拓宽知识面以适应宽口径培养的需要,结合当前的科研动态介绍了相应的技术。第8章介绍电波传播的基本理论和分类,包括各种电波在空间的传播特点和应用。在微波技术、天线与电波传播中所涉及的理论问题,基本上属于电磁场的范畴,必须根据经典的电磁场理论进行研究,即根据麦克斯韦方程对各种特定的边值问题进行求解,这就是人们常说的“场解”。这一方法对规则的边界条件可以得到严格的解析解,但对复杂的边界条件,其求解过程往往非常繁杂、冗长,甚至难以得到其解。因此,对于一些本质上属于场但在一定条件下可以转化为电路的问题,可以应用“路”的方法进行求解。“微波网络基础”一章就是化“场”为“路”进行分析的。所以,在研究工程中的电磁场问题时,常常将“场解法”与“路解法”结合起来使用。

第一篇

微波技术