

高等学校教材

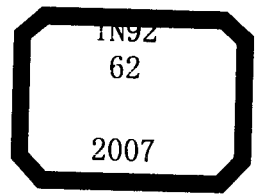
软件无线电 技术基础

The basis of software radio

陈祝明



高等教育出版社
Higher Education Press



高等学校教材

软件无线电技术基础

陈祝明

高等教育出版社

内容提要

本书从软件无线电系统的角度叙述软件无线电的相关技术及其理论基础。

全书共6章,首先以无线电系统技术的发展历程为线索概述各种无线电系统技术,然后以软件无线电系统结构为背景详述信号采样理论与模数前端技术、多速率信号处理与数字前端技术、基带信号处理理论与数字基带技术。在此基础上,本书讨论软件无线电中的波束形成理论与智能天线技术,最后介绍软件无线电的体系结构与实现技术,并给出几种经典的软件无线电应用系统示例。

本书内容全面、概念清楚、系统技术知识和理论知识结合紧密,既可作为电子、信息与通信工程相关专业高年级本科生和硕士研究生的教材,也可作为从事软件无线电技术工作的工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

软件无线电技术基础/陈祝明. —北京:高等教育出版社,2007.4

ISBN 978-7-04-021222-8

I. 软... II. 陈... III. 计算机通信-无线电通信
IV. TN92-39

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第031952号

策划编辑	杜 炜	责任编辑	欧阳舟	封面设计	张 楠
责任绘图	朱 静	版式设计	王艳红	责任校对	刘 莉
责任印制	毛斯璐				

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街4号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-58581000		http://www.hep.com.cn
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	http://www.landaco.com
印 刷	北京未来科学技术研究所 有限责任公司印刷厂	畅想教育	http://www.widedu.com
开 本	787×960 1/16	版 次	2007年4月第1版
印 张	14.25	印 次	2007年4月第1次印刷
字 数	260 000	定 价	18.20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 21222-00

前 言

软件无线电(Software Radio)的概念是1991年由美国MITRE公司的Mitola提出来的,最初的目的是为了解决各种军用电台的互连互通问题。随着民用无线移动通信的高速发展,其各种标准与协议的互不兼容以及各国频率分配的不一致,已成为全球移动通信发展的一大障碍,而软件无线电的出现为这一问题提供了很好的解决方案。为此,软件无线电受到了众多国际组织和公司的重视,其中100多家组织和公司联合起来专门建立了一个“软件定义无线电国际论坛”(www.sdrforum.org)。而另一个组织“软件无线电国际论坛与对象管理组织”(www.omg.org)目前正致力于整合民用和军用软件无线电的开发和应用,以制定软件无线电的标准。

在国内,软件无线电的发展也很迅速,从事软件无线电各方面研究工作的人员越来越多,发表了许多与软件无线电相关的论文,也出版了一些软件无线电的相关书籍。许多高等学校都相继开设了软件无线电的课程。编者在电子科技大学讲授该课程的过程中,根据自己的科研经历和学生反馈的意见,逐渐形成一个相对成熟的讲义,并在电子科技大学研究生院教材建设项目的支持下,整理成为这样一本软件无线电技术的教材。

软件无线电由于覆盖了从部件到系统、从电路到天线、从射频到数字、从硬件到软件等一系列理论和技术的基础知识,因而成为一门综合性很强的专业课程。如何从众多的专业知识中提取出与软件无线电最为相关的部分,并按照一种合理的逻辑关系联系起来,使得读者既可以在学习中感觉到清晰易懂,又易于在工程中展开应用,解决这一难题就是编者编写这本教材的初衷。为此,编者在这本教材的编写过程中,以高等学校研究生与高年级本科生为对象,以软件无线电的系统组成为主线进行展开,既侧重技术知识,又注重理论基础与工程技术的密切结合。

第1章首先对无线电系统的技术基础知识进行概述,其目的是帮助没有无线电技术基础或对无线电技术不太清楚的读者从系统和技术的角度去了解无线电技术的相关基础知识,然后阐述数字无线电技术的概念、理论和系统结构,在此基础上引入软件无线电的概念。

第2章由信号采样定理引出,从器件到电路详细讲述A/D转换、D/A转换的相关技术,在此基础上给出软件无线电的几种实现结构。

第3章在多速率信号处理理论的基础上,叙述数字上/下变频、数字信道分离、数字 AGC 等数字前端技术及其高效结构。

第4章采用一个统一的调制/解调模型对各种模拟和数字的调制/解调方式进行描述,并对数字基带处理中最为关键的同步技术进行详细介绍,特别是基于软件无线电概念的开环同步的理论和算法。

第5章首先介绍波束形成的概念,然后在此基础上详述波束形成的基本算法和实现结构以及软件无线电中的智能天线的概念及其在移动通信中的应用。

第6章总结软件无线电体系结构中硬件体系结构和软件体系结构的研究成果,并对对比介绍软件无线电系统实现中所涉及的 DSP 技术和 FPGA 技术,最后给出几个软件无线电系统的经典示例,以加深读者对软件无线电系统的认识和理解。

本教材第1章至第4章的逻辑关系较为紧密,不宜拆分。第5章和第6章从逻辑上相对独立一些,使用时可以根据课程的需要进行适当的取舍。

在本教材的编写过程中,编者得到了电子科技大学研究生院的大力支持和帮助,在此表示衷心的感谢;编者还要感谢参加过软件无线电技术特别培养研讨活动的所有研究生,他们的积极意见和提交的报告为编者提供了很好的素材;感谢清华大学无线中心的栗欣老师在百忙之中抽出时间来审阅全稿,并给出了许多宝贵而中肯的意见;感谢研究生陈甜对本教材进行的文字校对;最后特别感谢妻子傅劲对编写工作的鼓励和支持。

由于软件无线电所涉及的知识面广,而编者的理论水平和工程经验有限,因此书中难免出现错误和不当之处,敬请读者给予谅解和指正。

陈祝明

四川成都·电子科技大学

2006年12月

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010) 58581897/58581896/58581879

传 真：(010) 82086060

E - mail：dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮 编：100011

购书请拨打电话：(010)58581118

目 录

第 1 章 无线电系统技术概述	1
1.1 无线电技术起源与发展	1
1.2 无线电技术基础	2
1.2.1 无线电系统的结构	2
1.2.2 无线数字通信系统	14
1.3 数字无线电技术	15
1.3.1 数字无线电技术基础	15
1.3.2 数字无线电系统的结构	20
1.3.3 数字无线电系统的特点	22
1.4 软件无线电的概念	22
1.4.1 软件无线电的定义	22
1.4.2 软件无线电的基本结构	24
第 2 章 信号采样理论与模数前端技术	26
2.1 信号采样理论	26
2.1.1 低通采样定理	26
2.1.2 带通采样定理	29
2.1.3 离散信号的归一化频谱	31
2.2 A/D 转换技术	32
2.2.1 A/D 转换器的基本原理	32
2.2.2 高速 A/D 转换器的种类	35
2.2.3 A/D 转换器的主要性能指标	38
2.2.4 A/D 转换器系统的应用	43
2.3 D/A 转换技术	46
2.3.1 D/A 转换器的基本原理	46
2.3.2 D/A 转换器的主要性能指标	48
2.3.3 D/A 转换器系统的应用	49
2.4 信号采样技术在软件无线电系统中的应用	52
2.4.1 基于射频低通采样结构的软件无线电系统	52
2.4.2 基于射频带通采样结构的软件无线电系统	53
2.4.3 基于中频带通采样结构的软件无线电系统	56

第3章 多速率信号处理与数字前端技术	58
3.1 抽取与内插	58
3.1.1 整数倍抽取	59
3.1.2 整数倍内插	62
3.1.3 采样率的分数倍变换	63
3.2 采样率变换的多相滤波结构	65
3.2.1 数字滤波器概述	65
3.2.2 FIR 滤波器的设计	67
3.2.3 采样率变换系统的多相滤波结构	72
3.3 高倍采样率变换的多级实现	79
3.3.1 $M \times N$ 倍采样率变换的实现	79
3.3.2 2^M 倍采样率变换的实现	82
3.3.3 $L \times 2^M$ 倍采样率变换的实现	85
3.4 数字变频技术	89
3.4.1 数字变频器的系统结构	90
3.4.2 数字变频器的实现技术	90
3.5 数字信道分离/合成技术	92
3.5.1 基于复数带通滤波器的信道分离技术	92
3.5.2 基于数字滤波器组的信道分离/合成技术	95
3.6 数字 AGC 技术	98
3.6.1 数字接收机的动态范围	98
3.6.2 数字 AGC 技术	99
第4章 基带信号处理理论与数字基带技术	101
4.1 基带信号的调制理论	101
4.1.1 模拟调制的调制算法	102
4.1.2 数字调制的调制算法	103
4.2 基带信号的解调理论	105
4.2.1 模拟调制的解调算法	106
4.2.2 数字调制的解调算法	107
4.2.3 载频失配对正交解调的影响	109
4.3 软件无线电系统中的同步技术	110
4.3.1 无线电系统中的同步技术概述	110
4.3.2 软件无线电系统中的开环同步结构	118
4.3.3 信号参数的估计理论	119
4.3.4 载波同步的参数估计方法	122
4.3.5 定时同步的参数估计方法	124

第 5 章 波束形成理论与智能天线技术	129
5.1 天线的基本概念与基本参数	129
5.1.1 天线的基本概念	129
5.1.2 天线的基本参数	129
5.1.3 无线电系统中的天线	133
5.2 阵列天线	134
5.2.1 二元阵天线	134
5.2.2 均匀直线阵天线	136
5.3 相位控制阵列天线	140
5.3.1 二元相控阵天线	140
5.3.2 均匀直线相控阵天线	141
5.3.3 相控阵天线的相位控制方法	143
5.3.4 宽带相控阵天线	145
5.4 数字波束形成与自适应天线	147
5.4.1 空域滤波与频域滤波	147
5.4.2 阵列天线的幅相加权与波束赋形	149
5.4.3 数字波束形成的基本方法	151
5.4.4 自适应天线与自适应算法	154
5.5 无线移动通信中的智能天线	157
5.5.1 无线移动通信中智能天线的实现方式	158
5.5.2 智能天线对无线移动通信系统性能的改善	160
5.6 软件无线电系统中的智能天线	161
5.6.1 软件无线电系统中智能天线面临的问题	161
5.6.2 基于智能天线的软件无线电系统结构	162
第 6 章 软件无线电的体系结构与实现技术	164
6.1 软件无线电的体系结构	164
6.1.1 硬件平台的体系结构	164
6.1.2 软件平台的体系结构	168
6.1.3 软件无线电的软件重构	171
6.1.4 软件无线电的评价	172
6.2 软件无线电的实现技术	173
6.2.1 DSP 技术	174
6.2.2 FPGA 技术	181
6.2.3 DSP 与 FPGA 的应用选择	190
6.3 软件无线电的应用实例	194
6.3.1 SPEAKeasy	194

6.3.2 软件定义无线电论坛的体系结构	206
6.3.3 数字阵列雷达系统	211
6.3.4 感知无线电系统	215
参考文献	217

第 1 章

无线电系统技术概述

1.1 无线电技术起源与发展

虽然许多著名的科学家如奥斯特(H. C. Oersted)、安培(A. M. Ampere)、法拉第(M. Faraday)、亨利(J. Henry)等都为无线电技术的早期发展做出了重大贡献,但真正的转折是1873年英国物理学家麦克斯韦(J. C. Maxwell)发表的电磁辐射理论,它成为无线电技术领域中最为基础的理论基础。1887年德国物理学家赫兹(H. R. Hertz)用自己设计的振荡器第一次通过实验证实了电磁波的存在,证明了麦克斯韦的理论的正确性,后又研究电磁波的各种性质(反射、衍射、折射、形成驻波等),证实了电磁波在空气中的传播速度等于光速,确立了电磁波和光波基本特性的等同性。1895年意大利发明家马可尼(G. Marconi)试验无线电通信成功,1901年,他成功地用莫尔斯电码跨越大西洋传输无线电信号,开创了人类对无线电技术的开发和应用,马可尼也因此被誉为“无线电之父”。此后,无线电通信技术获得迅猛发展:1923年实现了短波通信;1931年实现了微波通信;1936年建立了超短波接力通信;1938年,英国组建了世界上最早的防空雷达警戒网。1960年美国利用ATLAS卫星首次实现了卫星广播。1978年底,美国贝尔实验室研制成功先进移动电话系统(AMPS),建成了大容量的蜂窝状移动通信网。美国和俄罗斯分别于1994年和1996年建成了全球卫星导航系统GPS和GLONASS。

从无线电技术的发展过程可以看到,无线电系统包括无线电通信、导航、定位、测向、雷达、遥控、遥测、广播、电视等各种无线电设备,概括来讲,利用电磁波的传播进行信息传输或信息获取的电子系统都是无线电系统。无线电技术是指与无线电系统相关的基础理论和工程方法。无线电系统与有线通信系统相比,

其系统的原理和技术是基本相同的,其根本性的差别在于信息传播的方式不同,前者是利用电磁波在大气或真空中进行传播,后者是利用电或光在金属电缆或光缆中传播。由于电磁波在大气传播中的诸多不确定因素,因此无线电系统具有一些有线通信中所没有的特有现象,如多普勒效应、多径效应、大气传播效应等。

1.2 无线电技术基础

1.2.1 无线电系统的结构

1. 无线电系统的最简结构

直放式无线电系统是最为简单的无线电系统。以语音传输为例,一个基于语音传输的直放式无线电系统的结构如图 1.1 所示。

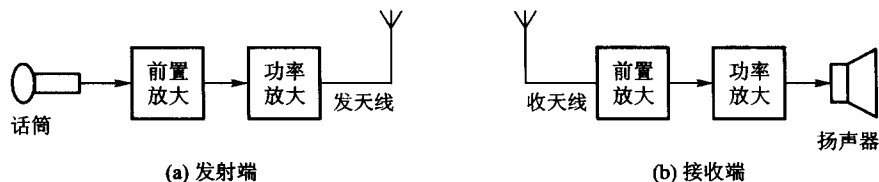


图 1.1 基于语音传输的最简无线电系统结构

声音信号首先经过话筒转换为电信号,经过前置放大和功率放大后由天线辐射出电磁波信号,如图 1.1(a)所示。在接收端,电磁波信号经天线转换为电压信号,经过前置放大和功率放大后激励扬声器还原为声音信号,如图 1.1(b)所示。

图 1.1 所示的无线电系统在理论上能够完成语音信号的无线传输,但在工程实现上存在两个问题:

(1) 天线效率低

天线是无线电系统区别于有线电系统的关键部件,其功能是将输入的激励电流转换为电磁波能量输出,或将输入的电磁波能量转换为电动势输出。在转换过程中,就存在转换效率的问题,即天线效率。天线效率是天线最为重要的技术指标。天线的效率与其工作频率、天线长度、天线材质、天线形状以及天线架设高度等有关。以基本振子天线为例,其辐射的远区场的电场 E_{θ} 和磁场 H_{φ} 与输入参数的关系为

$$E_{\theta} = j \frac{60\pi I l}{r\lambda} \sin \theta e^{-jkr} \quad (1.1)$$

$$H_{\varphi} = j \frac{I l}{2r\lambda} \sin \theta e^{-jkr} \quad (1.2)$$

其中, I 为输入的激励电流, l 为振子长度, λ 为电磁波的波长, r 为辐射距离, θ 为辐射方向与电场的夹角。

从式(1.1)、(1.2)可知,基本振子天线输出的电磁波的强度与输入激励电流和天线长度成正比,与电磁波的波长成反比。由于电磁波的波长与其工作频率的关系为 $f=c/\lambda$, 其中 $c=3 \times 10^8$ m/s 为电磁波的传播速度,因此,基本振子天线输出的电磁波的强度与输入激励电流的频率成正比。在其他参数相同的条件下,输入激励电流的频率越高,基本振子天线输出的电磁波越强,即天线的效率越高。

由天线理论可知,当天线的有效长度接近半波长的正整数倍时,天线可以获得较高的效率。在图 1.1 所示的语音传输系统中,语音的频率范围为 300 ~ 3 400 Hz。当取 $f=3\ 000$ Hz 时, $\lambda=10^5$ m = 100 km,其半波长也有 50 km,因此在实际工程中实现高效率的天线是不现实的。

(2) 不能多路传输

对于图 1.1 所示无线电系统,由于所传输的信号的频率范围相同,因此在其发射机功率覆盖的范围内,只能由一个发射机传输一路信号。否则,在其范围内的接收机将同时接收到多个发射机传输的信号,从而影响到用户的收听。

为此,实际的无线电系统都采用了调制/解调技术,即在发射端用一个可选择的较高频率的正弦信号去调制需要传输的频率较低的调制信号,这个高频的正弦信号称为载波;在接收端采用解调技术再将调制信号从载波上恢复出来,从而完成信号的无线传输过程。

2. 无线电系统的基本结构

一个基于语音传输的无线电系统的基本结构如图 1.2 所示。

图 1.2 所示的系统结构与图 1.1 相比,在发射端增加了调制环节,在接收端增加了解调环节。高的载波频率可以有效地提高天线的效率,从而减小无线电收发系统的体积、成本;选用不同的载波频率可以在同一空间里同时传输电磁频谱重叠的调制信号,如语音、图像等,这一技术称为频分复用技术,它的应用使人类开始了无线电广播的历史。

根据调制信号对载波参数影响的不同,调制分为调幅(AM)、调频(FM)、调相(PM)三种方式。解调有相干解调和非相干解调两种,相干解调需要恢复载波,而非相干解调则不需要。

无线电信息传输远距、快速的特点,使得无线电信息传输的需求增长。由于在一定空间范围内,不同的载波频率才能传输不同的信号,因此需要对无线电的电磁频谱根据不同的需要进行分配。根据电磁波的频率或波长的不同,电磁频谱被划分为不同的频段,如表 1.1 所示。

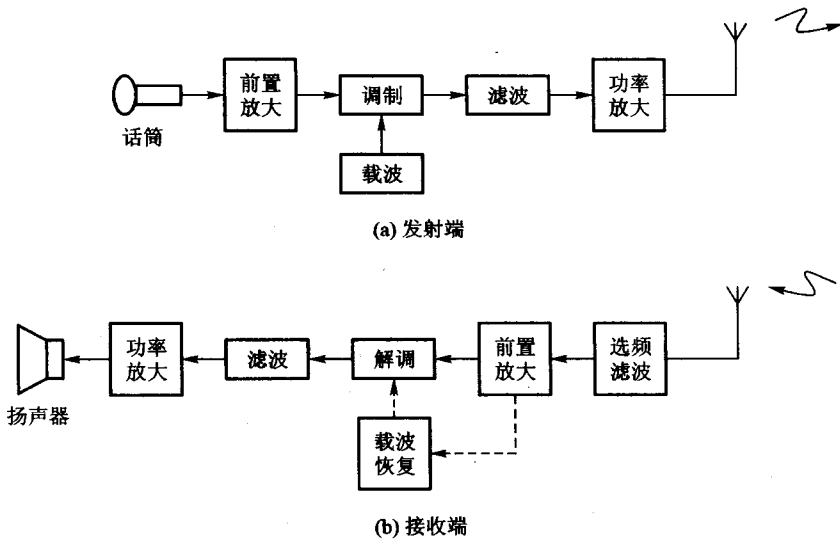


图 1.2 无线电系统的基本结构

表 1.1 无线电频带和波段的命名表

段号	频带名称	频率范围 (含上限,不含下限)	波段名称	波长范围 (含下限不含上限)
1	极低频	3 ~ 30 Hz	极长波	100 ~ 10 kkm
2	超低频	30 ~ 300 Hz	超长波	10 ~ 1 kkm
3	特低频	300 ~ 3 000 Hz	特长波	1 000 ~ 100 km
4	甚低频(VLF)	3 ~ 30 kHz	甚长波	100 ~ 10 km
5	低频(LF)	30 ~ 300 kHz	长波	10 ~ 1 km
6	中频(MF)	300 ~ 3 000 kHz	中波	1 000 ~ 100 m
7	高频(HF)	3 ~ 30 MHz	短波	100 ~ 10 m
8	甚高频(VHF)	30 ~ 300 MHz	米波	10 ~ 1 m
9	特高频(UHF)	300 ~ 3 000 MHz	分米波(微波)	100 ~ 10 cm
10	超高频(SHF)	3 ~ 30 GHz	厘米波(微波)	10 ~ 1 cm
11	极高频(EHF)	30 ~ 300 GHz	毫米波(微波)	10 ~ 1 mm
12	至高频	300 ~ 3 000 GHz	丝米波(微波)	1 ~ 0.1 mm

其中微波部分占有的频带很宽,因此其常用的频带又被细分为不同的波段,并用字母命名,如表 1.2 所示。

表 1.2 微波频带的划分与命名表

波段名称	L 波段	S 波段	C 波段	X 波段	Ku 波段	K 波段	Ka 波段
频率范围	1 ~ 2 GHz	2 ~ 4 GHz	4 ~ 8 GHz	8 ~ 12 GHz	12 ~ 18 GHz	18 ~ 27 GHz	27 ~ 40 GHz

当无线电系统收发频率在毫米波段以上时,其工作频点的选择还应该考虑到电磁波在大气传输中的窗口效应,即优先选用大气衰减相对较小的频率点,如 35 GHz、94 GHz、140 GHz、220 GHz 等。

无线电磁频谱由国际无线电咨询委员会和各国无线电管理委员会负责管理、规划和分配。如我国无线广播电台分为 3 个频段:中波调幅 525 ~ 1 610 kHz,短波调幅 4.5 ~ 22 MHz,调频 87 ~ 108 MHz (VHF);无线电视划分为 68 个频道:1 ~ 12 频道,48.6 ~ 223 MHz (VHF),13 ~ 68 频道,470 ~ 958 MHz (UHF)。移动通信 GSM900 的上行频率为 890 ~ 915 MHz,下行频率为 935 ~ 960 MHz;移动通信 GSM1800 的上行频率为 1 710 ~ 1 785 MHz,下行频率为 1 805 ~ 1 800 MHz。

随着无线电技术的应用和发展,电磁频谱资源的应用也不断向上扩展,从早期中波广播的几百千赫到今天 GSM 移动通信的上千兆赫。由于在一定空间范围内,电磁频谱已成为一种不可多得的资源,因此,如何提高电磁频谱的利用率成为无线电技术的重要发展和研究方向。

从发射的角度而言,发射机发射的信号频谱必须严格限制在所分配的频道范围内,否则将影响到相邻频道的无线电设备的正常使用。而接收机则相反,它只能接收自己所在频道的无线电信号,否则将受到相邻频道的影响。在实际的无线电系统中,信号频谱的选择是由滤波器来完成的,而滤波器的选频特性要受到实际器件水平的限制。

对于无线电接收机,其天线接收的是与所需频点相邻的一定范围内的所有无线电信号,因此从天线进入接收机的信号首先需要进行选频滤波处理,以保留所需频道的信号,滤除相邻频道的信号。

例 1.1 在图 1.2(b)所示的系统中,假定所接收的频道 2 相邻有频道 1 和频道 3,如图 1.3 所示。其中频道 2 的中心频率 $f_{r2} = 95.6$ MHz,频道带宽为 $B_{r2} = 0.15$ MHz,频道间隔为 $B_{r2} = 0.05$ MHz,则接收机输入选频滤波器的 Q 值估计为

$$Q = \frac{f_{r2}}{B_{r2}} = \frac{95.6 \times 10^6}{0.15 \times 10^6} = 637 \quad (1.3)$$

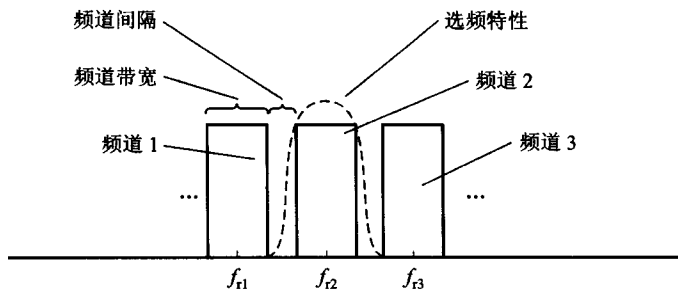


图 1.3 接收机输入频谱示意图

由于接收机需要接收不同频道的信号,因此其选频滤波器的中心频率是可变的。这种中心频率可变的滤波器一般采用 LC 滤波器,中心频率的改变是通过改变其中的电感或电容来实现的。由于受到实际电感或电容器件特性的限制,实际的 LC 滤波器无法达到式(1.3)这样高的 Q 值。

解决实际滤波器 Q 值限制的工程方法有两种:一种是增加电磁频谱中频道间的间隔,一种是降低滤波器输入信号的中心频率。前一种方法可以有效地降低发射机和接收机的难度,在无线电技术发展的早期非常适用,其缺点是大大降低了电磁频谱的利用率,会对频谱资源造成很大的浪费;后一种方法则需要采用混频器将信号频谱搬到较低的频率上进行再次滤波,这种方法是目前无线电系统最为常用的方法。

对于无线电的发射机,其信号的调制和解调都是利用器件的非线性来实现的。信号经过非线性系统后,除了所需的信号成分外,还会包含许多不需要的频率成分,这些成分称为谐波失真或杂散失真。在信号发射前,必须采用滤波器将这些不需要的成分滤除,否则就会对相邻的频道造成干扰。

例 1.2 在图 1.2(a)所示的系统中,假定调制信号为单频正弦信号,其频率 $F = 3 \text{ kHz}$,载波频率为 $f_c = 30 \text{ MHz}$,调制方式为振幅调制。

振幅调制一般采用二极管的非线性来实现,而对于一个非线性电路,其输入输出的关系利用泰勒级数展开可表示为

$$u_o = f(u_i) = a_0 + a_1 u_i + a_2 u_i^2 + a_3 u_i^3 + \dots \quad (1.4)$$

其中输入为调制信号和载波之和,即

$$u_i = A \cos(2\pi Ft) + A_c \cos(2\pi f_c t) \quad (1.5)$$

由式(1.4)可得调制后输出的频谱如图 1.4 所示。

从图 1.4 可见,其中 f_c 、 $f_c \pm F$ 为所需的频率分量。为此,调制后的滤波器的 Q 值估计为

$$Q = \frac{f_c}{2F} = \frac{30 \times 10^6}{2 \times 3 \times 10^3} = 5000 \quad (1.6)$$

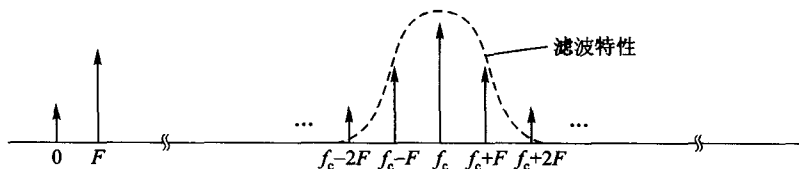


图 1.4 振幅调制后的输出频谱示意图

这样高 Q 值的滤波器在实际工程中是很难实现的,因此实际系统往往先用一个频率相对较低的载波进行调制,然后再采用混频器将其搬移至所需的频率点上。由于混频器也属于非线性电路,因此混频器的输出也会产生很多不需要的谐波分量(有时也称为杂散信号),也需要采用滤波器进行滤除。

3. 无线电系统的实用结构

基于混频器技术的无线电系统的实用结构如图 1.5 所示。

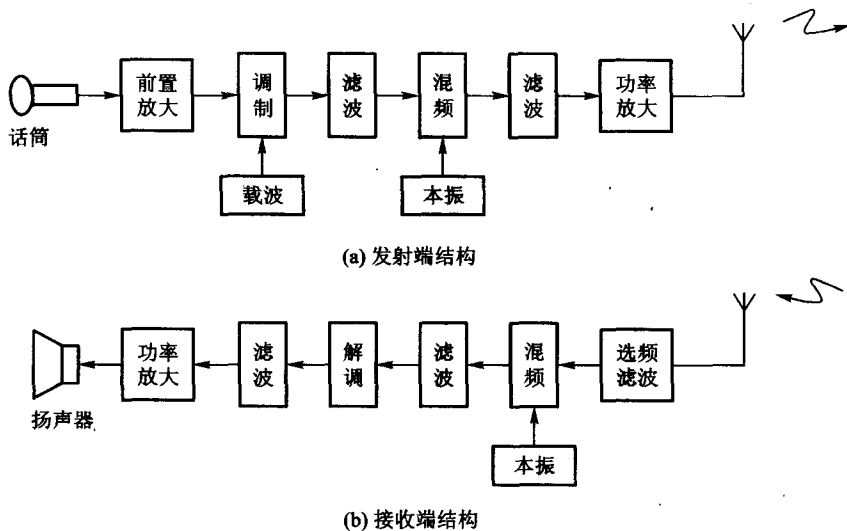


图 1.5 无线电系统的实用结构

在图 1.5 所示的系统中,语音信号先经一个频率较低的载波调制、滤波后,再经上混频到发射频率。接收机接收到的信号也是先经下混频到较低频率后,再解调输出。在无线电系统中,一般根据调制信号来源的不同将其称为音频(Audio)、视频(Video)或基带(Baseband)信号,经调制后或解调前的已调信号称为中频信号(Intermediate Frequency, IF),最终经天线发射或接收的信号称为射频信号(Radio Frequency, RF)。由于受滤波器实际选频特性的限制,当射频频率太高时,已调的中频信号与射频信号间的频谱搬移往往需要采用多级混频结构才能完成,这时中频信号就根据其频率的高低顺序依次称为一中频、二中频等。