

高等学校教材



射频/微波电路导论

雷振亚 编著

西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

高等学校教材

射频/微波电路导论

雷振亚 编著

西安电子科技大学出版社

2005

内 容 简 介

本书以常用微波概念和微波电路专题为线索,避免繁琐的公式推导,重点介绍常用的微波知识,侧重于工程实际。全书共13章,涵盖微波无源元件、有源电路、天线、射频/微波系统、微波常用单位等内容。每种电路都有设计实例和常见结构、指标等。各部分内容相对独立,概念清晰,使得读者能够尽快理解基本内容,掌握设计方法,配合实验测试掌握关键指标和调试方法。

本书可用作电子类相关专业射频/微波电路课程的教材,也可用作科研、工程技术人员的培训教材或参考书。

图书在版编目(CIP)数据

射频/微波电路导论/雷振亚编著.

—西安:西安电子科技大学出版社,2005.8

高等学校教材

ISBN 7-5606-1557-0

I. 射… II. 雷… III. ①射频电路-高等学校-教材 ②微波电路-高等学校-教材

IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 078702 号

策 划 戚文艳

责任编辑 龙 晖 戚文艳

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: xdupfxb@pub. xaonline.com

经 销 新华书店

印 刷 陕西画报社印刷厂

版 次 2005年8月第1版 2005年8月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 18.625

字 数 441千字

印 数 1~4 000册

定 价 28.00元

ISBN 7-5606-1557-0/TN·0310

XDUP 1848001-1

* * * 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

射频/微波电路是构成通信系统、雷达系统和微波应用系统中的发射机和接收机的关键部件。经过半个多世纪的发展,各种电路的原理日趋成熟,结构形式多样。现代微电子技术和电子材料的不断进步,使得各类接收机和发射机的体积越来越小,功能越来越强。最典型的是个人无线通信,也就是手机技术,可以说,手机代表了当今世界科学领域的多种成就,它集中反映了在电源及电源使用效率、数字电路、模拟电路、半导体技术、信号处理、材料科学、结构工艺等领域的人类智慧。这些内容的核心是射频/微波模拟电路,也就是本书所涉及的内容。当然,手机技术只是射频/微波技术的一个应用实例,本书所介绍的各个电路单元能够用于通信、雷达、导航、识别、空间、对抗、GPS、3G 等各类无线系统中。可以想象:射频/微波技术的发展是永恒的。希望本书的内容能起到抛砖引玉的作用,引导读者尽快进入射频/微波电路领域。

多年来,射频/微波电路给人们的印象是抽象的概念和繁琐的公式。麦克斯韦方程是射频/微波的基本理论,麦克斯韦方程的求解或数值计算是实现射频/微波电路的基本方法。但是,工程中能够严格求解的问题是十分有限的。尤其是有源器件、材料、结构和工艺特性,实际中无法严格把握,难以体现在计算过程中。射频/微波电路的实验调整必不可少。解决工程问题的有效方法是微波网络方法,其散射参数概念清晰,不追究电路内部的电磁场结构,利用等效电路对波能量的传输和反射概念,能够方便地进行电路设计和调试。场论及其计算是解决射频/微波问题的一种方法,但它并不能解决微波领域的所有问题。任何射频/微波电路的根本是能量的传输或变换。因此,在射频/微波电路工程实际中,无需拘泥于电磁场方程,而是要在正确的概念引导下完成各个电路单元的功能。

本书的内容安排思路是:给出电路指标定义,直接引用公式推导结论,交代清楚物理概念,举例说明使用方法和设计过程,强调电路设计和调试中的要领。对于已经很好地掌握了电磁场与微波技术理论的读者,本书可以带您快速进入工程领域;对于相关专业的读者,本书可以带您快速跨入射频/微波技术行列。

射频/微波电路可分为以下三大类:

(1) 微波无源电路,如金属谐振腔滤波器、介质腔体滤波器、微带滤波器、功率分配器、耦合器、程控衰减器等。

(2) 微波有源电路,如微波放大器、微波振荡器、微波调制解调器、开关、移相器、混频器、倍频器、频率合成器、功率放大器等。

(3) 由上述多种元器件构成的微波发射/接收功能模块,或称 T/R 组件。

随着半导体技术的发展,单片微波集成电路(MMIC)已大量进入工程使用阶段。在元器件体积足够小的情况下,射频/微波概念可以适当淡化,像普通低频电路一样进行电路设计,但要使用微波印制板。设计 MMIC 的偏置电路,在射频/微波引线段应考虑匹配。对于新型微波材料主要应考虑环境适应性、高介电常数、低损耗介质。高介电常数介质的使用,可以缩小微带电路的结构尺寸。

本书以射频/微波系统中的常用电路为章次,介绍各种电路的概念和设计方法。全书共13章。第1章为射频/微波工程介绍,第2章为传输线理论,第3章为匹配理论,第4章为功率衰减器,第5章为功率分配器/合成器,第6章为定向耦合器,第7章为射频/微波滤波器,第8章为放大器设计,第9章为射频/微波振荡器,第10章为频率合成器,第11章为其他常用微波电路,第12章为射频/微波天线,第13章为射频/微波系统。掌握这些电路及系统的知识,可以为从事射频/微波工作打下良好的基础。

本书由西安电子科技大学雷振亚确定编写大纲和内容,并撰写全部书稿。感谢叶正贤先生代表 Motech 公司对本书的编写给予的热情鼓励和大力支持,并提供了大量素材。感谢西安电子科技大学硕士研究生叶荣为本书所做的大量具体工作。感谢西安电子科技大学国家电工电子教学基地、电子工程学院、研究生院、天线与微波国防重点实验室的有关领导和同事给予的关心和支持。

由于作者水平有限,加之时间仓促,书中内容定有不妥之处,敬望各位同行和读者提出宝贵意见,作者将诚恳接受,并在后续版本中采纳。此致谢意。

作者
2005年5月

目 录

第 1 章 射频/微波工程介绍	1	2.8.1 波导	30
1.1 常用无线电频段	1	2.8.2 同轴线	32
1.2 射频/微波的重要特性	4	第 3 章 匹配理论	33
1.2.1 射频/微波的基本特性	4	3.1 基本阻抗匹配理论	33
1.2.2 射频/微波的主要优点	5	3.2 射频/微波匹配原理	34
1.2.3 射频/微波的不利因素	5	3.3 集总参数匹配电路	35
1.3 射频/微波工程中的核心问题	5	3.3.1 L 型匹配电路	35
1.3.1 射频铁三角	5	3.3.2 T 型匹配电路	38
1.3.2 射频铁三角的内涵	6	3.3.3 Π 型匹配电路	40
1.4 射频/微波电路的应用	7	3.4 微带线型匹配电路	42
1.5 射频/微波系统举例	8	3.4.1 并联型微带匹配电路	42
1.5.1 射频/微波通信系统	8	3.4.2 串联型微带匹配电路	45
1.5.2 雷达系统	9	3.5 波导和同轴线型匹配电路	46
1.6 射频/微波工程基础常识	11	3.6 微波网络参数	47
1.6.1 关于分贝的几个概念	11	3.6.1 四个参数的定义	47
1.6.2 常用射频/微波接头	12	3.6.2 四个参数之间的转换	49
第 2 章 传输线理论	13	第 4 章 功率衰减器	52
2.1 集总参数元件的射频特性	13	4.1 功率衰减器的原理	52
2.1.1 金属导线	13	4.1.1 衰减器的技术指标	52
2.1.2 电阻	15	4.1.2 衰减器的基本构成	53
2.1.3 电容	16	4.1.3 衰减器的主要用途	53
2.1.4 电感	17	4.2 集总参数衰减器	53
2.2 射频/微波电路设计中 Q 值的概念	18	4.2.1 同阻式集总参数衰减器	54
2.3 传输线基本理论	19	4.2.2 异阻式集总参数衰减器	55
2.4 无耗传输线的工作状态	20	4.2.3 集总参数衰减器设计实例	55
2.4.1 负载端($z=0$ 处)情况	20	4.3 分布参数衰减器	58
2.4.2 输入端($z=-L$ 处)情况	21	4.3.1 同轴型衰减器	58
2.5 有耗传输线的工作状态	21	4.3.2 波导型衰减器	59
2.6 史密斯圆图	22	4.3.3 微带型衰减器	61
2.7 微带线的理论和设计	23	4.3.4 匹配负载	61
2.7.1 各种传输线介绍	23	4.4 PIN 二极管电调衰减器	61
2.7.2 微带线	23	4.4.1 PIN 二极管	61
2.8 波导和同轴传输线简介	30		

4.4.2 电调衰减器	62	7.2 集总参数滤波器	94
4.4.3 PIN管限幅器	64	7.2.1 集总元件低通滤波器	94
4.5 步进式衰减器	64	7.2.2 集总元件带通滤波器	96
第5章 功率分配器/合成器	65	7.3 各种微带线滤波器	97
5.1 功率分配器的基本原理	65	7.3.1 低通滤波器	97
5.1.1 功率分配器的技术指标	65	7.3.2 带通滤波器	101
5.1.2 功率分配器的原理	66	7.3.3 高通滤波器	106
5.2 集总参数功率分配器	66	7.3.4 带阻滤波器	107
5.2.1 等分型功率分配器	66	7.4 微带线滤波器新技术	110
5.2.2 比例型功率分配器	67	7.4.1 交叉耦合技术	110
5.2.3 集总参数功率分配器的		7.4.2 滤波器的小型化	112
设计方法	68	7.4.3 新材料的应用	114
5.3 分布参数功率分配器	69	7.4.4 高温超导(HTS)射频子系统	
5.3.1 微带线功率分配器	69	简介	115
5.3.2 其他分布参数功率分配器	75	第8章 放大器设计	117
第6章 定向耦合器	76	8.1 放大器的基本原理	118
6.1 定向耦合器的基本原理	76	8.1.1 放大器的指标	118
6.1.1 定向耦合器的技术指标	76	8.1.2 放大器的设计原理	118
6.1.2 定向耦合器的原理	77	8.1.3 放大器的设计思路	121
6.2 集总参数定向耦合器	77	8.1.4 放大器设计中的其他问题	122
6.2.1 集总参数定向耦合器设计方法	77	8.1.5 放大器的设计步骤	122
6.2.2 集总参数定向耦合器设计实例	78	8.2 小信号微带放大器的设计	123
6.3 耦合微带定向耦合器	79	8.2.1 射频/微波晶体管	123
6.3.1 平行耦合线耦合器基本原理	79	8.2.2 三种射频/微波放大器	
6.3.2 平行耦合线耦合器设计方法	80	设计原则	124
6.3.3 平行耦合线耦合器设计实例	80	8.2.3 微带放大器设计实例	125
6.4 分支线型定向耦合器	83	8.3 MMIC介绍	128
6.4.1 分支线型定向耦合器原理	83	8.4 射频/微波功率放大器	130
6.4.2 分支线型定向耦合器设计	83	8.4.1 放大器的工作效率和	
6.4.3 分支线型定向耦合器设计实例	84	功率压缩	130
6.5 环形桥定向耦合器	84	8.4.2 各类功率放大器	133
第7章 射频/微波滤波器	86	8.4.3 对功率放大器的几点说明	141
7.1 滤波器的基本原理	86	第9章 射频/微波振荡器	143
7.1.1 滤波器的指标	86	9.1 振荡器的基本原理	143
7.1.2 滤波器的原理	87	9.1.1 振荡器的指标	143
7.1.3 滤波器的设计方法	88	9.1.2 振荡器的原理	145
7.1.4 滤波器的四种低通原型	88	9.1.3 振荡器常用元器件	149
7.1.5 滤波器的四种频率变换	92	9.2 集总参数振荡器	151
7.1.6 滤波器的微波实现	94	9.2.1 设计实例	151
		9.2.2 电路拓扑结构举例	152
		9.3 微带线振荡器	154

9.4 压控振荡器(VCO)	160	12.2 常见的天线结构	222
9.4.1 集总元件压控谐振电路	160	12.3 单极天线和对称阵子天线	223
9.4.2 压控振荡器电路举例	161	12.4 喇叭天线	225
9.5 变容管倍频器	162	12.5 抛物面天线	226
第10章 频率合成器	164	12.6 微带天线	227
10.1 频率合成器的基本原理	164	12.6.1 微带天线基本知识和矩形 微带天线	228
10.1.1 频率合成器的主要指标	164	12.6.2 微带天线的其他形式	230
10.1.2 频率合成器的基本原理	165	12.6.3 圆盘微带天线的设计实例	231
10.2 锁相环频率合成器 PLL	169	12.7 天线阵和相控阵	234
10.2.1 PLL 各个部件的选购和设计	169	12.7.1 天线阵	234
10.2.2 PLL 的锁定过程	171	12.7.2 相控阵	234
10.2.3 PLL 环的分类	172	第13章 射频/微波系统	237
10.2.4 PLL 设计公式	173	13.1 射频发射机的基本知识	237
10.2.5 环路设计实例	175	13.1.1 发射机基本参数	237
10.2.6 PLL 集成电路介绍	177	13.1.2 发射机基本结构	238
10.3 直接数字频率合成器 DDS	182	13.1.3 上变频器	238
10.4 PLL+DDS 频率合成器	186	13.2 射频接收机的基本知识	241
10.4.1 DDS 作 PLL 参考源	187	13.2.1 射频接收机基本参数	241
10.4.2 DDS 作 PLL 的可编程 分频器	187	13.2.2 接收机基本结构	241
第11章 其他常用微波电路	188	13.2.3 接收机灵敏度	242
11.1 隔离器与环形器	188	13.2.4 接收机灵敏度计算实例	243
11.1.1 隔离器的技术指标	188	13.2.5 接收机的选择性	245
11.1.2 隔离器的原理	189	13.2.6 接收杂波响应	246
11.1.3 环行器	191	13.2.7 接收互调截止点	247
11.2 混频器与检波器	193	13.3 全双工系统	249
11.2.1 混频器的主要技术指标	193	13.4 雷达基本原理	250
11.2.2 混频器的原理与设计	195	13.4.1 雷达方程	251
11.2.3 检波器的原理与设计	204	13.4.2 雷达散射截面 σ (RCS)	252
11.3 倍频器和分频器	206	13.4.3 脉冲雷达	253
11.3.1 倍频器	206	13.4.4 连续波雷达	254
11.3.2 分频器	210	13.5 通信基本原理	255
11.4 开关与相移器	211	13.5.1 Friis 传输方程	255
11.4.1 开关	211	13.5.2 空间损耗	256
11.4.2 相移器	215	13.5.3 通信链及信道概算	256
第12章 射频/微波天线	218	13.5.4 通信系统简介	257
12.1 天线基础知识	218	附录1 实验内容	260
12.1.1 天线基本指标	218	附录2 射频/微波工程常用数据	283
12.1.2 远区场概念	220	参考文献	290
12.1.3 天线的分析	221		

第 1 章 射频/微波工程介绍

本章内容

- 常用无线电频段
- 射频/微波的重要特性
- 射频/微波工程中的核心问题
- 射频/微波电路的应用
- 射频/微波系统举例
- 射频/微波工程基本常识

1.1 常用无线电频段

当今社会，技术发展之迅猛，对人们生活影响之重大，首推无线电技术。射频/微波工程就是这一领域的核心。过去的 100 多年来，人们对射频/微波技术的认识和使用日趋成熟。从图 1-1 所示的无线电技术的发展历史可以看出，近年来射频/微波工程的应用已经发展到了近乎极至的状态。

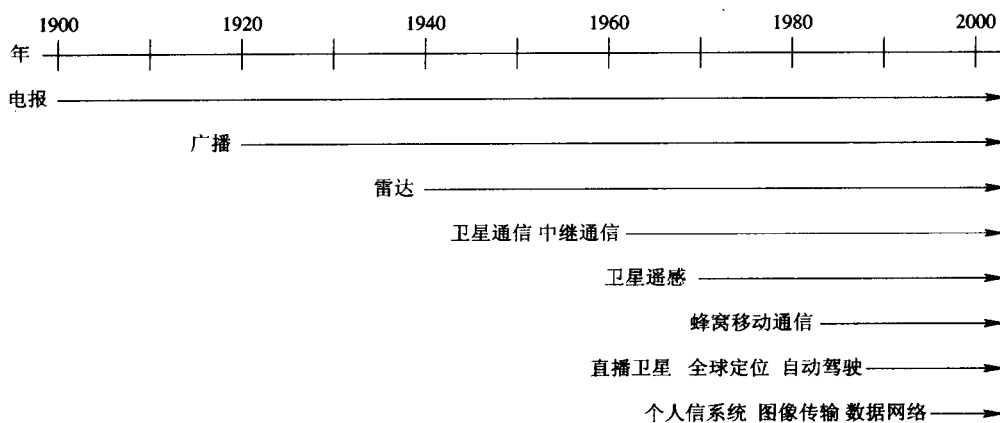


图 1-1 无线电技术的发展历史

对电磁波频谱的划分是美国国防部于第二次世界大战期间提出的，后由国际电工电子工程协会(IEEE)推广，被工业界和政府部门广泛接受。具体电磁波频谱分段见表 1-1。在

整个电磁波谱中，射频/微波处于普通无线电波与红外线之间，是频率最高的无线电波，它的频带宽度比所有普通无线电波波段总和大 1000 倍以上，可携带的信息量不可想象。一般情况下，射频/微波频段又可划分为米波(波长 10~1 m，频率 30~300 MHz)、分米波(波长 10~1 dm，频率 300~3000 MHz)、厘米波(波长 10~1 cm，频率 3~30 GHz)和毫米波(波长 10~1 mm，频率 30~300 GHz)四个波段。其后是亚毫米波、远红外线、红外线、可见光。

表 1-1 电磁波频谱分段

频段	频率	波长
ELF(极低频)	30~300 Hz	10 000~1000 km
VF(音频)	300~3000 Hz	1000~100 km
VLF(甚低频)	3~30 kHz	100~10 km
LF(低频)	30~300 kHz	10~1 km
MF(中频)	300~3000 kHz	1~0.1 km
HF(高频)	3~30 MHz	100~10 m
VHF(甚高频)	30~300 MHz	10~1 m
UHF(特高频)	300~3000 MHz	100~10 cm
SHF(超高频)	3~30 GHz	10~1 cm
EHF(极高频)	30~300 GHz	1~0.1 cm
亚毫米波	300~3000 GHz	1~0.1 mm
P 波段	0.23~1 GHz	130~30 cm
L 波段	1~2 GHz	30~15 cm
S 波段	2~4 GHz	15~7.5 cm
C 波段	4~8 GHz	7.5~3.75 cm
X 波段	8~12.5 GHz	3.75~2.4 cm
Ku 波段	12.5~18 GHz	2.4~1.67 cm
K 波段	18~26.5 GHz	1.67~1.13 cm
Ka 波段	26.5~40 GHz	1.13~0.75 cm
毫米波	40~300 GHz	7.5~1 mm
亚毫米波	300~3000 GHz	1~0.1 mm

以上这些波段的划分并不是惟一的，还有其他许多不同的划分方法，它们分别由不同的学术组织和政府机构提出，甚至还在相同的名称代号下有不同的范围，因此波段代号只是大致的频谱范围。其次，以上这些波段的分界也并不严格，工作于分界线两边临近频率的系统并没有质和量上的跃变，这些划分完全是人为的，仅是一种助记符号。

对不同频段无线电信号的使用不能随意确定。也就是说，频谱作为一种资源，各国各级政府都有相应的机构对无线电设备的工作频率和发射功率进行严格管理。国际范围内更有详细的频谱用途规定，即 CCIR 建议文件，在这个文件中，规定了雷达、通信、导航、工业应用等军用或民用无线电设备所允许的工作频段。表 1-2 是各无线电频段的基本用途。各个用途在相应频段内只占有很小的一段频谱或点频工作。

表 1-2 各无线电频段的基本用途

频段	基本用途	备注
VHF 和 UHF (30~3000 MHz)	电视广播, 警察、防灾、道路、电力、矿山、汽车、火车、航空、卫星通信, 行业专用指挥系统, 个人无线电, 气象雷达、地面雷达、海事雷达、二次雷达, 生物医学, 工业加热等	技术发展最成熟, 应用最广泛, 频谱最拥挤
SHF (3~30 GHz)	公用微波中继通信、行政专用中继通信, 卫星电视、导航、遥感, 射电天文、宇宙研究, 探测制导、军用雷达、电子对抗等	穿透大气层, 广泛用于空间技术
EHF (30~300 GHz)	各种小型雷达、专门用途通信、外空研究、核物理工程、无线电波谱学	尺寸更小, 接近红外线, 与近代物理学相关

和平年代, 在某个地区, 要避免用途不同的无线电设备使用相同的频率, 否则, 将会带来灾难性的后果。相反地, 在电子对抗或电子战系统中, 就是要设法掌握敌方所使用的无线电频率, 给对方实施毁灭性打击。

目前, 发展最快的民用领域是移动通信。巨大的市场潜力和飞速的更新步伐, 使得这一领域成为全球的一个支柱产业。表 1-3 给出了常用移动通信系统频段分布及其工作方式。作为工科电子类专业的学生, 有必要掌握这方面的知识。

表 1-3 常用移动通信系统频段分布

系统	IS-95	IS-54	GSM	DCS-1800	DECT	CDMA	WCDMA (CDMA2000)
频带/MHz	869~894 824~849	869~894 824~849	935~960 890~915	1710~1785 1805~1880	1800~1900	1885~2025 2110~2200	1885~2025 2110~2200
多址	CDMA-SS/ FDMA	TDMA/ FDMA	TDMA/ FDMA	TDMA/ FDMA	TDMA/ FDMA	CDMA/ FDMA	CDMA/ FDMA
复用	FDD	FDD	FDD	FDD	FDD		
信道带宽 /MHz	1250	30	200	200	1728	1250	4400~5000
调制	BPSK/ QPSK	$\pi/4$ - QDPSK	GMSK	GMSK	GFSK		BPSK/ QPSK
发射功率/W	200	600/200	1000/125	1000/125	250/10		
语音速率 /(kb/s)	1~8	8	13	13	32	9.6	8.6
语音信道		3	8	8	12		
码片速率 /(Mb/s)	1.2288					1.2288	4.096

一般地, 射频/微波技术所涉及的无线电频谱是表 1-1 中甚高频(VHF)到毫米波段或者 P 波段到毫米波段很宽范围内的无线电信号的发射与接收设备的工作频率。具体地, 这些技术包括信号的产生、调制、功率放大、辐射、接收、低噪声放大、混频、解调、检测、

滤波、衰减、移相、开关等各个模块单元的设计和生 产。它的基本理论是经典的电磁场理论。研究电磁波沿传输线的传播特性有两种分析方法。一种是“场”的分析方法，即从麦克斯韦方程出发，在特定边界条件下解电磁波动方程，求得场量的时空变化规律，分析电磁波沿线的各种传输特性；另一种是“路”的分析方法，即将传输线作为分布参数电路处理，用基尔霍夫定律建立传输线方程，求得传输线上电压和电流的时空变化规律，分析电压和电流的各种传输特性。用这两种方法研究同一个问题，其结论是相同的。到底是用“场”的方法还是用“路”的方法，应由研究的方便程度来决定。对于射频/微波工程中的大量问题，采用网络方法和分布参数概念可以得到满意的工程结果，而不是拘泥于严谨的麦克斯韦方程组及其数值解法。

在射频/微波频率范围内，模块的几何尺寸与信号的工作波长可以比拟，分布参数概念始终贯穿于工程技术的各个方面。而且，同一功能的模块，在不同的工作频段的结构和实现方式大不相同。“结构就是电路”是射频/微波电路的显著特征。射频/微波电路的设计目标就是处理好材料、结构与电路功能的关系。

1.2 射频/微波的重要特性

射频/微波技术的迅速发展和广泛应用与其特性密切相关。这里主要介绍射频/微波的基本特性及其优、缺点。

1.2.1 射频/微波的基本特性

1. 似光性

射频/微波能像光线一样在空气或其他媒体中沿直线以光速传播，在不同的媒体界面上存在入射和反射现象。这是因为射频/微波的波长很短，比地球上的一般物体(如舰船、飞机、火箭、导弹、汽车、房屋等)的几何尺寸小的多或在同一个数量级。当射频/微波照射到这些物体上将产生明显的反射，对于某些物体将会产生镜面反射。因此，可以制成尺寸、体积合适的天线，用来传输信息，实现通信；可接收物体所引起的回波或其他物体发射的微弱信号，用来确定物体的方向、距离和特征，实现雷达探测。

2. 穿透性

射频/微波照射某些物体时，能够深入物体的内部。微波(特别是厘米波段)信号能穿透电离层，成为人们探测外层空间的宇宙窗口；能够穿透云雾、植被、积雪和地表层，具有全天候的工作能力，是遥感技术的重要手段；能够穿透生物组织，是医学透热疗法的重要方法；能穿透等离子体，是等离子体诊断、研究的重要手段。

3. 非电离性

一般情况下，射频/微波的量子能量还不够大，不足以改变物质分子的内部结构或破坏物质分子的键结构。由物理学可知，在外加电磁场周期力的作用下，物质内分子、原子和原子核会产生多种共振现象，其中，许多共振频率就处于射频/微波频段。这就为研究物质内部结构提供了强有力的实验手段，从而形成了一门独立的分支学科——微波波谱学。

从另一方面考虑，利用物质的射频/微波共振特性，可以用某些特定的物质研制射频/微波元器件，完成许多射频/微波系统的建立。

4. 信息性

射频/微波频带比普通的中波、短波和超短波的频带要宽几千倍以上，这就意味着射频/微波可以携带的信息量要比普通无线电波可能携带的信息量大得多。因此，现代生活中的移动通信、多路通信、图像传输、卫星通信等设备全都使用射频/微波作为传送手段。射频/微波信号还可提供相位信息、极化信息、多普勒频移信息等。这些特性可以被广泛应用于目标探测、目标特征分析、遥测遥控、遥感等领域。

1.2.2 射频/微波的主要优点

由上述基本特性可归纳出射频/微波与普通无线电相比有以下优点：

- (1) 频带宽。可传输的信息量大。
- (2) 分辨率高。连续波多普勒雷达的频偏大，成像更清晰，反应更灵敏。
- (3) 尺寸小。电路元件和天线体积小。
- (4) 干扰小。不同设备相互干扰小。
- (5) 速度快。数字系统的数据传输和信号处理速度快。
- (6) 频谱宽。频谱不拥挤，不易拥堵，军用设备更可靠。

1.2.3 射频/微波的不利因素

由于射频/微波本身的特点，也会带来一些局限性。主要体现在如下几个方面：

- (1) 元器件成本高。
- (2) 辐射损耗大。
- (3) 大量使用砷化镓器件，而不是通常的硅器件。
- (4) 电路中元件损耗大，输出功率小。
- (5) 设计工具精度低，成熟技术少。

这些问题都是我们必须面对的，在工程中应合理设计电路，取得一个比较好的折中方案。

1.3 射频/微波工程中的核心问题

射频/微波工程中所要解决的核心问题有以下三大主要方面：频率、阻抗和功率。只要合理地处理好三者的关系，就能实现预期的电路功能。

1.3.1 射频铁三角

由于频率、阻抗和功率是贯穿射频/微波工程的三大核心指标，故将其称为射频铁三角。它能够形象地反映射频/微波工程的基本内容。这三方面既有独立特性，又相互影响。三者的关系可以用图 1-2 表示。

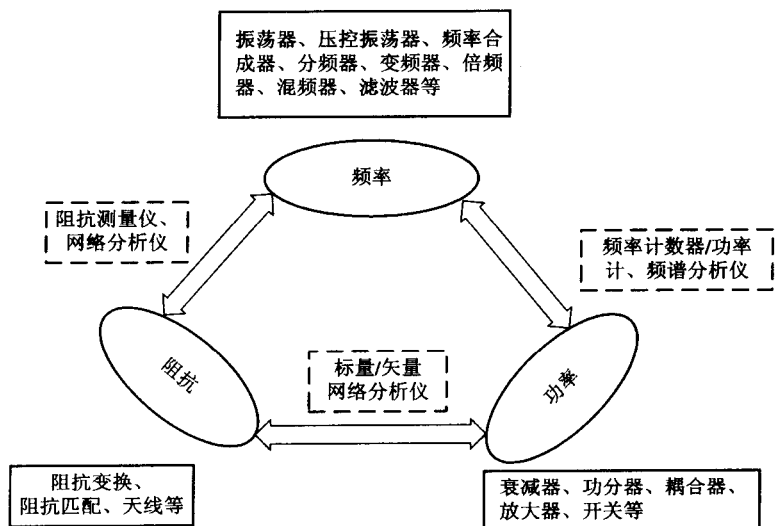


图 1-2 频率、阻抗和功率的铁三角关系

这三个方面涵盖了射频/微波工程中的全部内容，下面给出对它们的解释。

1.3.2 射频铁三角的内涵

1. 频率

频率是射频/微波工程中最基本的一个参数，对应于无线系统所工作的频谱范围，也规定了所研究的微波电路的基本前提，进而决定微波电路的结构形式和器件材料。直接影响射频/微波信号频率的主要电路有：

(1) 信号产生器：用来产生特定频率的信号，如点频振荡器、机械调谐振荡器、压控振荡器、频率合成器等。

(2) 频率变换器：将一个或两个频率的信号变为另一个所希望的频率信号，如分频器、变频器、倍频器、混频器等。

(3) 频率选择电路：在复杂的频谱环境中，选择所关心的频谱范围。经典的频率选择电路是滤波器，如低通滤波器、带通滤波器、高通滤波器和带阻滤波器等。近年发展起来的高速电子开关由于体积小，在许多方面取代了滤波器来实现频率选择。

在射频/微波工程中，这些电路可以独立工作，也可以相互组合，还可以与其他电路组合，构成射频/微波电路子系统。

这些电路的测量仪器有频谱分析仪、频率计数器、功率计、网络分析仪等。

2. 功率

功率用来描述射频/微波信号的能量大小。所有电路或系统的设计目标都是实现射频/微波能量的最佳传递。影响射频/微波信号功率的主要电路有：

(1) 衰减器：控制射频/微波信号功率的大小。通常由有耗材料(电阻性材料)构成，有固定衰减量和可调衰减量之分。

(2) 功分器：将一路射频/微波信号分成若干路的组件，可以是等分的，也可以是比例分配的，希望分配后信号的损失尽可能小。功分器也可用作功率合成器，在各个支路口接

同频同相等幅信号，在主路叠加输出。

(3) 耦合器：定向耦合器是一种特殊的分配器。通常是耦合一小部分功率到支路，用以检测主路信号的工作状态是否正常。分支线耦合器和环形桥耦合器可实现不同相位的功率分配/合成，配合微波二极管，完成多种功能微波电路，如混频、变频、移相等。

(4) 放大器：提高射频/微波信号功率的电路，在射频/微波工程中地位极为重要。用于接收的是小信号放大器，该类放大器着重要求低噪声、高增益。用于发射的是功率放大器，对于该类放大器，为了满足要求的输出功率，可以不惜器件和电源成本。用于测试仪器的放大器，完善和丰富了仪器的功能。

3. 阻抗

阻抗是在特定频率下，描述各种射频/微波电路对微波信号能量传输的影响的一个参数。电路的材料和结构对工作频率的响应决定电路阻抗参数的大小。工程实际中，应设法改进阻抗特性，实现能量的最大传输。所涉及的射频/微波电路有：

(1) 阻抗变换器：增加合适的元件或结构，实现一个阻抗向另一个阻抗的过渡。

(2) 阻抗匹配器：一种特定的阻抗变换器，实现两个阻抗之间的匹配。

(3) 天线：一种特定的阻抗匹配器，实现射频/微波信号在封闭传输线和空气媒体之间的匹配传输。

1.4 射频/微波电路的应用

射频/微波电路的经典用途是通信和雷达系统。近年来发展最为迅猛的当数个人通信系统，当然，导航、遥感、科学研究、生物医学和微波能的应用也占有很大的市场份额。下面归纳出射频/微波电路的各种用途，并给出几个应用实例。

(1) 无线通信系统：空间通信，远距离通信，无线对讲，蜂窝移动，个人通信系统，无线局域网，卫星通信，航空通信，航海通信，机车通信，业余无线电等。

(2) 雷达系统：航空雷达，航海雷达，飞行器雷达，防撞雷达，气象雷达，成像雷达，警戒雷达，武器制导雷达，防盗雷达，警用雷达，高度表，距离表等。

(3) 导航系统：微波着陆系统(MLS)，GPS，无线信标，防撞系统，航空、航海自动驾驶等。

(4) 遥感：地球监测，污染监测，森林、农田、鱼汛监测，矿藏、沙漠、海洋、水资源监测，风、雪、冰、凌监测，城市发展和规划等。

(5) 射频识别：保安，防盗，入口控制，产品检查，身份识别，自动验票等。

(6) 广播系统：调幅(AM)，调频(FM)广播，电视(TV)等。

(7) 汽车和高速公路：自动避让，路面告警，障碍监测，路车通信，交通管理，速度测量，智能高速路等。

(8) 传感器：潮湿度传感器，温度传感器，长度传感器，探地传感器，机器人传感器等。

(9) 电子战系统：间谍卫星，辐射信号监测，行军与阻击等。

(10) 医学应用：磁共振成像，微波成像，微波理疗，加热催化，病房监管等。

(11) 空间研究：射电望远镜，外层空间探测等。

(12) 无线输电：空对空，地对空，空对地，地对地输送电能等。

1.5 射频/微波系统举例

下面给出几种射频/微波系统的结构框图或系统示意图。图中各个方框内的功能电路就是我们要学习的射频/微波电路，在以后的章节中就会学习这些电路的基本原理、设计方法及工程实现等知识。

1.5.1 射频/微波通信系统

1. 基本原理

射频/微波通信的基本原理就是利用其似光传输特性，穿越空气，实现信息的无线传递。如图 1-3 所示，基本的通信系统就是成对的发射机和接收机。

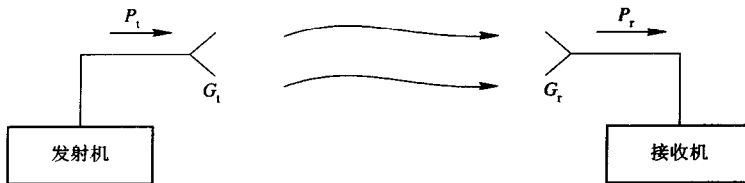


图 1-3 基本通信系统

2. 微波通信数据链

图 1-4 是微波通信和专用微波数据链的系统示意图。

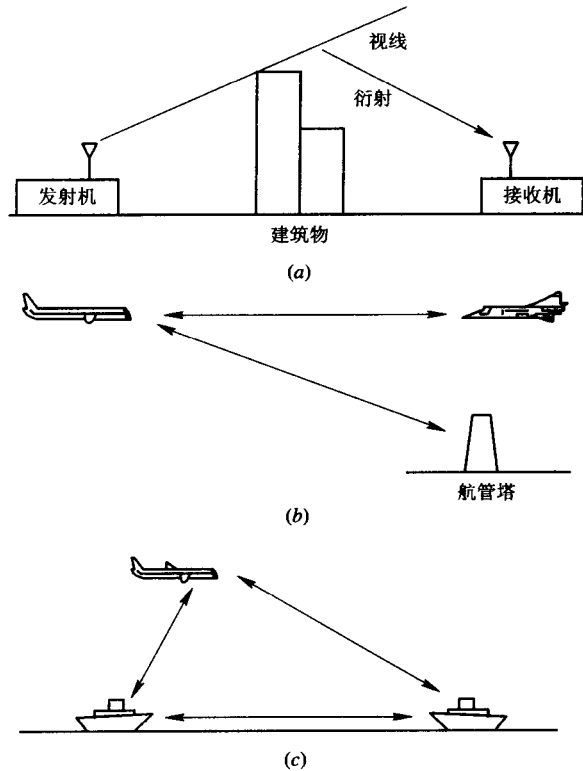


图 1-4 微波通信数据链系统示意图

3. 卫星通信

图 1-5 是 K 波段卫星通信系统的地面站结构框图。图 1-6 是 K 波段卫星通信系统示意图。

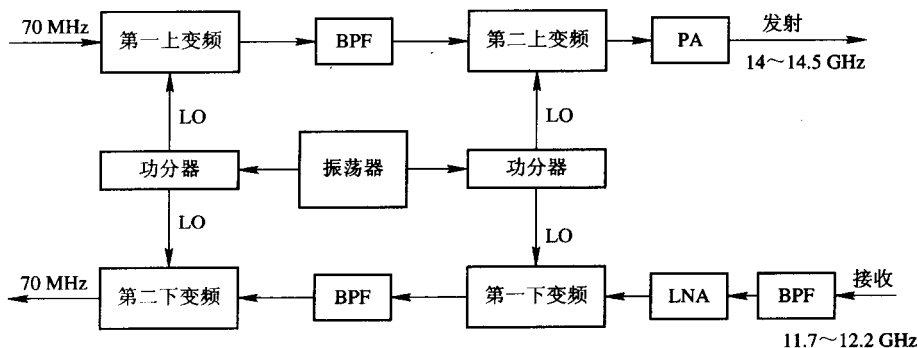


图 1-5 卫星地面站结构框图

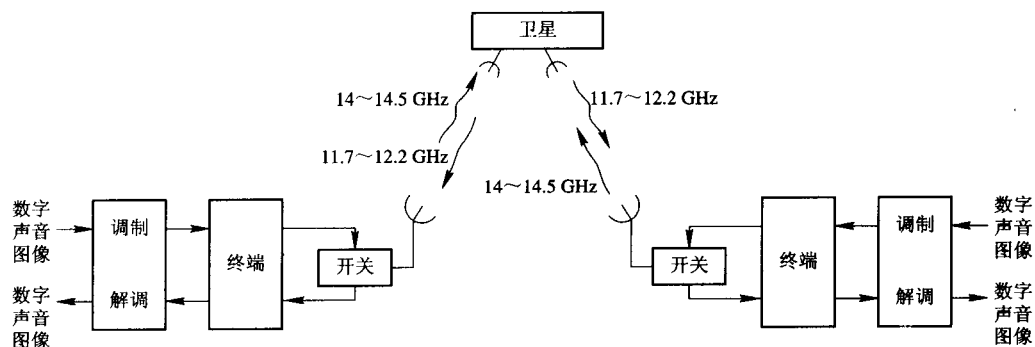


图 1-6 卫星通信系统示意图

1.5.2 雷达系统

1. 基本原理

雷达的原意为无线电探测与定位，基本原理是发射的微波信号遇到目标后反射回来，检测发射信号与接收信号之间的关系，即可确定目标的信息。图 1-7 是雷达的基本原理示意图。

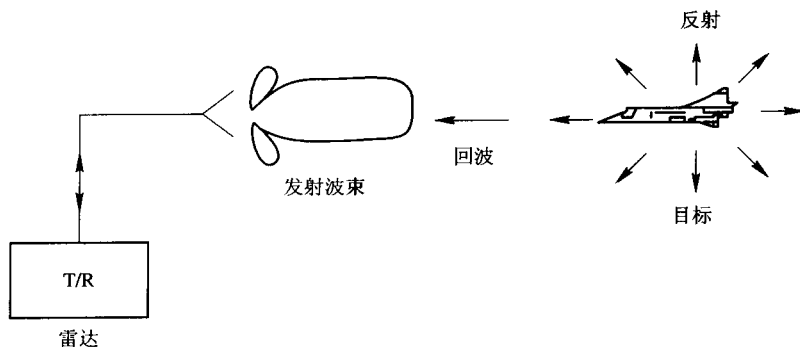


图 1-7 雷达基本原理示意图