



高等院校电子科学与技术专业系列教材

# 射频通信电路设计

刘长军 黄卡玛 闫丽萍 编著



科学出版社  
www.sciencepress.com

高等院校电子科学与技术专业系列教材

# 射频通信电路设计

刘长军 黄卡玛 闫丽萍 编著

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书系统地介绍了射频通信电路设计的基本原理和方法。全书从传输线理论、Smith圆图、两端口网络等射频电路基础理论着手,介绍了滤波电路、匹配电路、放大电路、振荡电路和频率变换电路等射频通信单元电路的具体设计方法。书中有丰富的图解和实例,每章均附有一定数量的习题,其中包含一些编写计算机程序辅助电路设计的练习,还有需要利用互联网获取电路设计信息的练习。

本书可以作为通信类和电子类(通信工程、电子信息工程、无线电技术、计算机通信等专业)本科生的教材或参考书,也可供从事射频电路的工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

射频通信电路设计/刘长军,黄卡玛,闫丽萍编著. —北京:科学出版社,2005

(高等院校电子科学与技术专业系列教材)

ISBN 7-03-015988-8

I. 射… II. ①刘… ②黄… ③闫… III. 射频电路-电路设计  
IV. TN710.02

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第083903号

责任编辑:马长芳 资丽芳 潘继敏/责任校对:包志虹  
责任印制:钱玉芬/封面设计:陈 敬

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新登印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2005年9月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2005年9月第一次印刷 印张:30 1/2

印数:1—3 000 字数:594 000

定价:42.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换(环伟))

## 《高等院校电子科学与技术专业系列教材》编委会

- |     |           |          |
|-----|-----------|----------|
| 主 编 | 姚建铨       | 天津大学     |
| 副主编 | 金亚秋       | 复旦大学     |
|     | 陈治明       | 西安理工大学   |
|     | 吕志伟       | 哈尔滨工业大学  |
| 委 员 | (按姓氏音序排列) |          |
|     | 曹全喜       | 西安电子科技大学 |
|     | 崔一平       | 东南大学     |
|     | 傅兴华       | 贵州大学     |
|     | 郭从良       | 中国科技大学   |
|     | 郭树旭       | 吉林大学     |
|     | 黄卡玛       | 四川大学     |
|     | 金伟琪       | 北京理工大学   |
|     | 刘纯亮       | 西安交通大学   |
|     | 刘 旭       | 浙江大学     |
|     | 罗淑云       | 清华大学     |
|     | 马长芳       | 科学出版社    |
|     | 毛军发       | 上海交通大学   |
|     | 饶云江       | 重庆大学     |
|     | 张怀武       | 电子科技大学   |
|     | 张在宣       | 中国计量学院   |
|     | 周乐柱       | 北京大学     |
|     | 邹雪城       | 华中科技大学   |
| 秘 书 | 资丽芳       | 科学出版社    |

## 序 言

21 世纪,随着现代科学技术的飞速发展,人类历史即将进入一个崭新的时代——信息时代。其鲜明的时代特征是,支撑这个时代的诸如能源、交通、材料和信息等基础产业均将得到高度发展,并能充分满足社会发展和人民生活的多方面需求。作为信息科学的基础,微电子技术和光电子技术同属于教育部本科专业目录中的一级学科“电子科学与技术”。微电子技术伴随着计算机技术、数字技术、移动通信技术、多媒体技术和网络技术的出现得到了迅猛的发展,从初期的小规模集成电路(SSI)发展到今天的巨大规模集成电路(GSI),成为使人类社会进入信息化时代的先导技术。20 世纪 60 年代初出现的激光和激光技术以其强大的生命力推动着光电子技术及其相关产业的发展,光电子技术集中了固体物理、波导光学、材料科学、半导体科学技术和信息科学技术的研究成就,成为具有强烈应用背景的新兴交叉学科,至今光电子技术已经应用于工业、通信、信息处理、检测、医疗卫生、军事、文化教育、科学研究和社会发展等各个领域。可以预言,光电子技术将继续微电子技术之后再次推动人类科学技术的革命和进步。因此,21 世纪将是微电子和光电子技术共同发挥越来越重要作用的时代,是电子科学与技术飞速发展的时代。

电子科学与技术对于国家经济发展、科技进步和国防建设都具有重要的战略意义。今天,面对电子科学技术的飞速发展,世界上发达国家像美国、德国、日本、英国、法国等都竞相将微电子技术和光电子技术引入国家发展计划。我国对微电子技术和光电子技术的研究也给予了高度重视。在全国电子科学技术的科研、教学、生产和使用单位的共同努力下,我国已经形成了门类齐全、水平先进、应用广泛的微电子和光电子技术的科学研究领域,并在产业化方面形成了一定规模,取得了可喜的进步,为我国科学技术、国民经济和国防建设做出了积极贡献,在国际上也争得了一席之地。但是我们应该清醒地看到,在电子科学与技术领域,我国与世界先进水平仍有不小的差距,尤其在微电子技术方面的差距更大。这既有历史、体制、技术、工艺和资金方面的原因,也有各个层次所需专业人才短缺的原因。

为了我国电子科学与技术事业的可持续发展和抢占该领域中高新技术的制高点,就必须统筹教育、科研、开发、人才、资金和市场等各种资源和要素,其中人才培养是极其重要的一环。根据教育部加强高等学校本科教育的有关精神,电子科学与技术教学指导委员会和科学出版社,经过广泛而深入的调研,组织出版了这套电子科学与技术本科专业系列教材。

本系列教材具有以下特色:

1. 多层次。考虑到多层面的需求(普通院校、重点院校或研究型大学、应用型大学),根据不同的层次,有针对性地编写不同的教材,同层次的教材也可能出版多种面向的教材。

2. 延续传统、更新内容,基础精深、专业宽新。教材编写在准确诠释基本概念、基本理论的同时,注重反映该领域的最新成果和发展方向,真正使教材能够达到培养“厚基础、宽口径、会设计、可操作、能发展”人才的目的。

3. 拓宽专业基础,加强实践教学。适当拓宽专业基础知识的范围,以增强培养人才的适应性;注重实践环节的设置,以促进学生实际动手能力的培育。

4. 适应教学计划,考虑自学需要。教材的编写完全按照教学指导委员会最新的课程设置为课程要求的指示精神,同时给学生留有更大的选择空间,以利于学生的个性发展和创新能力的培养。

5. 立体化。教材的编写是立体的,包括主教材、学习辅导书、教师参考书和多媒体课件等。

本系列教材的编写集中了全国高校的优势资源,突出了多层次与适应性、综合性与多样性、前沿性与先进性、理论与实践的结合。在教材的组织和出版过程中得到了相关学校教务处及学院的帮助,在此表示衷心的感谢。

根据电子科学与技术专业发展战略的要求,我们将对这套系列教材不断更新,以保持教材的先进性和适用性。热忱欢迎全国同行以及关注电子科学与技术领域教育及发展前景的广大有识之士对我们的工作提出宝贵意见和建议。



教育部“电子科学与技术”教学指导委员会主任  
中国科学院院士,天津大学教授

# 前 言

近十年来,射频电路的研究得到巨大的发展,在无线通信、医疗、遥感、遥控、全球定位和射频识别等领域得到广泛应用。射频电路是现代通信系统中一个不可缺少的部分,直接影响着通信系统的性能。随着科学技术的发展,射频电路设计方法日趋成熟,射频覆盖的频率范围也越来越宽。

由于射频通信电路设计涵盖了非常多的领域,几乎每一个领域都有专门的书籍对其进行介绍和深入分析,例如,传输线理论、微波/射频网络、微带滤波电路和晶体管放大电路等都有相应的专著。在深入学习这些专业领域的知识前,需要建立射频电路设计的基本概念,系统掌握射频通信电路设计的一般方法。因此,本书侧重于射频通信电路设计的基础知识,提高读者对射频通信电路设计的认识。通过本书的学习,读者可以踏进射频通信电路设计的领域,掌握射频通信电路设计的基础知识。

本书涵盖了射频通信电路设计的基础理论和基本方法,包括 10 章内容:第 1 章绪论,第 2 章射频电路基础,第 3 章传输线理论和 Smith 圆图,第 4 章射频网络,第 5 章滤波电路设计,第 6 章匹配电路和偏置电路,第 7 章射频放大电路,第 8 章振荡电路,第 9 章频率变换和调制电路,第 10 章射频电路系统参数。本书的内容可分为两部分,第一部分为第 1~4 章,第二部分为第 5~10 章。

第一部分主要介绍射频电路设计的基础知识。第 1 章介绍射频的定义和频谱划分,讨论射频电路设计的特点,建立射频电路的概念。第 2 章介绍射频电路设计经常涉及的一些相关概念,如带宽、分贝毫瓦、品质因数等,简介射频有源器件的电路模型和基本应用。第 3 章介绍传输线的特征阻抗和电压反射系数,传输线种类、功能和分析方法,Smith 圆图的使用方法。第 4 章介绍两端口网络的矩阵描述和各种矩阵参数之间的换算,讨论使用信号流图简化射频电路分析的方法。

第二部分主要介绍射频通信单元电路的基本原理和设计方法。第 5 章介绍滤波电路的概念、集总参数和分布参数滤波电路的设计方法,主要讨论如何使用微带传输线实现分布参数滤波电路。第 6 章介绍使用集总参数和分布参数元件设计匹配电路的方法,有源和无源偏置电路的构成和功能。第 7、8、9 章通过综合运用实现电路的分析和设计,分别介绍放大电路、振荡电路和变频电路等射频通信单元电路的相关概念和工作原理。第 10 章介绍射频系统参数的分析方法,讨论多级单元电路的功率增益、噪声系数和动态范围。

本书限于讨论横电磁波(TEM),不涉及复杂的电磁场分析,对数学理论没

有过高的要求。只要具备了电磁学、电路分析和模拟电路的一些基本知识,就可以顺利完成本书的学习。通常电子类专业的本科已经开设有“大学物理”(电磁学)、“电路分析”和“模拟和数字电路”等课程,可以直接使用本书而不必专门开设其他的前期课程。如果学习了“电磁场与微波技术”、“微波网络”等课程,已经掌握了传输线理论、Smith 圆图和射频网络参数的概念,则可以跳过第 3、4 章。本书的部分章节具有很强的独立性,可以根据课程开设的目的和课时的安排情况,自行调节授课内容。

在本书的习题中,编排了一些利用计算机程序辅助射频电路设计的练习,可以选用任何一种高级语言编写程序,对射频通信电路设计的实际工程应用很有帮助。另外,互联网上有丰富的射频电路设计资源,通过完成课后习题中对射频概念、相关软件和集成芯片资料的搜索,可以了解更多的射频电路设计技术。希望有条件的读者能充分利用计算机和互联网的资源,更好地完成本书的学习。

黄卡玛教授撰写了第 1、2 章,闫丽萍副教授撰写了第 3 章,其余章节由刘长军教授撰写。全书内容由刘长军统一审订。四川大学的徐兰教授大力支持了作者的工作,提出了一些宝贵建议,在此表示感谢。

由于作者的水平有限,书中不妥和错误之处在所难免,恳请广大读者批评指正。



# 目 录

序言

前言

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
1.1 射频概念 .....	1
1.2 射频通信电路应用简介 .....	2
1.3 射频电路设计的特点 .....	6
1.3.1 分布参数 .....	6
1.3.2 $\lambda/8$ 设计准则 .....	7
1.3.3 趋肤效应 .....	8
习题 .....	9
<b>第 2 章 射频电路基础</b> .....	10
2.1 频带宽度表示法 .....	10
2.1.1 绝对带宽 .....	10
2.1.2 相对带宽 .....	10
2.1.3 窄带和宽带 .....	11
2.2 分贝表示法 .....	12
2.3 LC 谐振电路的特性 .....	13
2.3.1 串联谐振电路 .....	13
2.3.2 并联谐振电路 .....	15
2.4 品质因数 .....	17
2.4.1 品质因数与带宽的关系 .....	18
2.4.2 有载品质因数 .....	19
2.4.3 电抗器件的品质因数 .....	20
2.5 射频二极管 .....	21
2.5.1 二极管模型 .....	21
2.5.2 射频二极管分类 .....	23
2.6 射频晶体管 .....	30
2.6.1 射频晶体管的结构 .....	30
2.6.2 射频晶体管的模型 .....	33
习题 .....	37
<b>第 3 章 传输线理论和 Smith 圆图</b> .....	39

3.1	传输线基础 .....	40
3.1.1	常用传输线种类 .....	41
3.1.2	传输线等效电路 .....	45
3.1.3	传输线方程 .....	47
3.1.4	特征阻抗的定义 .....	48
3.2	无耗传输线的基本特性 .....	53
3.2.1	传输特性 .....	53
3.2.2	传输线阻抗特性 .....	56
3.2.3	反射特性 .....	59
3.3	终端接不同负载的传输线 .....	61
3.3.1	终端接匹配负载 .....	61
3.3.2	纯驻波工作状态 .....	62
3.4	信号源和有载传输线 .....	66
3.5	Smith 圆图 .....	69
3.5.1	Smith 圆图的构成 .....	70
3.5.2	Smith 圆图的应用 .....	74
3.6	小结 .....	81
	习题 .....	82
<b>第 4 章</b>	<b>射频网络 .....</b>	<b>85</b>
4.1	基本概念 .....	85
4.1.1	线性网络 .....	85
4.1.2	阻抗矩阵和导纳矩阵 .....	87
4.1.3	混合矩阵和转移矩阵 .....	91
4.2	网络的连接 .....	95
4.2.1	网络的串联 .....	95
4.2.2	网络的并联 .....	96
4.2.3	网络的级联 .....	97
4.3	网络的特性 .....	100
4.3.1	网络的转换 .....	100
4.3.2	网络分析的应用 .....	102
4.4	散射参数 .....	105
4.4.1	散射参数概念 .....	106
4.4.2	散射参数推广 .....	114
4.4.3	散射参数测量 .....	116
4.5	信号流图 .....	118
4.5.1	信号流图基础 .....	118
4.5.2	信号流图基本规则 .....	120

4.5.3 信号流图的应用 .....	121
习题 .....	125
<b>第5章 滤波电路设计</b> .....	127
5.1 谐振电路和滤波电路的基本结构 .....	128
5.1.1 谐振电路的类型和基本参数 .....	128
5.1.2 一阶滤波电路 .....	132
5.2 集总参数滤波电路 .....	144
5.2.1 巴特沃兹滤波电路 .....	144
5.2.2 契比雪夫滤波电路 .....	148
5.2.3 归一化滤波电路的变换 .....	155
5.3 分布参数滤波电路 .....	164
5.3.1 基本方法 .....	164
5.3.2 低通滤波电路的设计 .....	169
5.3.3 带阻滤波电路 .....	178
5.3.4 带通滤波电路 .....	182
习题 .....	193
<b>第6章 匹配电路和偏置电路</b> .....	196
6.1 匹配电路的概念 .....	197
6.2 集总参数匹配电路 .....	199
6.2.1 变压器阻抗变换电路 .....	200
6.2.2 L形匹配电路 .....	204
6.2.3 集总参数L形匹配电路 .....	205
6.2.4 匹配禁区和频率响应 .....	213
6.2.5 T形和 $\pi$ 形匹配电路 .....	222
6.3 分布式匹配电路 .....	226
6.3.1 混合型匹配电路 .....	226
6.3.2 单分支匹配电路 .....	227
6.3.3 双分支匹配电路 .....	233
6.4 阻抗匹配电路综合设计 .....	236
6.5 偏置电路 .....	241
6.5.1 偏置电路基本概念 .....	241
6.5.2 无源偏置电路 .....	244
6.5.3 有源偏置电路 .....	249
习题 .....	255
<b>第7章 射频放大电路</b> .....	259
7.1 小信号射频放大电路 .....	260
7.1.1 放大电路稳定性分析 .....	260

7.1.2	绝对稳定的充要条件 .....	267
7.1.3	潜在不稳定情况 .....	269
7.1.4	放大电路的增益 .....	270
7.2	射频放大电路的噪声 .....	281
7.2.1	噪声信号的特性和分类 .....	281
7.2.2	等效噪声温度和噪声系数 .....	283
7.2.3	等噪声系数圆 .....	288
7.3	宽带放大电路 .....	292
7.4	功率放大电路 .....	296
7.4.1	A类功率放大电路 .....	297
7.4.2	B类和C类功率放大电路 .....	299
7.4.3	功率合成放大电路 .....	303
7.4.4	功率放大的交调失真 .....	305
7.5	射频放大电路综合分析设计 .....	308
	习题 .....	320
<b>第8章</b>	<b>振荡电路 .....</b>	<b>324</b>
8.1	反馈型振荡电路 .....	325
8.1.1	振荡电路的工作条件 .....	325
8.1.2	LC型振荡电路 .....	331
8.1.3	石英晶体振荡电路 .....	343
8.2	负阻型振荡电路 .....	347
8.2.1	负阻振荡电路的原理 .....	348
8.2.2	负阻振荡电路设计 .....	356
8.3	振荡电路的分析和应用 .....	373
8.3.1	频率稳定度 .....	373
8.3.2	可调谐振荡电路 .....	375
8.3.3	混合参数型振荡电路 .....	384
8.3.4	寄生振荡和间歇振荡 .....	384
	习题 .....	387
<b>第9章</b>	<b>频率变换和调制电路 .....</b>	<b>390</b>
9.1	整流和检波电路 .....	390
9.1.1	二极管的小信号分析 .....	392
9.1.2	二极管在检波电路中的应用 .....	393
9.2	混频电路类型和参数 .....	403
9.2.1	混频电路的类型 .....	404
9.2.2	混频电路的参数 .....	408
9.3	混频电路的设计 .....	412

9.3.1	无源混频电路 .....	412
9.3.2	有源混频电路 .....	421
9.4	调制和解调电路 .....	434
9.4.1	调制电路 .....	435
9.4.2	解调电路 .....	446
	习题 .....	454
<b>第 10 章</b>	<b>射频系统参数</b> .....	<b>457</b>
10.1	功率增益 .....	457
10.2	噪声系数 .....	458
10.3	三阶交调截点 .....	460
10.4	动态范围 .....	461
	习题 .....	465
	<b>参考文献</b> .....	<b>467</b>
	<b>附录</b> .....	<b>468</b>
附录 A	物理常数 .....	468
附录 B	数量级表示 .....	468
附录 C	IEEE 和商用波段划分 .....	469
附录 D	声波频率划分表 .....	469
附录 E	常用广播系统的工作频段 .....	470
附录 F	传输线特征阻抗的初等方法推导 .....	470
附录 G	两端口网络参数的换算 .....	472

# 第 1 章 绪 论

## 1.1 射 频 概 念

在 1864~1873 年,英国物理学家麦克斯韦(James Clark Maxwell)通过电磁学的研究,提出了著名的 Maxwell 方程组,并在理论上预言了电磁波的存在。1887~1891 年,德国物理学家赫兹(Heinrich Hertz)通过电磁学实验首次证实了电磁波的存在。1901 年,马可尼(Guglielmo Marconi)利用电磁波实现了横跨大西洋的无线通信。1947 年,美国贝尔实验室发明了双极型晶体管,逐步取代了体积大、功耗高的真空管电子器件。晶体管是 20 世纪电子领域最重要的发明之一,推动了众多行业的发展。电视和广播等属于单向信息传输的无线通信方式,移动通信则是一种双向信息传输的无线通信方式。伴随射频集成电路和微波集成电路的出现,通信设备价格更低廉、体积更小、重量更轻,射频通信电路逐步从军用转向民用,并推动了射频通信技术的进一步发展。

随着科学技术的不断进步,电子通信系统也不断地完善和发展。从有线传输的语音通信到无线传输的移动通信,从窄带语音通信到宽带综合业务通信,从模拟调制信号通信到数字调制信号通信,电子通信系统越来越先进,也越来越复杂。随着通信系统信息容量的不断提高,射频通信技术越来越显示其重要性。

按照通信信号的不同频率范围,可以把通信系统使用的频率人为地划分成很多波段。一种频段的划分标准,如表 1-1 所示,给出了信号频率和相应的自由空间波长。例如,50Hz 的交流电属于 ELF 频段;调幅广播属于 MF 频段;调频广播属于 VHF 频段;电视广播属于 VHF 和 UHF 波段;GSM 移动通信属于 UHF 波段;很多卫星通信使用了 SHF 波段的频率。国外还有另外的波段划分和命名方法,可以

表 1-1 频率和波段的划分

波段	缩写	频率范围	波长		波长相对尺度
极低频	ELF	30~300Hz	1000~10000km		地球直径
音频	VF	300~3000Hz	100~1000km		山峰高度
甚低频	VLF	3~30kHz	10~100km		
低频	LF	30~300kHz	1~10km	长波	
中频	MF	300~3000kHz	0.1~1km	中波	高层建筑
高频	HF	3~30MHz	10~100m	短波	
甚高频	VHF	30~300MHz	1~10m	米波	人的身高
特高频	UHF	300~3000MHz	0.1~1m	分米波	书本
超高频	SHF	3~30GHz	1~10cm	厘米波	手机
极高频	EHF	30~300GHz	1~1cm	毫米波	

参看附录 C。

目前,射频(radio frequency, RF)没有一个严格的频率范围定义。广义的射频信号是指所有频率高于 10kHz,可以向外辐射电磁能量的信号。频率为 10kHz~30MHz 的信号,对应的波长超过 10m,在通常尺寸的电路板上电磁能量的辐射非常微弱。电路设计与低频电路的设计区别不大。对于频率高于 30MHz 的信号,在电路设计时往往需要考虑如相位偏移、寄生参数、噪声和辐射等因素的影响。如果信号的频率高于 4GHz,则需要参考微波电路的方法进行电路设计。这些信号的频率都高于 10kHz,均属于广义射频的范围内。由于广义射频信号定义的频率范围太宽,在实际应用的使用较少。

在现代电路设计和通信系统应用中,通常将射频的频率范围定义为 30MHz~4GHz。这个频率范围比广义的射频频率范围更为严格,电路设计具有更显著的特征,因而得到了广泛的应用和普遍的认可。本书中涉及的射频均指 30MHz~4GHz 的频率,本书讨论的射频通信电路,工作频率基本上也都位于 30MHz~4GHz。

从电路设计的角度来看,射频电路的设计既不同于低频电路设计,又区别于微波电路设计。如果信号频率低于 30MHz,通常可以采用高频电路的设计方法。如果信号的频率高于 4GHz,则通常属于微波电路设计的方法。在低频电路设计中,无须考虑线路上引线的长度和一些寄生参数的影响,可以使用基尔霍夫定律进行电路分析。在微波电路设计中,主要应用波导、谐振腔、环形器等元件,必须使用基于电磁场的方法进行电路分析。例如,线路板上传输线的直角转弯,如何设计才能尽可能减小信号的损失的问题,就属于微波电路设计的范畴。射频电路设计方法通常是介于低频电路设计与微波电路设计之间的一种方法。射频电路的频率不是很低,在电路设计时无法直接使用基尔霍夫定律,但是射频电路的频率又不是特别高,不必完全使用电磁场的分析方法。

射频(30MHz~4GHz)覆盖了大多数电子通信系统载波的频率。例如,CATV 有线电视广播、GSM 移动通信系统、C 波段卫星通信等,都属于射频的范围。在通信领域内,射频电路得到广泛的应用。个人移动通信系统就是射频通信电路的一个典型应用。

随着射频电路的广泛应用和不断发展,射频的范围还将向更高的频率延伸。例如,目前一些厂家已经规定射频的高端频率为 9GHz,把高于 9GHz 的频率划归到微波范围,低于 9GHz 的频率划分为射频。

## 1.2 射频通信电路应用简介

在电子通信系统中,只有使用更高的载波频率,才能获得更大的带宽。使用射频通信技术的一个重要目的,就是使通信系统获得更高的信息容量。例如,按照 10%的带宽计算,有线电视系统中使用 100MHz 的载波可以获得 10MHz 的带宽,

大致相当于 2 个电视频道的容量；而 C 波段卫星通信使用 4GHz 的载波可以获得 400MHz 的带宽，大致相当于 80 个电视频道的容量。因此，为了在通信系统中获得更高的信息容量，就必须从高频通信系统过渡到射频通信系统。

在射频的高端频段，射频信号在自由空间中具有类似光线的直线传输特性，而且由于频率的升高，射频信号的波长更短。例如，900MHz 的射频信号，自由空间的波长只有 30cm 左右，如果使用长度为  $\lambda/4$  的单极天线，天线长度大约为 7cm。射频高端频段信号的直线传输和天线体积小的特性，特别适合于无线通信系统的应用。射频高端频段信号的另一个重要的特性是可以穿透电离层，实现卫星通信。因此，射频通信技术在无线通信系统中得到了广泛应用。

经过近十年的发展，越来越多的通信系统使用了射频通信技术。射频通信系统的主要优点包括：

- (1) 由于射频频率更高，可以利用更宽的频带和更高的信息容量。
- (2) 射频电路中电容和电感尺寸缩小，通信设备的体积进一步减小。
- (3) 射频通信可以提供更多的可用频谱，解决频率资源日益紧张的问题。
- (4) 通信信道之间的频率间隙增大，减小了信道的相互干扰。
- (5) 可以利用小尺寸天线获得高增益，便于移动通信系统的实现。

近年来，射频通信电路的主要应用领域包括卫星通信、个人移动通信(GSM、CDMA 和 3G)、无线局域网(WLAN)、航空通信、车载和船载通信、高速数字通信、光纤通信、电视广播和电台广播等。在光纤通信系统中，使用低损耗的光纤来传输调制的光信号。由于光信号具有极高的频率，通信系统具有很高信息容量，而且可以避免电磁场的干扰。在光纤通信系统的发射端和接收端，都需要进行光信号和电信号的相互转换，也需要相应电信号的处理电路，如调制电路和解调电路。这些相关电路的设计都需要用到射频电路设计的知识。

射频通信电路主要的应用是在无线通信系统。不同的射频通信系统具有类似的结构，典型的射频通信系统包括调制、变频、放大和解调等部分。下面以移动通信系统为例简单介绍射频通信系统的一些参数和基本电路结构。

根据信号调制方式和频带宽度的不同，移动通信有几种标准，如 IS-4、IS-95 和 GSM 等，载波频率都集中在 900MHz 和 1800MHz 左右，属于射频的频率范围。表 1-2 列出了 6 种主要移动通信系统的参数比较。

以 GSM 移动通信系统为例，表 1-3 列出了移动通信 GSM900 和 GSM1800 系统的相关射频参数。在 GSM900 的标准中，P 波段的上行频率和下行频率的间隔为 45MHz，上行和下行频带宽度均为 25MHz，系统共占用 50MHz 的频率资源。在上行/下行的 25MHz 带宽内，提供了 124 个信道，每个信道的带宽为 200kHz，调制方式为 GMSK。在此通信系统中，需要设计工作在 900MHz 的放大电路、滤波电路、混频电路和振荡电路等。只有使用射频电路设计方法才能获得一个性能优良的 GSM 移动通信系统。



表 1-2 移动通信系统的参数

系统名称	IS-54	IS-95	GSM	CT2	DCS1800	DECT
频带(上行)/MHz	869~894	869~894	935~960	864~868	1805~1880	1880~1900
频带(下行)/MHz	824~849	824~849	890~915	864~868	1710~1785	1880~1900
频带宽度/MHz	50	50	50	2	150	20
通道选择	TDMA/FDMA	CDMA/FDMA	TDMA/FDMA	FDMA	TDMA/FDMA	TDMA
信道宽/kHz	30	1250	200	100	200	1728
信道/载波	3	55~62	8	1	16	12
通道数	832	20	124	40	375	10
用户数	2496	15 960	992	40	5984	120
双工方式	FDD	FDD	FDD	TDD	FDD	TDD
通道比特率/kbps	48.6	12 288	271	73	271	1152
调制	$\pi/4$ DQPSK	BPSK/OQPSK	GMSK	FSK	GMSK	GMSK
移动峰值功率	0.6~3W	0.2~2W	2~20W	10mW	0.25~2W	250mW
移动平均功率	0.6~3W	0.2~2W	0.25~2.5W	5mW	0.03~0.25W	10mW

表 1-3 GSM900 和 GSM1800 的 RF 数据

	GSM900		GSM1800
	P 波段	G1 波段	L 波段
频率范围			
上行频率/MHz(手机发射)	890~915	880~890	1710~1785
下行频率/MHz(基站发射)	935~960	925~935	1805~1880
双工间隔/MHz	45	55	95
占用频谱/MHz	2×25	2×10	2×75
通道数	124	49	374
绝对无线信道号(ARFCN)	1~124	975~1023	512~885
同时用户数	992	392	2992
信道间隔	200kHz		
调制方式	GMSK(B×T)=0.3		
数据传输速率	270.88kbps		
比特持续期	2.69 $\mu$ s		

GSM 手机实际上是工作在脉冲状态, GSM 的无线信道是由不断重复出现的帧组成, 每个帧是持续时间为 4.62ms 的射频信号。每个帧内包含 8 个 577 $\mu$ s 的时间隙, 每一个时间隙包含一系列的脉冲串用于构成一个信息包。发射时间隙和接收时间隙之间有 2 个时间隙的空闲, 以避免发射信号和接收信号的相互干扰。一个帧可以容纳 8 对发射和接收的时间隙, 也就是 8 个用户可以分时共用一个 200kHz 的信道。通过这种时分多址(TDMA)的方式, GSM 通信系统利用有限的频带资源提供更多的信道。以 200kHz 为信道的带宽, GSM900 上行和下行 25MHz 的带块内只能容纳 124 个信道。通过时分多址的方式, 每个信道可以容纳 8 个用户, 将使 GSM900 理论上可以扩充到 992 个并发用户。

图 1-1 给出了一款 IS-54 手机射频前端电路的结构框图。天线接收到的信号经过双工器进入接收通道, 通过带通滤波电路(BPF)后进入低噪声放大电路