

高等学校教材

微波原理与技术

赵克玉 许福永 编著



高等教育出版社
Higher Education Press

TN015

34

高等学校教材

微波原理与技术

赵克玉 许福永 编著

高等教育出版社

内容提要

本书参考教育部有关专业教材编审委员会制定的教学大纲编写而成。书中从理论与实际的结合上系统地阐明了微波技术的基本概念、基本原理、基本技术和微波应用的方法。除绪论外全书共9章,内容包括:传输线理论、规则波导、其他微波传输线、微波谐振腔、微波网络基础、微波振荡源、常用微波元件、微波测量和微波应用等。每章前有重点要求,后有本章小结,书中选有较多的例题和习题,书末有附录,可供学习和参考。

本书适合于高等学校电子信息科学与技术、电子科学与技术、电子信息工程、通信工程专业作为72学时或54学时(除去带*号部分)的“微波技术”课程的教材,也可供有关教师、研究生和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

微波原理与技术 / 赵克玉, 许福永编著. —北京: 高等教育出版社, 2006. 8

ISBN 7-04-019012-5

I. 微... II. ①赵... ②许... 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(2006)第 073738 号

策划编辑	刘激扬	责任编辑	李葛平	封面设计	于文燕
责任绘图	朱 静	版式设计	张 岚	责任校对	王 雨
责任印制	毛斯璐				

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100011
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京宏伟双华印刷有限公司

开 本 787×960 1/16
印 张 31.5
字 数 590 000
插 页 1

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2006年8月第1版
印 次 2006年8月第1次印刷
定 价 39.10元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 19012-00

前 言

《微波原理与技术》一书是参考教育部有关专业教材编审委员会制定的教学大纲、在编者长期从事教学、科研实践的基础上编写而成的,适合于高等学校电子信息科学与技术、电子科学与技术、电子信息工程、通信工程和无线电技术等专业作为“微波技术”课程的教材,也可供有关教师、研究生和工程技术人员参考。

学生在学习本课程之前,应具有电子线路的知识,熟悉电磁场理论,具备数学物理方法或工程数学的基础。可按 72 学时或 54 学时(删去打“*”的部分)组织教学。

目前非微波技术专业多以微波传输线为主线开设“微波技术”课程,且不大可能再开设微波方面的后续课。考虑到这一现状和微波技术的应用越来越广泛的现实,本书的内容在以微波传输线为主线的同时,在一定深度和广度的层面上有所扩展。通过本课程的学习,要求学生较完整、较全面、较系统地掌握微波的基本理论和基本技术,为今后从事有关实际工作打下坚实的基础。

《微波原理与技术》是在编者参加编写《电磁场与微波技术》(该教材 1989 年由高等教育出版社出版,1992 年获原国家教委优秀教材一等奖)后,继续从事教学工作的基础上编写而成的。全书除绪论外共 9 章,内容包括:传输线理论、规则波导、其他微波传输线、微波谐振腔、微波网络基础、微波振荡源、常用微波元件、微波测量和微波应用等。每章前有重点要求,后有本章小结,书中选有较多的例题和习题,书末有附录,可供读者学习和参考。教材可分为基本部分、选学部分和自学部分(后两部分打有“*”号)。编者力争做到内容翔实,条理清楚,概念准确,图文并茂,说理明白,便于教也便于学。

本书第五章由许福永编写,其余内容由赵克玉编写,赵克玉负责统稿。编者对《电磁场与微波技术》一书的主编陈孟尧教授以及本书所引用参考文献的作者表示感谢。编者亦对兰州大学信息科学与工程学院的李月娥、丁光泽、马阿宁、吕英奇和曹斌照等同志在文字输入等方面所做的部分工作表示感谢。

由于编者的水平有限,书中难免有错误和不妥之处,欢迎读者批评指正。

编者

2006.2

目 录

绪论	1
第一章 传输线理论	5
重点要求	5
1.1 传输线方程及其解	5
1.1.1 均匀传输线及其等效电路	5
1.1.2 传输线方程及其解	6
1.2 传输线的传输特性	9
1.2.1 传播常数	9
1.2.2 相速	10
1.2.3 特性阻抗	10
1.2.4 反射系数	11
1.2.5 驻波系数	12
1.2.6 传输功率与传输效率	13
1.3 无耗传输线的传输特性	13
1.3.1 无耗传输线上的电流和电压	14
1.3.2 无耗传输线的传输参量	14
1.3.3 无耗传输线的工作状态	14
1.3.4 无耗传输线的输入阻抗	17
1.3.5 四分之一波长段和二分之一波长段的性质	19
1.3.6 无耗传输线的传输功率、传输效率与功率容量	20
1.3.7 无耗传输线的应用	21
1.4 阻抗圆图与导纳圆图	26
1.4.1 反射系数在复平面上的表示	26
1.4.2 阻抗圆图	27
1.4.3 导纳圆图	29
1.5 传输线的阻抗匹配及其方法	33
1.5.1 信号源与端接传输线的阻抗匹配	33
1.5.2 共轭匹配	34
1.5.3 负载阻抗匹配	35
本章小结	40
习题一	42

第二章 规则波导	47
重点要求	47
2.1 规则波导的一般理论	47
2.1.1 纵向场法	47
2.1.2 赫兹矢量法	50
2.1.3 波动方程解的确定	53
2.1.4 波导的传输参量	54
2.2 矩形波导	59
2.2.1 矩形波导中传输的波型	60
2.2.2 矩形波导的截止特性	63
2.2.3 矩形波导基波的传输特性	64
2.3 圆形波导	80
2.3.1 圆形波导中传输的波型	80
2.3.2 圆形波导中几个主要波型的特性	85
2.4 同轴线	93
2.4.1 同轴线中的 TEM 波	94
2.4.2 同轴线中的 TM 波	96
2.4.3 同轴线中的 TE 波	98
2.5 带状线、微带与微波集成电路	102
2.5.1 带状线	102
2.5.2 微带	109
2.5.3 微波集成电路	120
本章小结	123
习题二	128
第三章 其他微波传输线	131
重点要求	131
3.1 脊形波导	131
3.1.1 脊形波导的截止波长	132
3.1.2 脊形波导的等效阻抗	137
3.1.3 脊形波导的衰减	138
3.2 加鳍波导、鳍线与共面波导	138
3.2.1 加鳍波导	138
3.2.2 鳍线	140
3.2.3 共面波导	142
3.3 H 形金属介质波导	142
3.3.1 H 形波导的分析模型	143

3.3.2 H 形波导中的纵磁波(LM 波)	143
3.3.3 H 形波导的特性	146
3.4 椭圆波导	147
3.4.1 在椭圆双曲柱面坐标系中电磁场的纵向分量满足的波动方程	147
3.4.2 椭圆波导中的 E 波	148
3.4.3 椭圆波导中的 H 波	150
3.4.4 椭圆波导的传输特性	151
3.5 槽波导	154
3.5.1 波导阶跃节及其等效网络	155
3.5.2 横向谐振阶梯近似等效网络法分析曲线形槽波导的传输特性	156
3.6 螺旋波导	158
3.6.1 “快波”螺旋波导	159
3.6.2 “慢波”螺旋线	162
3.7 介质线	164
3.7.1 介质线传输的横磁表面波	164
3.7.2 介质线的 TM_{0i} 波	165
3.7.3 介质线的特性	166
3.8 光纤	167
3.8.1 光纤的一般性质	167
3.8.2 光纤的传输模式	170
3.8.3 光纤的主要参量	172
3.8.4 光纤通信	175
3.8.5 光耦合	176
本章小结	179
习题三	179
第四章 微波谐振腔	181
重点要求	181
4.1 谐振腔的基本参数	182
4.1.1 谐振波长	182
4.1.2 品质因数	183
4.1.3 等效电导	184
4.2 矩形谐振腔	185
4.2.1 矩形谐振腔中的 TE 模和 TM 模	186
4.2.2 矩形谐振腔的谐振波长	186
4.2.3 矩形谐振腔的主模	187
4.2.4 矩形谐振腔的模式图	188
4.3 圆柱形谐振腔	191

4.3.1 圆柱形谐振腔的振荡模式	191
4.3.2 圆柱形谐振腔的常用振荡模式	193
4.3.3 圆柱形谐振腔的模式图	197
4.4 同轴线谐振腔和微带谐振器	200
4.4.1 同轴线谐振腔	200
4.4.2 微带谐振器	204
* 4.5 非传输线型微波谐振腔	206
4.5.1 环形谐振腔	206
4.5.2 磁控管用谐振腔	209
4.6 谐振腔的等效电路、耦合与激励	212
4.6.1 微波谐振腔等效为并联谐振回路的条件	212
4.6.2 谐振腔的有载品质因数	214
4.6.3 谐振腔的耦合与激励	215
* 4.7 谐振腔的微扰法	217
4.7.1 谐振腔的微扰	217
4.7.2 谐振腔的频率微扰	218
本章小结	222
习题四	226
第五章 微波网络基础	228
重点要求	228
5.1 微波网络及其等效	228
5.1.1 微波网络的基本概念	228
5.1.2 模式电压和模式电流	231
5.1.3 微波传输线等效为平行双根传输线	232
5.1.4 不均匀区等效为网络	235
5.1.5 微波网络的分类	239
5.2 微波网络的电路参量	240
5.2.1 多端口网络的阻抗参量(Z 矩阵)	241
5.2.2 多端口网络的导纳参量(Y 矩阵)	243
5.2.3 双端口网络的转移参量(A 矩阵, 即 $ABCD$ 矩阵)	247
5.3 微波网络的波参量	252
5.3.1 多端口网络的散射参量(S 矩阵)	252
5.3.2 二端口网络的传输参量(T 矩阵)	259
5.3.3 多端口网络的化简	261
5.3.4 参考面移动对散射参量的影响	264
5.4 微波网络参量之间的变换关系	266
5.4.1 电路参量之间的变换关系	266

5.4.2 二端口网络波参量之间的变换关系	267
5.4.3 归一化电路参量与波参量之间的变换关系	268
5.5 二端口微波网络	274
5.5.1 二端口网络的等效电路	274
5.5.2 基本二端口电路单元的网络参量	278
5.5.3 二端口网络的工作特性参量	279
5.5.4 二端口网络的功率增益	285
本章小结	290
习题五	292
第六章 微波振荡源	297
重点要求	297
6.1 速调管	298
6.1.1 反射速调管	298
*6.1.2 多腔速调管	306
6.2 磁控管	308
6.2.1 多腔磁控管的结构	309
6.2.2 电子在正交静电电磁场中的运动	309
6.2.3 磁控管中电子与高频场的作用	312
6.2.4 磁控管的振荡原理	313
6.2.5 磁控管振荡器	315
6.3 行波管	318
6.3.1 “O”型行波管的结构	318
6.3.2 “O”型行波管放大的工作原理	319
6.3.3 行波管放大器	321
*6.4 返波管	322
6.4.1 “O”型返波管的结构	322
6.4.2 “O”型返波管的振荡原理	323
6.4.3 返波管振荡器	324
6.5 体效应二极管振荡器	325
6.5.1 砷化镓的伏安特性和能带结构	325
6.5.2 体效应二极管的工作原理	326
6.5.3 振荡模式	328
6.5.4 体效应二极管振荡器电路	330
*6.6 雪崩二极管振荡器	331
6.6.1 碰撞雪崩渡越时间模	331
6.6.2 俘获等离子雪崩触发放渡越时间模	333
6.6.3 雪崩二极管振荡器	334

6.7 微波场效晶体管振荡器	335
6.7.1 微波场效晶体管	335
6.7.2 微波场效晶体管振荡器	338
*6.8 分子振荡器	339
6.8.1 自发辐射和受激辐射	339
6.8.2 粒子数反转	340
6.8.3 氨分子振荡器	341
*6.9 亚毫米波激光器	342
6.9.1 光泵亚毫米波气体激光器的工作原理	342
6.9.2 光泵亚毫米波气体激光器的实验系统	344
*6.10 回旋管	345
6.10.1 回旋管的结构	346
6.10.2 回旋管的基本工作原理	347
本章小结	351
习题六	353
第七章 常用微波元件	355
重点要求	355
7.1 连接元件与转换元件	355
7.1.1 连接元件	355
7.1.2 转换元件	359
7.2 匹配负载与短路活塞	362
7.2.1 匹配负载	362
7.2.2 短路活塞	363
7.3 衰减器与相移器	365
7.3.1 衰减器	365
7.3.2 相移器	368
7.4 波导分支接头	369
7.4.1 E-T接头与H-T接头	369
7.4.2 双T接头	371
*7.5 桥路	374
7.5.1 环形桥路	374
7.5.2 3 dB 桥	375
7.6 电抗元件与微波滤波器	377
7.6.1 电抗元件	377
*7.6.2 微波滤波器	380
7.7 阻抗变换器	382

7.7.1 单阶梯阻抗变换器	382
*7.7.2 多阶梯阻抗变换器	382
7.7.3 渐变线	384
7.8 定向耦合器	386
7.8.1 波导型定向耦合器	386
7.8.2 微带定向耦合器	388
7.8.3 定向耦合器的特性参数	390
7.9 微波铁氧体隔离器和环行器	391
*7.9.1 微波铁氧体的旋磁性质	391
7.9.2 隔离器	396
7.9.3 环行器	397
*7.10 波导元件的组合	398
7.10.1 平衡天线转换开关	398
7.10.2 环流器	399
7.10.3 双 T 平衡混频器	400
本章小结	400
习题七	402
第八章 微波测量	405
重点要求	405
8.1 微波测量与微波测试系统	405
8.1.1 微波测量	405
8.1.2 微波测试系统	405
8.2 驻波测量	410
8.2.1 最小点位置的测定	410
8.2.2 驻波系数的测量	411
8.3 微波波长和频率的测量	415
8.3.1 微波波长测量	415
8.3.2 微波频率测量	417
8.4 功率测量	418
8.4.1 大功率的测量	419
8.4.2 中、小功率的测量	420
8.5 微波衰减测量与相移测量	423
8.5.1 微波衰减测量	423
8.5.2 微波相移测量	426
*8.6 二端口网络散射参量测量	428
8.6.1 三点法测量二端口网络散射参量的原理	429

8.6.2 三点法测量二端口网络散射参量的方法	430
*8.7 扫频法测量品质因数	431
8.7.1 扫频法测量品质因数的原理	431
8.7.2 扫频法测量品质因数的方法	434
本章小结	436
习题八	438
*第九章 微波应用	439
重点要求	439
9.1 雷达	439
9.1.1 雷达的基本工作原理和分类	439
9.1.2 单脉冲雷达	441
9.1.3 多普勒雷达	442
9.2 微波通信	445
9.2.1 通信卫星	445
9.2.2 卫星通信线路	447
9.3 微波检测技术	449
9.3.1 微波测湿	449
9.3.2 悬浮体浓度测量	453
9.3.3 厚度测量	455
9.3.4 微波对材料和结构完整性的检测	456
9.4 微波能的应用	458
9.4.1 微波加热	458
9.4.2 微波在医学上的应用	461
9.4.3 微波在农业上的应用	462
9.4.4 利用微波传输太阳能	463
9.4.5 微波的防护	463
9.5 微波在其他方面的应用简介	465
9.5.1 微波波谱学	465
9.5.2 微波等离子体	466
9.5.3 微波遥感	467
9.5.4 射电天文学	468
9.5.5 微波气象学	469
9.5.6 微波在物理学研究方面的应用	470
9.5.7 微波在超导技术中的应用	471
附录	474
一、常用坐标系的线元、面积元、体积元和与直角坐标系的关系	474
二、常用矢量公式	474

三、贝塞尔函数	477
四、常用物理量值	481
五、某些常用材料的电特性	481
六、分贝换算表	484
七、国产矩形波导管标准尺寸	485
八、常用国产同轴线射频电缆特性参量	486
主要参考书目	487

绪论

一、什么是微波

微波是波长很短的电磁波,通常把波长从 0.1 mm 到 1 m 的电磁波划为微波波段。微波在电磁波频谱中的位置如图 1 所示。由图可见,微波在电磁波频谱中是一个很小的波段。根据波长,微波可分为分米波(波长从 0.1 m 到 1 m)、厘米波(波长从 1 cm 到 10 cm)、毫米波(波长从 1 mm 到 1 cm)、亚毫米波(波长从 0.1 mm 到 1 mm)。

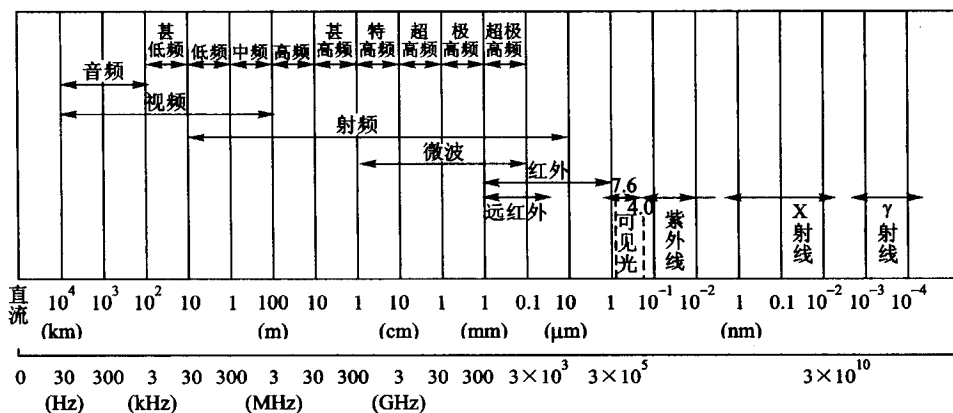


图 1 电磁波频谱图

在微波工程中,微波又可划分为如表 1 所示的许多波段,常用的有:“S”波段,波长为 10 cm 左右;“X”波段,波长为 3 cm 左右;“Q”波段,波长为 8 mm 左右。

表 1 微波波段的划分

波 段	频率范围/GHz	波 长	波 段	频率范围/GHz	波 长
UHF	0.3 ~ 1.12	1 ~ 0.27 m	Ka	26.5 ~ 40.0	1.1 ~ 7.5 mm
L	1.12 ~ 1.7	0.27 ~ 0.18 m	Q	33.0 ~ 50.0	9.1 ~ 6.0 mm
LS	1.7 ~ 2.6	0.18 ~ 0.12 m	U	40.0 ~ 60.0	7.5 ~ 5.0 mm
S	2.6 ~ 3.95	12 ~ 7.6 cm	M	50.0 ~ 75.0	6.0 ~ 4.0 mm
C	3.95 ~ 5.85	7.6 ~ 5.1 cm	E	60.0 ~ 90.0	5.0 ~ 3.3 mm
XC	5.85 ~ 8.2	5.1 ~ 3.7 cm	F	90.0 ~ 140.0	3.3 ~ 2.1 mm
X	8.2 ~ 12.4	3.7 ~ 2.3 cm	G	140.0 ~ 220.0	2.1 ~ 1.4 mm
Ku	12.4 ~ 18.0	2.3 ~ 1.7 cm	R	220.0 ~ 325.0	1.4 ~ 0.9 mm
K	18.0 ~ 26.5	1.7 ~ 1.1 cm			

二、微波的特性

既然微波是电磁波频谱中一个很小的波段,那么,为什么它会受到人们的重视?又为什么在近代无线电技术中要把微波与其他波段的电磁波区分开来,单独地加以研究呢?这是由于微波是特定波长的电磁波,它不仅具有一般无线电波的性质,还有它自身的、特殊的物理属性。

1. 微波的波长短

在低频下,线路尺寸远小于波长,如传输 50 Hz 市电的输电线,即使 60 km 长,也仅有 0.01λ 。因此线上任何地方,在同一时刻,均可以认为电流、电压是相等的,无需考虑电路的分布效应。此时,电场和磁场的能量分别集中于电容和电感,电磁能量只消耗在电阻上,而连接元件的导线既无电感、电容,也不消耗能量,这样的电路系统称为“集总参数系统”。与低频无线电波相比较,微波波长很短,微波电路系统内传输线的几何长度 l 和元(器)件的几何尺寸大于微波波长或者可以与微波波长比拟,系统中各点的电磁场不仅是时间的函数,而且还是空间的函数。此时系统内的电场和磁场呈分布状态,与电场能量相联系的电容和与磁场能量相联系的电感以及与能量损耗相联系的电阻和电导也都是分布式的,因而传输线本身的电容、电感、串联电阻和并联电导等效应均不能被忽略,这样就构成了所谓的“分布参数系统”(分布参数电路)。

微波波长比地面上的宏观物体——飞机、舰船、卫星、导弹、建筑物等的线度要小得多,因而当微波照射到这些物体上将产生强烈的反射,雷达就是根据这一原理工作的。

微波通过导线、元件、物体时所产生的损耗包括辐射损耗、介质损耗和导体损耗三部分,它们分别和物体的线性尺寸与电磁波波长之比(l/λ)的平方、一次方和平方根成正比。对于传输线而言,随着波长减小,损耗急剧增加,以致难以有效地传输能量。某些物质吸收微波后将产生热效应,因此可利用微波作为加热、烘干的手段。

2. 微波的宽频带特性

微波波段相应的频率为 300 MHz ~ 3000 GHz,其带宽是长波、中波、短波、超短波等所有低频无线电波带宽的 1000 倍!众所周知,单路电话需要 4 kHz 的带宽,一般的语言广播需要 8 ~ 9 kHz,调幅广播需要 15 kHz,调频广播需要 150 kHz,而黑白电视则需要 4 MHz,彩色电视需要 10 MHz 的带宽。随着无线电技术的发展,从长波、中波到短波逐步提供并实现了这些要求。但要进行多路通信,短波已不能满足要求,而微波提供了可能。如在 8 ~ 9 mm 波段的带宽为 4200 MHz,可传输 850000 路电话或 1000 路电视节目。即使中心频率为 10 GHz,带宽 1% 也可达 100 MHz,完全能够满足多路通信的要求。电磁频谱是一种有限

的、宝贵的资源,利用和开发微波波段有着重要的意义。

3. 微波的物理特性

(1) 量子特性

地球大气层外被厚厚的电离层包围着,低频无线电波射向电离层时,由于吸收、反射等原因无法穿过。而微波频率高,微波粒子的量子能量与光波相近,比低频无线电波的量子能量大得多,可以毫无阻碍地穿透电离层到达宇宙空间。因而微波是人类探测外层空间的“宇宙之窗”,为空间技术、宇宙通信、射电天文等开辟了广阔的前景。

根据量子理论,电磁辐射的能量是不连续的,是由一个个的光子组成。微波粒子的量子能量 $h\nu$ 大约为 $10^{-2} \sim 10^{-6} \text{ eV}$,可与某些物质的能级跃迁能量相比拟。一般顺磁物质在磁场作用下所产生的许多能级间的能量差约为 $10^{-4} \sim 10^{-5} \text{ eV}$,因而电子在这些能级间跃迁所放出的量子或吸收的量子属于微波范围。也就是说,微波粒子的量子能影响分子或原子间的能级跃迁,从而可以用来研究分子和原子结构。

在温度接近 0 K 时,每个自由度的热能量也恰好落在微波范围,因而在低温时,物质吸收一个微波量子就有可能产生显著的效应,固体量子放大器就是在此基础上发展起来的。

(2) 似光性

微波的波长介于一般无线电波与光波之间,它不仅具有无线电波的性质,还具有光波的某些属性,如直线传播、反射、折射、绕射、干涉等。某些几何光学原理,如惠更斯原理、镜像原理、多普勒效应、透镜聚焦等也适用于微波。

(3) 电子惯性

微波振荡的周期约为 $10^{-8} \sim 10^{-12} \text{ s}$,与低频电子管内电子从阴极到阳极的渡越时间 10^{-10} s 可以比拟,因而电子的渡越时间不能忽略,必须考虑电子的惯性。在微波波段,低频电子管的栅极将失去控制作用,阳极电流波形畸变,阳极与栅极回路内损耗增加,功率下降,电子管完全不能工作。因此,在微波波段必须寻求新的电子器件。

三、微波的发展和应用

微波科学与技术的发展可以追溯到 19 世纪后期,特别是在 1940 年前后,由于战争和军事上的迫切需要,为了研制微波波段的雷达,对波导、微波元件、天线等进行了深入的研究,微波技术得到了巨大的发展,出现了第一个黄金时代。第二次世界大战后,微波在理论和技术方面继续得到发展和提高。在理论上建立错综复杂的边界条件和求解,应用上扩展到国防以外的许多科研和生产领域。1970 年前后,微带和固体器件的出现,小型、轻量的微波设备为航天事业和空间

技术的发展开辟了广阔的前景,从而出现了微波技术发展的又一个新时期。目前,微波技术正向着固态化、集成化、短波长、高功率的方向迅速发展。

微波技术的发展是和它的实际应用分不开的,它不仅吸引着从事微波工作的专业工作者,也引起从事其他工作的人们的重视。如今微波对于许多人来说已不是一个陌生的名词了。

微波应用方面,在军事上有种类繁多、用途极广的各类雷达,可以用于制导、导航、侦察、搜索、跟踪,近年来又发展起来一些新型的微波武器;在通信方面,多路通信、移动通信、中继通信、卫星通信都在微波频率范围;作为能源来应用,微波可以用于加热烘干,实现选择性加热。可以聚成束能,传输电磁能量;微波用于非电量测量,可以测量湿度、浓度、密度、固化度、线径、厚度、微位移、等离子体的密度和温度等;利用微波生物效应可以诊断、灭菌、治疗多种疾病;在科学研究方面,微波与其他学科结合产生了许多新学科,如微波气象学、微波天文学、微波化学、微波超导电子学、微波遥感、微波加速器、微波等离子体等。本书第九章将详细介绍微波的应用。

必须指出,微波虽然能造福于人类,但由于微波可以不知不觉地穿入人体,在被微波较大剂量、较长期辐射情况下,对人体是有害的。但对微波的防护并不困难,我国已制定了安全可靠的微波辐射标准,只要认真执行,完全可以避免微波对人体的伤害。

四、微波研究的方法

一般来说,在微波频率下,电流、电压不再具有明确的物理意义,此时必须以电场、磁场为研究对象,用麦克斯韦方程结合具体的边界条件,在三维空间中研究电磁场的运动。因此,研究微波主要是用“场”的方法。在低频下,工作波长远大于电路系统的几何尺寸,电路参量是“集总”的,电流、电压及阻抗是基本量,可以用欧姆定律、基尔霍夫定律来解决电路问题,这就是所谓“路”的方法。

“场”和“路”的研究方法虽然不同,但它们的理论是紧密联系、互为补充的。如电场与电压对应,磁场与电流对应,在低频下由麦克斯韦方程可以得到基尔霍夫定律。显然,“场”的方法比较复杂,“路”的方法比较简单。微波技术中,在一定条件下,微波电路可以等效为低频电路,用“路”的方法来求解,化“场”为“路”是一种有效的、不可忽视的方法。