

射频微波电路和系统 工程设计基础

Shepin Weibo Dianlu he Xitong Gongcheng Sheji Jichu

於洪标 编著



国防工业出版社
National Defense Industry Press

射频微波电路和系统 工程设计基础

於洪标 编著

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书是一本全面介绍射频微波电路和系统设计的工程类实用教材和参考书。

全书共分9章,第1章对本书的内容作了全面的概括和总结;第2章介绍了射频微波电路设计中常用的器件;第3章和第5章介绍了常用射频微波电路的基本设计方法、工程设计流程、测试和调试方法;第4章和第6章介绍了常用射频微波系统的基本设计方法、工程设计流程、测试和调试方法;第7章简述了模拟电路的数字化、数字接收技术和数字T/R组件的设计;第8章给出了微波电路和系统工程设计的几个实例;第9章针对性地讨论了微波电路和系统中的一些专题。

本书可以作为大专院校电子工程及微波技术专业高年级本科生和研究生的专业教材,也可用作相关培训机构微波电路和系统的专业培训教材,还可作为雷达、通信等科研院所,射频微波电路和系统等设计公司微波工程领域工程技术人员的设计参考书。

图书在版编目(CIP)数据

射频微波电路和系统工程设计基础/於洪标编著.

—北京:国防工业出版社,2018.6

ISBN 978-7-118-11554-3

I. ①射… II. ①於… III. ①射频电路—微波电路—
电路设计 IV. ①TN710.02

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第110210号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号 邮政编码100048)

涿州宏轩印刷服务有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 35 $\frac{1}{4}$ 字数 835 千字

2018年6月第1版第1次印刷 印数 1—2000册 定价 78.00元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

前 言

现代通信、雷达、导航和电子对抗等设备,通常由硬件和软件构成,而硬件设备一般由若干实现某一功能的电路组成的子系统或系统组成。随着电子设备工作频率的不断提高,微波电路和系统成为许多无线设备不可缺少的重要组成部件。特别近年来,随着通信技术的飞速发展和军事装备需求的日益增加,对射频微波电路的需求量也日趋增大,因此射频微波电路设计工程师如何在实际工程设计中掌握基本的电路和系统设计技能至关重要。本书从工程设计的视角出发,摒弃繁琐的理论推导过程,给设计师提供电路和系统设计过程中必要的关注点和结论,从电路设计开始循序过渡到系统设计,为设计师的成长提供帮助。

按照传统的分类方法,射频微波电路可分为微波无源电路、微波有源电路两大部分。微波无源电路通常由传输线、无源器件、半导体控制器件等组成,如滤波器、限幅器、移相器、开关、衰减器、隔离器、功分器和耦合器等。微波有源电路一般由传输线、无源器件、半导体有源器件等组成,如低噪声放大器、功率放大器、频率源等。本书中,考虑到混频器、倍频器和检波器常用在微波有源电路和系统中,因此将这类电路也归入有源电路范畴来阐述,这只是作者个人的观点,读者不必在意。微波单片集成电路(MMIC)在射频微波电路设计中的使用越来越多,对简化电路设计,增加电路的可靠性和降低成本起到了很大的推进作用,因此在本书中也有简述。而微波系统一般由多种单一功能的微波无源和有源电路,控制电路,甚至包括软件在内的复杂电路构成,如接收机、发射机、各种收发信机等。

随着现代数字技术的高速发展,微波电路和系统设计中也不可避免地引入了诸如A/D、D/A变换器,DDS等数字器件。因此对现代微波电路和系统设计来说,除了要熟练掌握对各种射频微波电路和系统的设计技术外,还要掌握一些数模结合的设计方法,如中频数字采样技术、数字正交解调技术、数字信号产生技术及相关的软件设计技能。因此在本书中对常用的数字化技术做了简要的表述。

本书第1章对微波电路和系统作了简要的说明;第2章对射频微波电路常用的器件进行了阐述;第3章论述了射频微波电路工程设计中常用的基本电路;第4章阐述了常用的几种射频微波系统的工程设计;第5章阐述了射频微波电路的工程设计、测试、调试方法和流程;第6章阐述了射频微波系统的工程设计、测试、调试方法和流程;第7章简述了模拟系统的数字化技术;第8章给出了具体射频微波电路和系统设计的几个实例;第9章对射频微波电路和系统的一些专题进行了探讨。

本书中涉及国外器件厂商提供的器件数据、基于CAD设计软件的仿真结果和仪表测量数据,为保证其原始真实性、可查询性,图中文字一般不作翻译处理,请读者谅解。

本书资料主要来自专业网站,多家射频微波器件、电路供应商提供的应用笔记(Application Note)和白皮书(White Paper),国内外专家的技术讲座以及作者二十多年的工作

经验的综合。本书的编写脉络来自作者自身的视角和工作经验,因此会有读者觉得有不合适的地方,正所谓“仁者见仁,智者见智”。由于受到作者自身学识水平和经验的限制,书中必定存在不足和谬误之处,也恳请各位读者、同仁批评指正,也希望和大家共同交流、互相学习,得以修正和提高。

从作者自身学习和工作经验来看,要成长为一名合格的射频微波电路和系统设计工程师,除了要有扎实的理论功底外,最好从基础电路设计做起,脚踏实地,再向系统发展。才能在实践中学习,不断总结经验,真正做到触类旁通、融会贯通,掌握发现问题、分析问题从而解决问题的技能。因此本书和其它书籍一样,仅仅能起到参考作用,读者要记住不能指望一本或几本书就能解决所有技术问题,只有不断实践才能取得进步。在工作中遇到问题可以看看书,请教有经验的同事,学问学问,就是既要学又要问,才能达到事半功倍的效果。

本书的编写经历了几个年头,是笔者在身患重病治疗后康复期间完成的,一直拖沓到现在。一方面是身体的原因,另一方面是资料搜集整理的艰辛,现在经过方方面面的努力终于可以交付于读者了。

本书能得以出版首先要感谢深圳市恒天利电子有限公司黄金亮总经理一直以来给予的支持、鼓励和帮助;其次要感谢我的导师顾墨琳研究员的培养和谆谆教诲,还有我的老领导兼学长郭崇贤研究员的栽培和指导,以及中国电子科技集团公司第十四研究所首席专家范义晨研究员对我技术、工作和生活的支持、关心和帮助;我要感谢我的工作单位中国电子科技集团公司第十四研究所,我在此完成了硕士研究生的学业并工作至今。在此感谢所有关心、帮助我的师长、同事和领导(恕我不在此一一列出他们的姓名),没有他们的帮助和培养就没有今天的我。

我要感谢我的中学母校江苏省南菁高级中学,她让我踏入了大学的殿堂;还要感谢我的大学母校北京工业学院(现北京理工大学),她教给了我专业知识,培养了我认真学习的习惯。因此,本书实际上是所有教我知识及工作经验的老师、同事、朋友及许多不曾谋面同行的共同智慧的结晶。

本书的撰写过程离不开我的学生张建增、许爱国、王江涛和解兰及同事邢秀洪、孙军、张冬、李镇、徐鸣等在实际实例、仿真等方面给予的支持,在此一并感谢。

作者还要感谢国防工业出版社在文稿撰写格式、编排等方面给予的技术支持和悉心指导。

最后我要感谢我的妻子、儿子及所有亲人,没有他们在生活上的照顾和我工作的支持、鼓励就无法完成此书的撰写。

谢谢所有帮助、关心我的朋友,愿好人一生平安、快乐健康!

作者

2017年3月

目 录

第1章 导论	1
1.1 射频微波电路	1
1.1.1 微波无源电路	1
1.1.2 微波有源电路	1
1.2 射频微波系统	2
1.2.1 微波无源系统	2
1.2.2 微波收发系统	2
1.2.3 微波接收机	2
1.2.4 微波发射机	2
1.2.5 频率源系统	3
第2章 射频微波电路工程设计常用器件	4
2.1 引言	4
2.1.1 理想器件	4
2.1.2 实际器件	4
2.2 电感	5
2.2.1 电感主要特性	5
2.2.2 电感的类型	6
2.2.3 电感的数学公式	6
2.2.4 电感在微波电路中的应用	8
2.3 电容	8
2.3.1 电容的特性	8
2.3.2 电容的种类	8
2.3.3 电容的储能	10
2.3.4 常用电容材料	10
2.3.5 微波电容模型	11
2.3.6 电容的数学公式	11
2.3.7 电容在微波电路中的应用	12
2.4 电阻和负载	12
2.4.1 微波电路中常用的电阻品种	12
2.4.2 厚膜电阻	12
2.4.3 薄膜电阻	13
2.4.4 电阻的修调	14

2.4.5	电阻的数学公式	14
2.4.6	电阻的功率降额	16
2.4.7	电阻在微波电路中的应用	16
2.5	传输线损耗	17
2.5.1	传输线模型	17
2.5.2	损耗的种类	17
2.5.3	微带线损耗计算	19
2.6	趋肤深度	22
2.7	PIN 二极管	23
2.7.1	PIN 二极管概述	23
2.7.2	I 层电阻率	24
2.7.3	低频和高频等效电路	26
2.7.4	大信号模型	27
2.7.5	开关速度模型	27
2.7.6	PIN 二极管热模型	29
2.7.7	结电容和串联电阻	29
2.7.8	开关性考虑	32
2.7.9	PIN 二极管的选择	33
2.7.10	PIN 二极管的功率承受能力	33
2.7.11	PIN 二极管参数的选择及应用	36
2.8	场效应晶体管	36
2.8.1	场效应晶体管的分类	36
2.8.2	高电子迁移率晶体管(PHEMT)器件物理特性	36
2.8.3	电流-电压($I-V$)特性	37
2.8.4	A 类工作要求	38
2.8.5	功率线性性和互调失真(IMD)	39
2.8.6	不同半导体工艺的优缺点	40
2.8.7	GaAs 器件的应用和主要关注指标	43
2.9	$1/4$ 波长传输线	44
2.9.1	史密斯圆图	44
2.9.2	$1/4$ 波长传输线特性	47
	参考文献	54
第 3 章 射频频微波电路工程基本电路设计		55
3.1	半导体器件的偏置	55
3.1.1	PIN 二极管的直流偏置电路	55
3.1.2	微波双极型晶体管的直流偏置电路	55
3.1.3	微波 GaAs MESFET 放大器的直流偏置电路	57
3.1.4	微波单片集成电路(MMIC)的直流偏置电路	59
3.1.5	线性工作状态下 LDMOS FET 的直流偏置电路	61

3.1.6	MMIC 功率放大器的直流偏置电路	64
3.1.7	半导体器件偏置供电方式	65
3.2	常用微波无源电路	66
3.2.1	常用传输线	66
3.2.2	开关	71
3.2.3	限幅器	78
3.2.4	移相器	82
3.2.5	衰减器	88
3.2.6	功分器和耦合器	93
3.2.7	巴伦	111
3.2.8	滤波器	112
3.3	常用微波有源电路	124
3.3.1	低噪声放大器	124
3.3.2	频率源	143
3.3.3	功率放大器	166
3.3.4	混频器和倍频器	200
3.3.5	检波器	212
3.3.6	如何判断分立器件的好坏	219
3.4	微波单片集成电路(MMIC)	220
3.4.1	MMIC 的优缺点	221
3.4.2	有源器件模型化	222
3.4.3	MMIC 有效期寿命计算	225
3.4.4	无源器件模型化	225
3.4.5	预防寄生振荡	227
3.5	阻抗匹配	228
3.5.1	阻抗和信号传输功率的关系	228
3.5.2	不同负载间的阻抗匹配	230
3.5.3	匹配网络带宽和 Q 值的关系	242
3.5.4	平衡电路的阻抗匹配	246
3.6	微波电路印制板	247
3.6.1	印制板的选择	247
3.6.2	无源电路印制板设计	250
3.6.3	有源电路印制板设计	251
	参考文献	252
第 4 章	射频微波系统工程设计基础	255
4.1	射频微波系统的主要技术指标	255
4.1.1	系统噪声系数	255
4.1.2	系统动态范围	256
4.1.3	射频带宽和信号带宽	257

4.1.4	输出 1dB 压缩点电平	257
4.1.5	交调和互调	258
4.1.6	三阶互调及互调截取点	258
4.1.7	系统耐功率问题	259
4.1.8	相位噪声	260
4.2	系统指标的分配和设计	263
4.2.1	系统噪声系数的分配和设计	263
4.2.2	动态范围的分配和设计	264
4.2.3	系统带宽的选择	265
4.2.4	谐波和杂散	265
4.2.5	系统隔离	266
4.3	接收机	267
4.3.1	接收机分类	267
4.3.2	接收机设计	276
4.4	发射机	288
4.4.1	发射机分类	288
4.4.2	发射机设计	291
4.5	频率源系统	293
4.5.1	频率源分类	293
4.5.2	分布式频率源	293
4.5.3	直接合成式频率源	295
4.5.4	锁相合成频率源	300
4.5.5	数字式频率源	304
4.6	T/R 组件	307
4.6.1	T/R 组件工作原理及构成	307
4.6.2	T/R 组件主要技术指标	308
4.6.3	T/R 组件设计	309
4.7	直放站	314
4.7.1	直放站工作原理和构成	315
4.7.2	直放站主要技术指标	315
4.7.3	直放站设计	315
4.8	系统电磁兼容	320
4.8.1	电缆和屏蔽盒的辐射	320
4.8.2	利用 PCB 板设计降低辐射	322
4.8.3	通过器件布置解决电磁耦合	324
4.8.4	RF 电路的辐射、耦合、EMI 和屏蔽	328
4.8.5	射频和微波电路电磁兼容设计	336
	参考文献	339

第 5 章 射频微波电路的设计、测试和调试	340
5.1 射频微波电路设计流程	340
5.1.1 确定技术指标	340
5.1.2 选择合适的器件	341
5.1.3 电路设计优化	341
5.1.4 电路设计出图	342
5.1.5 电路可靠性预计	343
5.1.6 电路的调试和测试	344
5.2 如何选择合适的器件	344
5.2.1 无源器件的选择	345
5.2.2 小信号有源器件的选择	350
5.2.3 单片集成电路的选择	354
5.2.4 功率器件的选择	355
5.3 偏置电路的调试	357
5.3.1 PIN 二极管偏置电路的调试	358
5.3.2 双极型晶体管偏置电路的调试	359
5.3.3 场效应晶体管偏置电路的调试	360
5.4 微波电路常用指标的测试方法	362
5.4.1 噪声系数的测量	362
5.4.2 频率幅度响应的测量	363
5.4.3 频率相位响应的测量	364
5.4.4 频谱特性的测量	365
5.4.5 相位噪声的测量	366
5.4.6 动态范围的测量	366
5.4.7 三阶互调抑制的测量	367
5.4.8 输出功率和效率的测量	368
5.5 有源电路的去振荡	369
5.5.1 有源电路的振荡类型	369
5.5.2 振荡的判别和原因分析	370
5.5.3 振荡的解决方法	374
5.6 电路指标的调试	377
5.6.1 电路调试常用工具和材料	377
5.6.2 电路幅频响应的调试	378
5.6.3 电路噪声系数的调试	380
5.6.4 电路相频响应的调试	380
5.6.5 电路反射系数的调试	381
参考文献	382
第 6 章 射频微波系统的设计、测试和调试	383
6.1 射频微波系统设计流程	383

6.1.1	确定系统技术指标	383
6.1.2	系统方案构架	384
6.1.3	系统优化设计	385
6.1.4	系统设计出图	385
6.1.5	系统可靠性预计	390
6.1.6	系统机柜电装和检查	391
6.1.7	系统调试测试	393
6.2	射频微波系统方案设计	396
6.2.1	系统各单元指标的确定	396
6.2.2	如何选择合适的模块	401
6.2.3	系统的电磁兼容考虑	402
6.2.4	系统隔离度考虑	403
6.2.5	如何选择最佳频率	404
6.2.6	系统测试点的设计	404
6.3	微波系统常用指标的测试方法	406
6.3.1	系统噪声系数的测量	406
6.3.2	幅频响应的测量	408
6.3.3	相频响应的测量	409
6.3.4	频率源指标的测量	410
6.3.5	动态范围的测量	410
6.3.6	三阶互调抑制的测量	410
6.3.7	系统杂散的测量	410
6.3.8	系统带宽的测量	410
6.4	微波系统常见问题的解决方法	411
6.4.1	系统稳定性问题及其解决方法	411
6.4.2	噪声系数问题及其解决方法	413
6.4.3	幅频响应问题及其解决方法	414
6.4.4	杂散问题及其解决方法	415
6.4.5	偏置短路问题及其解决方法	416
6.5	微波系统常见指标的调试	417
6.5.1	噪声参数的调试	417
6.5.2	幅频响应的调试	418
6.5.3	相频响应的调试	418
6.5.4	系统动态范围的优化	418
6.5.5	系统杂散的优化	419
	参考文献	419
第7章	模拟系统的数字化	420
7.1	数据采集系统基础	420
7.1.1	模拟信号的离散时间采样	420

7.1.2	过采样和抽取	423
7.1.3	欠采样及其应用	424
7.1.4	量化引起的有限幅度分辨率	425
7.1.5	A/D 的测量	426
7.2	数据变换器静态性能指标	429
7.2.1	A/D 静态转移特性	429
7.2.2	D/A 静态转移特性	431
7.3	数据变换器动态性能指标	431
7.3.1	A/D 动态性能指标	431
7.3.2	D/A 动态性能指标	441
7.3.3	几个基本概念	444
7.3.4	FFT 和功率谱密度的基本特性	446
7.4	数字化接收技术	450
7.4.1	常规模拟接收技术	450
7.4.2	数字化接收技术	451
7.4.3	数字接收前端增益	457
7.5	数字化收发(T/R)组件	465
7.5.1	数字化 T/R 组件工作原理	465
7.5.2	DBF 发射技术	467
7.5.3	DBF 接收技术	468
	参考文献	471
第 8 章	射频微波电路和系统工程设计实例	472
8.1	微波单元电路设计实例	472
8.1.1	数控移相器开关模块设计	472
8.1.2	PHS 小灵通矩阵开关设计	474
8.1.3	X 波段低噪声放大器设计	476
8.1.4	C 波段低噪声放大器设计	481
8.1.5	微波 AGC 低噪声放大器设计	484
8.1.6	微波脉冲功率放大器设计	489
8.2	微波系统设计实例	496
8.2.1	移动通信用直放站设计	496
8.2.2	WLAN 干线双向放大器设计	503
8.2.3	北斗收发一体化模块设计	506
第 9 章	专题讨论	515
9.1	闭环电路系统稳定性设计	515
9.1.1	概述	515
9.1.2	T/R 组件基本工作原理	515
9.1.3	T/R 组件稳定性分析	516
9.1.4	仿真	519

9.1.5 常规 T/R 组件系统稳定性设计	521
9.2 双向有源环路的传输响应设计	522
9.2.1 概述	522
9.2.2 信号传输分析	523
9.2.3 简单计算	527
9.2.4 环路传输响应设计	533
9.3 多端口网络噪声特性分析	534
9.3.1 无源两端口网络的噪声分析	535
9.3.2 无源多端口网络的噪声分析	535
9.3.3 两端口有源网络和两端口无源网络级联的噪声分析	536
9.3.4 两端口有源网络和多端口无源网络级联的噪声分析	537
9.3.5 工程应用	538
9.4 功率器件的热设计	540
9.4.1 热路及相关定义	540
9.4.2 获取功率芯片的热阻	541
9.4.3 功率芯片焊接装配热模型	542
9.4.4 计算热系统的等效热阻和热沉最大允许温度	543
9.4.5 功率芯片的安全工作和可靠性问题	546
9.5 微波设计经验法则	547
参考文献	552

第 1 章 导 论

本章主要简述射频微波电路包括哪些功能电路,以及涉及的主要射频微波系统,这些也是本书在后面章节要详细阐述的内容。

1.1 射频微波电路

1.1.1 微波无源电路

微波无源电路通常由各种传输线、各种无源器件、各种半导体控制器件等组成,如滤波器、限幅器、移相器、开关、衰减器、隔离器、功分器和耦合器等。

各种微波无源电路还依据不同的使用频率(低频、高频、毫米波等)、功率,不同的实现方式(微带、波导、腔体、介质等)有不同的形式(器件不同封装、电路不同类型等)。

由于无源电路不会产生自激振荡,因此无源电路设计师在设计时的视角可以窄一点,可以只考虑工作频段内的技术指标,但是当无源电路用在有源系统中时,设计师在设计时应考虑较宽的带宽,不能局限于工作频率,否则可能会造成系统的不稳定。

1.1.2 微波有源电路

微波有源电路一般由传输线、无源器件、各种半导体有源器件等组成,如低噪声放大器、功率放大器、频率源、混频器、倍频器和检波器等。随着微波单片集成电路(MMIC)和数字技术的高速发展,微波电路也引入了诸如各种微波单片集成电路,A/D、D/A 变换器,DDS 器件等。

之所以将一些无源电路归入有源电路的范畴,是因为这些无源电路基本用在有源系统中。有源电路也依据其使用的频率等外部条件有不同的实现方式。

有源电路设计师的设计视角必须要宽,即设计时不能只考虑工作频率内的技术指标,还要兼顾整个频谱范围,确保电路能稳定工作。

1.2 射频微波系统

1.2.1 微波无源系统

微波无源系统主要实现对系统所需信号的传输、分配、合成等功能,通常由若干无源微波电路组合而成。例如雷达中的馈线系统、无源阵面系统、广播电视馈线系统、通信设备中的馈线系统等。

在雷达系统中,由天线(不在本书中阐述)、行馈、列馈、和差网络、滤波器、铰链(转动关节)、定向耦合器、移相器、衰减器等无源部件构成相应的无源系统。

广播电视的天线、功分器、低损耗大功率电缆、滤波器、防雷击器等也构成其无源馈线系统;通信基站的天线、功分器、低损耗大功率电缆、双工器等构成基站无源馈线系统。

当然随着系统构架的改进,无源系统中也融入了有源电路模块,如通信基站中将接收低噪声放大器前置嵌入双工器中等。

无源系统的主要技术指标有带宽、损耗、隔离度、匹配(驻波系数)、耐功率等,在通信领域,还有三阶互调抑制的指标要求。

1.2.2 微波收发系统

微波收发系统主要实现对接收、发射信号的放大、滤波和变换等功能。一般由发射通道和接收通道组成(包含各种所需的有源和无源电路),每个通道可以是变频式的,也可以是直放式的,也可以是混合式的。一般而言不包括信号产生、基带解调的功能。

例如相控阵雷达中的常规收发组件,移动通信补盲用的直放站,通信用收发通道等。共同的特点是工作在射频或微波频率,可能包含一次或两次变频单元电路。

收发系统的主要技术指标有增益、噪声系数、动态范围、输出功率、灵敏度、稳定性等。

1.2.3 微波接收机

接收机主要实现微弱信号的放大、滤波和解调功能。一般由接收通道、解调电路、控制电路等组成(包含各种所需的有源和无源电路),它可分为直放式、超外差式等形式。另外随着数字技术的发展(模数变换器 A/D),还可分为模拟解调和数字下变频(解调)接收机。

直放式接收机的优点是结构简单、成本低、设计容易,但不足之处是灵敏度差、动态范围小、抗干扰能力弱。超外差接收机的缺点是结构相对复杂、成本高、设计复杂,但其具有灵敏度高、动态范围相对大、抗干扰能力强的优点。模拟和数字接收机的主要差别在解调电路方面,后者的温度稳定性好,能实现较高的设计指标。

接收机的主要技术指标有噪声系数、接收灵敏度、射频带宽、动态范围、中频带宽、杂散抑制、幅相平衡等。

1.2.4 微波发射机

微波发射机主要实现对基带信号的调制、变频、滤波和放大等功能。一般由发射通

道、调制电路、控制电路等组成(包含各种所需的有源和无源电路)。另外随着数字技术的发展(数模变换器 D/A、直接数字综合器 DDS),也可通过数字方式实现上变频、数字信号产生等功能。

发射机通常要将系统所需的基带信号,通过调制(必要时需要上变频单元)、滤波和功率放大等电路,将有用信号对载波调制后通过天线向预定目标发射或扫描。现在通过数字技术(DDS、D/A)可实现多种信号的产生(软件无线电)。另外,其功率放大、系统冷却(如雷达大功率发射机)、可靠性、成本(线性性)都会面临挑战。

发射机的主要技术指标有发射功率、杂散、谐波抑制、互调抑制、效率、带宽等。

1.2.5 频率源系统

频率源的主要功能是产生系统所需的各种频率和提供系统时钟基准。频率源依据系统的不同要求,可分为单点和多点跳频两大类。实现方式有分布式频率源、直接合成式频率源、锁相合成式频率源和数字频率源。

频率源通常为微波系统中的混频单元(上变频和下变频)提供本振信号,也为调制解调电路提供载波信号,通常不同的系统对频率源的要求也不同。分布式频率源的优点是设计简单、系统可靠性高,但其缺点是尺寸大、成本高、相参性差、跳频速度由选择开关决定。直接合成式频率源设计复杂、成本高,但它具有尺寸中等、跳频速度快、相参性好的优点。锁相合成式频率源的优点是设计中等、尺寸小、成本低,但其不足是跳频速度慢、可靠性下降。数字频率源的优点是设计简单(主要依赖 DDS、D/A 器件和相关编程软件)、尺寸小、温度特性好、成本低、跳频速度最快,但缺点是输出频率受到限制,要提高频率需采取其它措施。

频率源的主要技术指标有输出功率、频率准确度和精度、长期稳定度、瞬时稳定度(相位噪声)、杂散和谐波抑制、跳频时间、负载牵引效果等。

第 2 章 射频微波电路工程设计常用器件

在射频微波电路的设计中经常会用到多种器件。本章的目的是介绍设计中常用器件的一些基本知识,重点偏向于工程使用,使得设计师在实际设计工作中能掌握器件特性的关键参数。

2.1 引言

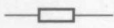

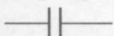
器件主要分为集总参数元件和分布参数元件,集总参数元件通常是由某种材料制作而成的器件,如电感、电容和电阻等,其电性能受到频率的限制,但具有尺寸小的优点。而分布参数元件是通过传输线来实现集总参数元件的功能,它可以用到较高的频率,但尺寸受到限制。另外本章还简述了传输线及常用半导体器件的特性。

常用无源集总参数元件有电感、电容、电阻和负载等。

2.1.1 理想器件

理想电感、电容、电阻两端电压和流过其电流间的关系见表 2-1^[1]。

表 2-1 理想电感、电容、电阻两端电压和流过其电流间的关系

元件	定理	关系式	阻抗
	欧姆定理	$V=IR$	R
	法拉第定理	$V=LdI/dt$	$j\omega L$
	高斯定理	$I=CdV/dt$	$1/(j\omega C)$

2.1.2 实际器件

通常在教科书中,这几个器件都是按理想器件来描述的,但在实际工程设计中,工程师要面对的是非理想器件,而实际器件具有以下特点^[1]:①非理想性;②它通常要用一些理想器件来等效;③依据频率、价格和耐功率等因素,器件有各种不同的形式、尺寸。常用表面贴装器件外形如图 2-1 所示,常用表面贴装器件尺寸见表 2-2。