

面向 **21** 世纪高等学校电子信息类教材

通信电子线路

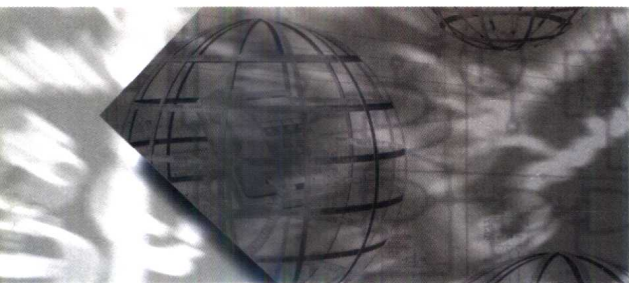
● 顾宝良 编著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

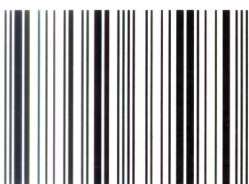
<http://www.phei.com.cn>

面向21世纪高等学校电子信息类教材



- 多媒体通信技术基础
- 现代交换原理
- 数据压缩
- 计算机通信网基础
- 数字系统设计与PLD应用技术
- 电磁场理论基础
- 电子电路基础
- VLSI设计基础
- 信息论——基础理论与应用
- 电子测量
- 微机系统与接口
- 通信电子线路
- 自动控制原理
- 数字通信原理
- 数字信号处理原理与实现
- 微波技术与天线
- 电子技术基础实验与课程设计

ISBN 7-5053-7597-0



9 787505 375970 >



责任编辑：束传政

封面美编：张云逸

本书贴有激光防伪标志，凡没有防伪标志者，属盗版图书。

ISBN 7-5053-7597-0/TN·1580

定价：20.00元

面向 21 世纪高等学校电子信息类教材

通信电子线路

顾宝良 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划的重点教改教材,是一本系统介绍现代通信电路结构原理和电路设计的电子信息类专业的基础教材。全书共 8 章,系统介绍通信机的体系结构和收发信通道电路。主要内容有:LNA、IFA、滤波器、RFPA、射频功率合成、锁相频率合成、DDS 频率合成、模拟调制解调电路、数字调制解调电路、现代通信系统的集成化和软件化、通信系统电路实例等。

本书可作为高等学校电子信息工程、通信工程等专业的教材,也可供相应专业的工程技术人员参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

通信电子线路/顾宝良编著. —北京:电子工业出版社,2002.5

面向 21 世纪高等学校电子信息类教材

ISBN 7-5053-7597-0

I. 通… II. 顾… III. 通信系统—电子电路—高等学校—教材 IV. TN914

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 029817 号

责任编辑:束传政

印 刷:北京大中印刷厂

出版发行:电子工业出版社 <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:14 字数:358 千字 插页:3

版 次:2002 年 5 月第 1 版 2002 年 5 月第 1 次印刷

印 数:6 000 册 定价:20.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。
联系电话:(010)68279077

前 言

本书是面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划的教改教材,是一本系统介绍现代通信电路结构原理和通信电路设计的电子信息类专业基础重点教材。它是为适应现代电子信息技术飞速发展需要,培养现代电子信息专业技术人员而设置的。本书的特点是以无线通信电路为主,系统介绍无线收发信机的电路组成,突出具体的通信电路结构,同时介绍模拟电路和数字电路,所涉及的内容都是现代通信技术领域中的最新通信电路和最新电路技术。同时,对通信电路的大规模集成化和电路功能的软件化也作了介绍。本书的内容既新颖又实用,叙述详尽、思路清晰、便于自学,而且在每章后都给出了大量习题,最后还列举了四种通信系统电路实例。

全书共分 8 章,参考学时为 48 学时。第 1 章绪论介绍通信系统概述(模拟通信与数字通信),通信设备的小型化与通信电路的大规模集成,软件无线电与系统结构。第 2、3 章为接收机电路部分,介绍超外差接收原理、镜像干扰抑制与现代通信的镜频抑制方法、噪声系数与接收灵敏度、AGC 与 AFC、变频与变频失真,信道电路有低噪声前置放大器 LNA 与中频放大器 IFA、混频电路与参数、预选滤波器与中频滤波器、集成接收机芯片与应用、现代无线 IC 接收机的体系结构。第 4、5 章为发射机电路部分,介绍发射机系统结构、射频功率放大器 RFPA 与射频匹配网络、射频功率合成技术、射频功放模块与集成发射机芯片、发射信道的集成化与现代无线 IC 发射机的体系结构。第 6 章频率合成器部分,介绍 PLL 原理、锁相频率合成原理与设计方法、小数分频频率合成器、DDS 原理与 DDS 合成器芯片电路的应用。第 7 章调制与解调电路部分,介绍 AM、SSB 调制解调电路,FM 调制解调电路,BPSK、DPSK、QPSK 调制解调电路,BFSK、GMSK 调制解调电路、MQAM 调制解调电路等,DDS 数字调制电路有 AD9850 数字调制系统、AD9830 的数字调制方法、AD7008 数字调制器。第 8 章通信系统电路实例,介绍短波 SSB 通信电台、无绳电话系统、GSM 移动通信手机电路和新一代 DCR 通信系统 ASIC 等。

在本书的编写过程中,作者参考了大量中外书刊杂志和有关资料,吸取了多方面的宝贵意见和建议,得到领导和同行的大力支持,在此谨表谢意。本书是一本教改教材,目前国内还没有这样一本较为完整和系统的此类教材。作者是在积累了六年(东南大学无线电系在 1996 年就对 1994 届本科生开出了《通信电子线路》课程)教学经验和教学资料的基础上,先编写成《通信电子线路》讲义,并试用了 4 次(1996-1999 届本科生中讲义试用过 4 次,效果很好),然后再修订编写成这本书的。鉴于作者在理论水平和知识广度方面还有许多不足,书中难免有不少错误之处,敬请批评指正。

作 者

2001 年 11 月于南京东南大学

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 通信系统模型	(1)
1.2 通信的发展简史	(1)
1.3 模拟通信与数字通信	(2)
1.4 通信方式	(3)
1.5 通信的频段	(3)
1.6 通信设备的小型化和通信电路的大规模集成	(4)
1.7 软件无线电通信与系统结构	(7)
第 2 章 接收系统	(9)
2.1 单次变频超外差式接收机的实现	(9)
2.2 镜像干扰及其抑制方案	(10)
2.3 双重变频超外差接收机框图	(11)
2.4 现代无线通信机方案和镜频干扰抑制方法	(13)
2.5 混频(变频)与混频失真(干扰)	(15)
2.5.1 混频—变频原理	(15)
2.5.2 混频失真与干扰	(16)
2.6 噪声系数和接收灵敏度	(18)
2.6.1 噪声系数	(18)
2.6.2 接收灵敏度	(21)
2.7 AGC 和 AFC	(23)
2.7.1 自动增益控制 AGC	(23)
2.7.2 自动频率控制 AFC	(24)
习题	(24)
第 3 章 接收通道电路	(27)
3.1 预选滤波器和 LNA	(27)
3.1.1 预选选频滤波器	(27)
3.1.2 低噪声高频放大器 LNA	(30)
3.2 混频电路	(32)
3.2.1 混频器的基本参数	(32)
3.2.2 相乘混频电路	(34)
3.3 中频放大器 IFA	(42)
3.4 选频滤波器	(44)
3.4.1 LC 谐振回路滤波器	(45)
3.4.2 机械滤波器	(47)

3.4.3	石英晶体滤波器	(48)
3.4.4	陶瓷滤波器	(52)
3.4.5	声表面波(SAM)滤波器	(53)
3.4.6	薄膜体声(FBAR)滤波器	(54)
3.5	FM 中频系统集成电路(IC)	(56)
3.5.1	FM 集成中频电路 MC3359	(56)
3.5.2	FM 集成中频电路 MC3361	(60)
3.6	集成 FM 接收机电路	(64)
3.6.1	FM 接收机 ICMC3362	(65)
3.6.2	FM 全接收机 ICMC3363	(65)
3.7	无线 IC 数字通信接收机系统结构	(73)
3.7.1	超外差接收机	(73)
3.7.2	零中频接收机	(74)
3.7.3	宽带零中频接收机	(74)
3.7.4	数字中频接收机	(75)
	习题	(76)
第 4 章	发射系统	(78)
4.1	发射系统框图	(78)
4.2	射频功率放大器(RFPA)	(79)
4.2.1	A 类射频功率放大器	(79)
4.2.2	B 类和 C 类射频功率放大器	(81)
4.2.3	D 类射频功率放大器	(87)
4.2.4	E 类射频功率放大器	(89)
4.3	射频功率管的阻抗匹配网络	(90)
4.3.1	射频功率管的输入、输出阻抗	(91)
4.3.2	阻抗匹配网络	(91)
4.4	射频功率放大器的网络设计方法	(94)
4.4.1	35W 线性功率放大器	(94)
4.4.2	8W UHF 宽带功率放大器	(96)
4.5	射频功率放大器的功率合成技术	(97)
4.5.1	传输线变压器	(97)
4.5.2	功率合成原理	(99)
4.5.3	功率合成电路	(100)
	习题	(102)
第 5 章	发射通道集成电路	(105)
5.1	小功率 FM 发射机系统 ASIC	(105)
5.1.1	微功率 FM 发射机 ASIC	(105)
5.1.2	小功率 FM 发射机 ASIC	(107)
5.1.3	UHF 波段 FM/AM 发射机 ASIC	(109)
5.2	集成射频功放组件及其应用	(112)

5.3 无线 IC 数字通信发射机系统结构	(116)
5.3.1 间接调制发射机	(117)
5.3.2 直接调制发射机	(118)
5.3.3 PLL 调制发射机	(119)
习题	(121)
第 6 章 频率合成	(122)
6.1 频率合成的基本方法和指标	(122)
6.1.1 频率合成的基本方法	(122)
6.1.2 频率合成器的主要技术指标	(126)
6.2 PLL 基本原理	(128)
6.2.1 PLL 的线性分析	(128)
6.2.2 相位检波器(PD)	(131)
6.2.3 压控振荡器(VCO)	(134)
6.2.4 环路滤波器(LF)	(135)
6.3 锁相频率合成	(138)
6.3.1 单环锁相频率合成器	(138)
6.3.2 小数分频频率合成器	(148)
6.3.3 多环锁相频率合成器	(150)
6.4 直接数字频率合成器(DDS)	(152)
6.4.1 DDS 原理	(152)
6.4.2 AD9850 频率合成器	(153)
习题	(154)
第 7 章 调制解调电路	(157)
7.1 振幅调制电路	(157)
7.1.1 振幅调制电路的组成模型	(157)
7.1.2 SSB 调制的模型和电路	(161)
7.2 振幅解调电路	(164)
7.2.1 包络检波电路	(164)
7.2.2 同步检波电路	(166)
7.3 角度调制电路	(167)
7.3.1 FM 波和 PM 波信号	(167)
7.3.2 调频电路	(169)
7.4 FM 波的解调电路	(176)
7.4.1 斜率鉴频电路	(177)
7.4.2 移相乘积鉴频电路	(178)
7.4.3 PLL 鉴频电路	(181)
7.4.4 脉冲计数鉴频电路	(182)
7.5 数字调制概述	(183)
7.5.1 数字调制的一般概念	(183)
7.5.2 数字调制的种类	(184)

7.6	数字线性调制与解调	(185)
7.6.1	二进制移相键控 BPSK	(185)
7.6.2	二进制差分移相键控 DPSK	(186)
7.6.3	四相移相键控 QPSK	(187)
7.7	数字非线性调制与解调	(189)
7.7.1	二进制移频键控 BFSK	(189)
7.7.2	高斯最小移频键控 GMSK	(191)
7.8	多进制正交幅度移相 MQAM	(193)
7.9	DDS 实现数字调制	(195)
7.9.1	AD9850 数字调制系统	(195)
7.9.2	AD9830 的数字调制功能	(195)
7.9.3	DDS 数字调制器 AD7008	(196)
	习题	(197)
第 8 章	通信系统实例	(201)
8.1	2~10MHz 短波 SSB 通信电台	(201)
8.1.1	收发信通道电路	(201)
8.1.2	射频功率放大器	(203)
8.1.3	频率合成器	(203)
8.2	49/46MHz 无绳电话系统	(204)
8.3	GSM 移动通信系统	(205)
8.4	新一代 DCR 通信系统 ASIC	(211)
8.4.1	900MHz/1.9GHz DCR 单片 IC 无线收发器	(211)
8.4.2	2.45GHz 零中频单片 IC 收发器	(212)
	参考文献	(214)

第 1 章 绪 论

1.1 通信系统模型

通信是将信息(消息)由一地传向另一地,现代通信通常是用电信号来完成这一传递过程。因此,现代通信实质上就是电通信。

电通信(以下简称通信)中所传递的消息,有各种不同的形式,例如:符号、文字、语声、音乐、数据、图片、活动画面等等。因而,根据所传递消息的不同,在目前通信业务上可分为电报、电话、传真、数据传输、可视电话等。如果从广义的角度来看,则广播、电视、雷达、导航、遥控、遥测等也可列入通信的范畴。

根据电信号传递的媒质不同,通信可分为有线通信和无线通信两大类。所谓有线通信,是指电信号通过导线、电缆线、光缆线等有线媒质传递的,例如:电话系统、有线电视、光纤通信等均属有线通信。所谓无线通信,是指电信号利用空间电磁波的传播来作为媒质传递的,例如:无线电广播、无线电电视、移动通信、卫星通信等均属无线通信。

实际上,无论何种通信,都是把一地——发送端的信息传送到另一地——接收端,因而通信系统可以用如图 1.1 所示的模型来表示。图中,发送端的信息源的作用是把各种各样的消息变换成原始的电信号,为了能使这些原始电信号适合在信道中传输,由发送端的发送设备

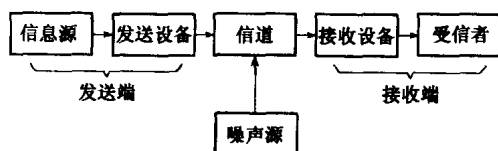


图 1.1 通信系统的模型

对原始电信号再实现某种变换,变换成适合在信道中传输的电信号,然后将这电信号送入信道。信道就是传递电信号的媒质,对有线通信是指传输导线,电缆线,光纤电缆等,对无线通信是指空间传播电磁波。图中接收端的接收设备是将信道送来的电信号变换成原始电信号,送给受信者。受信者的作用是将原始电信号变换成消息,这样就完成了消息的传递过程。图中噪声源是信道中的噪声和分散在发送、接收系统中的噪声的集中表示。

图 1.1 所示通信系统的模型概括地反映了通信系统的共性。通常根据研究对象及所关心的问题不同,将会出现不同形式的较具体的通信系统模型。通信原理和通信电子线路的讨论就是围绕通信系统的模型展开的。

1.2 通信的发展简史

作为有实用意义的通信是从 19 世纪 30 年代出现的低级有线电报后才开始的。由于电磁感应理论的形成和发展,于 19 世纪 70 年代又开始有了低级的电话机。这就是以金属导线为传输媒质的简单的有线通信方式。1873 年麦克斯韦发表了电磁辐射理论,为无线电通信奠定了理论基础。1895 年马可尼试验无线电通信获得成功,从而开辟了无线电通信的广阔发展道路。

1904 年开始出现真空管电子器件,从而使通信设备有了飞速的发展,相继出现有较高水平的有线通信和长波、中波及短波一类的较高水平的无线电通信。20 世纪 30 年代出现半导体器件,从而使通信设备的发展又踏上一个新的里程碑。1955 年皮尔斯提出了利用人造卫星实现全球通信的设想,1960 年美国用 ATLAS 卫星首次实现了卫星广播,从而开辟了卫星通信的新领域。20 世纪 60、70 年代又出现了“光纤通信”和“计算机通信”,使通信更加快速,内容更加丰富。大规模集成电路的出现和计算机的迅速发展都对通信技术的发展起着极其重要的推动作用,它不仅使通信设备更小型化,而且寿命长,可靠性高,从而又进一步推动个人移动通信和宇宙空间通信的发展。

由于人们对通信技术的需求越来越迫切,从而又大大推动了通信学科的发展。从 20 世纪 30 年代开始,人们逐步对通信实践中遇到的问题展开了深入的理论研究,先后形成了“过滤和预测理论”、“香农信息论”、“纠错码理论”、“信源统计特性理论”、“信号与噪声的理论”、“调制解调理论”、“信号检测理论”等等。在通信体制上,由于半导体和集成电路的发展,不仅促进了像电话那样的模拟通信高速发展,而且出现了像电报那样的具有更广泛前景的数字通信。由于计算机技术和微处理器的发展,使通信突破了人与人之间进行通信的范畴,开始实现人与机器、机器与机器之间的通信。现代通信正朝着更高的水平发展。

1.3 模拟通信与数字通信

按照信道中传输的是模拟信号还是数字信号,可以把通信系统分为两类,即模拟通信系统和数字通信系统。

模拟通信系统可以用如图 1.1 所示的通信系统模型表示。但由于传送的是模拟信号,因此发送端的信息源是将要传送的话音、音乐、图像等连续变化的模拟信息,转变成连续变化的原始电信号。这种原始电信号是具有频率较低的频谱分量,而且是不能直接在信道中传输的。我们把这种频率较低携带信息的原始电信号称之基带信号。为了实现信息的传输,必须把基带信号变换成频率较高,适合在信道中传输的电信号。这种变换过程通常称之调制,实现调制功能的

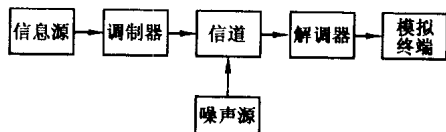


图 1.2 模拟通信系统模型

的电路称之调制器。调制后的电信号称之已调信号,已调信号是携带信息且适合在信道中传输的电信号。而且在接收端,为了获取所传输的信息,必须将信道送来的已调信号,再变换成基带信号。这种变换与发送端的变换相反,是一种信号的反变换,

我们称这一变换过程为解调,实现解调功能的电路称之解调器。解调输出的基带信号,还必须由模拟终端重新恢复成连续变化的模拟信息(话音、音乐和图像等)。这类模拟终端器件往往是喇叭和显象管等。由此可见,模拟通信系统模型可以用如图 1.2 所示框图表示。

数字通信系统是传输数字信号的,因此在发送端必须把由信息源产生的连续变化的模拟基带信号,变换成离散的数字基带脉冲信号。完成这种采样数字变换功能的电路称之 A/D 变换器,即 ADC。为了提高数字信号的传输效果,增强抗干扰能力和便于计算机处理,必须对 ADC 输出的数字基带信号进行编码处理。同时,为了使通信具有保密性,可以再对编码前的数字基带信号先进行加密处理。经过这些处理以后形成的数字基带信号 $m(t)$,就可以送入数字调制器中进行数字调制了。数字调制器输出的,带有数字信息的已调信号,是可以在信道中传输的。接收端收到数字已调信号后,送入解调器解出原数字基带信号 $m(t)$ 。再经译码、解密处

理后恢复出原始数字信号。然后,再由 D/A 变换器,即 DAC 变换成连续的原始模拟电信号。模拟电信号由模拟终端恢复出所要获取的模拟信息。值得指出的是数字通信中有时往往所要获取的仅仅是数字信息,因而其终端也由数字终端——计算机或传真机等所取代。有时其信息源也常常是数字设备计算机或传真机。仅仅考虑传输数字信息的数字通信系统模型如图 1.3 中所示。

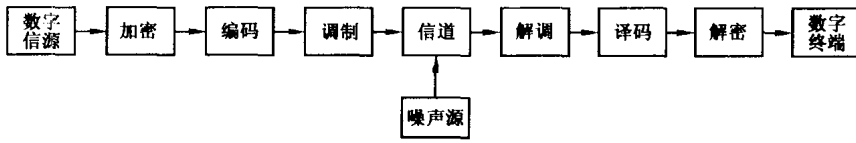


图 1.3 数字通信系统模型

数字信号可以再生,因而可以消除噪声的积累,因此数字通信具有很强的抗噪声、抗干扰能力。数字传输可以实现差错控制,从而提高传输效果。数字通信可以更方便地实现保密通信。而且便于与计算机接口,实现计算机数字信息处理。数字通信可同时传输多种信息,话音、音乐、数据和图像等,从而可方便地实现多媒体功能。可见,数字通信能适应现代通信的高要求,是现代通信技术的主要方法。目前的民用移动通信和国防军用通信都已普遍采用数字通信方法。

1.4 通信方式

通常,如果通信仅在点与点之间进行,那么,按消息传送的方向与时间,通信的方式可分为单工通信、半双工通信及全双工通信三种。

所谓单工通信,即是指消息只能单方向进行传输的工作方式,如图 1.4(a)所示,例如广播、遥控,就是一种单工通信方式。

所谓半双工通信方式,即是指通信双方都能收发消息,但不能同时进行收和发的工作方式,如图 1.4(b)所示。例如,使用同一载频工作的普通无线电收发报话机,就是按这种通信方式工作的。

所谓全双工通信,即是指通信双方可同时进行双向传输消息的工作方式,如图 1.4(c)所示。例如,普通电话就是最简单的一种全双工通信方式。

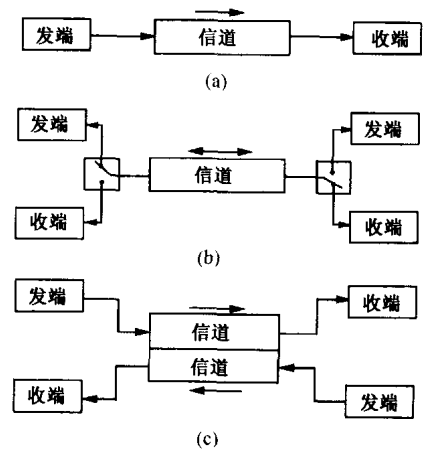


图 1.4 通信方式示意图

1.5 通信的频段

有线通信和无线通信在实现多路通信时,目前基本上都是采用不同频率的载频——频道来实现的。根据不同频率的电磁波传播规律的特点,人们把整个频率范围划分为多个通信频段,如表 1.1 中所示。

根据不同通信技术的要求,选用合适的通信频段。通常,民用广播占用 MF 和 HF 两个频段,而且均采用调幅(AM)制。调频广播由于调频(FM)制占据带宽较宽,所以使用 VHF 频段。

电视占用 VHF 和 UHF 两个频段, VHF 有 12 个频道, UHF 有 70~100 多个频道。远距离无线通信(包括国际通信)采用 HF 频段, 即所谓的短波通信, 但它的通信质量一直是技术难题, 目前已改用卫星通信。卫星通信占用 SHF 频段。移动通信早先采用调幅制, 占用 MF 频段。随着移动通信技术的发展, 现代已改用调频制, 占用 VHF 和 UHF 频段。现代的移动通信已同有线通信连网, 因此所要求传播的无线距离不远。海洋通信由于是利用电磁波在水中传播的有利条件, 故它用的频率最低, 占用 ELF 频段。尽管频率低, 但仍然可以远距离传输。

表 1.1 通信的频段

(30~300)Hz	ELF	极低频	($10^4 \sim 10^8$)km	海底通信、电报
(0.3~3)kHz	AF	音频	($10^8 \sim 10^2$)km	数据终端、电话
(3~30)kHz	ALF	甚低频	($10^2 \sim 10$)km	导航、载波电报和电话、频率标准
(3~300)kHz	LF	低频	(10~1)km	导航、电力通信
(0.3~3)MHz	MF	中频	($10^3 \sim 10^2$)m	广播、业务通信、移动通信
(3~30)MHz	HF	高频	($10^2 \sim 10$)m	广播、军用通信、国际通信
(30~300)MHz	VHF	甚高频	(10~1)m	电视、调频广播、移动通信(模拟)
(0.3~3)GHz	UHF	超高频	($10^2 \sim 10$)cm	电视、雷达、移动通信
(3~30)GHz	SHF	特高频	(10~1)cm	卫星通信、微波通信
(30~300)GHz	EHF	极高频	(10~1)mm	射电天文、科学研究

早期的有线直流电报频率很低, 也占用 ELF 频段。目前使用的有线电话直接在电话线上传输音频基带信号, 即原始电信号。因此, 它必然是占用 AF 音频频段。另外, 数据传输业务通常也使用 AF 音频段来传输 300~9600bit/s 的数据信号。随着数据通信业务需求量的日益增长, 目前已采用频分多路复用和时分脉冲编码多路复用技术, 其载波频率范围已从 ALF 频段扩展到 VHF 频段, 甚至还有占用 UHF 频段的。电力通信是利用电力高压输电线实现有线通信, 目前占用 LF 频段。

甚低频(ALF)信号的频率稳定度容易做得很高, 因此这个频段适宜作导航或频率标准用。军用通信通常采用单边带调制(SSB), 因此占用短波段 HF 频段。现代用于军事方面的通信已采用扩频和跳频技术, 因此使用频段也开始扩展到 VHF 和 UHF 频段。雷达要求方向性好, 占用 UHF 频段。在这个频段内的波长尺寸适合做方向性很强的雷达天线。光通信所占用的频段已超出 EHF 频段了, 表中没有列出。

1.6 通信设备的小型化和通信电路的大规模集成

通信技术发展到移动通信和个人通信, 就必然要求通信电台和通信设备的小型化和轻便化, 而这种小型化和轻便化是基于通信电路的大规模集成技术发展基础上的。目前大量使用的车载移动台和个人便携式移动电台都是由大规模集成电路或集成组件装配成的。例如, 图 1.5 所示框图就是汽车电话移动台的原理框图, 这是个多信道选取功能的双工电台, 它是由多块大规模集成电路组合成的。

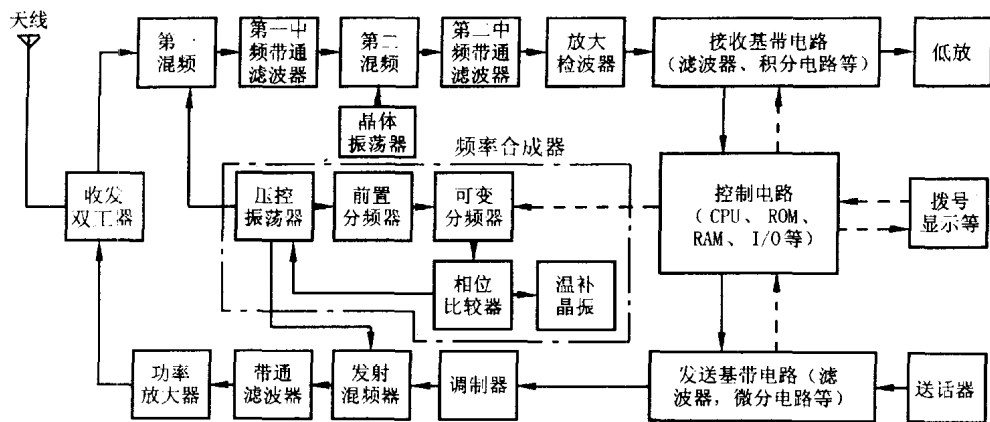


图 1.5 具有多信道选取功能的移动台方框图

表 1.2 移动台小型化的基本技术

电路的小型化	电路构成法	元器件少的电路结构
		易于大规模集成的电路结构
	电路的大规模集成化	(参照表 1.3)
	电路器件、部件的小型化	高频、中频滤波器的小型化
		结构、音响部件(话筒、扬声器、拨号盘、连接件、开关等)的小型化
		天线小型化
	高密度组装技术	采用片状元件、小型封装件多层布线基板等
	散热设计	
电池的小型化、高效率化	锰、碱性、镍镉、锂等电池	
电路的低功耗化	LSI 的低功耗化	采用 CMOS, GaAs, BiCMOS, SiGe, LSI 等
	功率放大器的高效率化	采用 GaAs FET, 工作点的最佳化
	省电技术	VOX(声控发射)
间歇接收		

表 1.2 示出了小型化的基本技术。要实现小型化,首要的问题是研究电路构成方法,必须采用元器件少,易于大规模集成化的电路结构。例如汽车电话移动台的频率合成器经过改进,采用 800MHz 频段直接起振、直接分频方式,实现了分频器等部件的大规模集成化,使元器件数减少到原来的 1/20,体积减小到 1/9,这是小型化成功的实例。可见实现小型的关键课题是电路的大规模集成化,设计出 LSI 器件。目前,将中频电路的第一、二混频器、第一、二本振源、中频限幅放大器,检波电路等作为一体的 LSI 器件得到了广泛的应用,使接收通道电路实现了小型化。基带电路中的语言和数字信号压缩电路,滤波器电路,限幅器和调制器、相位同步电路等采用开关电容滤波器(SCF)技术和 CMOS LSI 化,使电路体积只有过去混合 IC 的 1/8,也实现了小型化。另外,控制电路中将微处理器设计为移动台专用的处理器,使其功耗降低到通用处理器的 1/10 以下,并可实现单片 IC 控制,这又是移动台小型化的又一个重要措施。移动台的 VHF 和 UHF 射频电路目前集成规模还比较小,射频模拟电路虽已有 2.5GHz,功耗低于 20mW 的 GaAs FET 单片 IC 放大器,但集成规模还较小,目前仍以混合集成电路为主。射频数字电路,目前已有 2GHz~5GHz 的单片集成频率合成器 IC、功耗也低于 20mW。表 1.3 示出了

移动台各部份电路大规模集成化的情况;Si 双极型晶体管、GaAs FET 高速性好,适用于射频电路;CMOS LSI 功耗低,适用于低频的模拟电路和数字电路,或两者合用。

表 1.3 可用于移动台的 LSI 器件

电 路 名 称		器 件
射频模拟电路	收发混频器	Si 双极性器件
	频率合成器 VCO 缓冲放大器等	GaAs FET
射频数字电路	频率合成器前置分频器	Si 双极器件 GaAs FET
中频电路	中频放大器 调制器、解调器 接收电平检测器 分集接收电路等	Si 双极器件 + CMOS Bi-MOS
基带电路	各种基带滤波器 调制器用 PLL 电路等	CMOS
控制电路	CPU ROM RAM I/O 时钟、单音产生电路	CMOS

实现移动台小型化,除电路大规模集成化之外,无源器件的小型化也是非常重要的。无源器件主要有:收发分路器(双工器)、射频滤波器、晶体滤波器、陶瓷滤波器、中频滤波器等。

收发分路器又称天线共用器,即双工器,主要由同轴谐振器、收发分路滤波器和双向模拟开关等组成。由于采用了高介质材料,使其小型化的发展速度非常快。采用介电常数为 40 的汽车移动台的分路器,体积已减小到 16cm^3 。目前已开始使用介电常数为 90 的材料,使其体积可以减小到 10cm^3 以下。

声表面滤波器 SAW 是一种超小型滤波器。目前的产品工作频率已达到 2GHz 以上,对移动台的小型化来说,是一种有效的器件。移动台的射频滤波器、边带滤波器,中频滤波器等都可以采用 SAW 滤波器,使其体积缩小到相同特性的介质滤波器的 $1/100$ 。SAW 滤波器的低损耗化正在取得进展,估计将来可以代替收发分路器、本振源、调制振荡器和频率合成器的 VCO,从而使这部分器件的体积大大缩小。

实现移动台小型化的另一个重要课题是使 LSI 器件低功耗化。这不仅关系到 LSI 能否高集成化,而更重要的是可以缩小供电电池的体积。同时,功耗关系到散热和电池容量。因此,低功耗是移动台小型化必须解决的问题。移动台特别是便携移动台的使用性质决定了其散热只能靠框架表面积的辐射和自然对流。因此要确保散热就限制了移动台的小型化。供电电池所占移动台体积的 $15\% \sim 25\%$,要减小电池体积也必须实现低功耗。

降低发射功耗的最有效办法是提高功率放大器的效率。由于器件的改进和合理选用功率管的工作状态,如今在 800MHz 频段的功率放大器的效率已达 50% 。而采用 GaAs FET 功率管的 E 类工作可使效率达 70% 。

降低集成电路器件功耗可采用自调整新工艺生产微电极结构的 LSI。微电极结构是为高速电路或 VLSI(超大规模集成)而开发的。若将其设计为低速工作,就可以降低 LSI 工作电流,即降低功耗。因此,在射频电路中,将微电极双极器件或具有高速性的 GaAs LSI 设计成低速工作;在低频电路中,将 VLSI 工艺的 CMOS 设计成低速工作,这就是降低器件功耗的手段之一。另外,还应尽可能使器件的工作电压一致。

提高电池容量,缩小电池体积也是移动台小型化的有效措施。而低功耗省电,则又是缩小电池容量和体积的方法。目前移动台中已使用了省电技术。这种省电技术又称之谓 VOX 技术:通常不发送时,断开发射机电源,仅在有话音输入时,才接通发射电路电源。更复杂的省电技术还有所谓间歇发送接收技术等。

1.7 软件无线电通信与系统结构

随着无线电通信的集成化、小型化、数字化、智能化和网络化,无线电通信已开始从模拟型转向数字型,而且正在向软件型方向发展。与之相对应通信机的系统结构也将随之发生重大的变化。例如传统的接收机结构都是超外差式的,也就是将射频已调信号通过变频(一次变频或二次变频)变换成易于处理的中频上,然后对这一中频已调信号进行放大、滤波与解调等处理,解出包含信息的基带信号。近年来,由于数字信号处理(DSP)技术、多层贴片(MCM)技术和专用集成电路(ASIC)等技术的高速发展,使新一代接收机发展成数字中频式接收机和直接数字变频式接收机。数字中频接收机其结构仍是超外差型,而仅仅是用模拟变频方法把射频已调信号变换到易于 DSP 的中频,然后再用 A/D 变换和 DSP 技术对这一中频已调信号进行提取和解调。而直接数字变频接收机已经接近软件无线电接收机了,它是利用现有的 A/D 技术和 DSP 技术,采用分阶段实现软件化的通信机结构,如图 1.6 中所示。显然,直接数字变频通信机的结构与数字中频式接收机的结构还是类似的。因为现有的 ADC 和 DAC 不可能直接从 RF 进行采样处理,所以还必须保留超外差型的模拟变频电路。它们之间的差别仅仅是 ADC 和 DAC 更接近 RF,直接数字变频式处理的 IF 已调信号在 70MHz 以上,而且采用正交变频直接产生 I/Q 中频信号送入 ADC、DAC 进行数字处理,目前的移动通信系统(包括基站和移动手机)都类似于这种直接数字变频式通信系统结构。

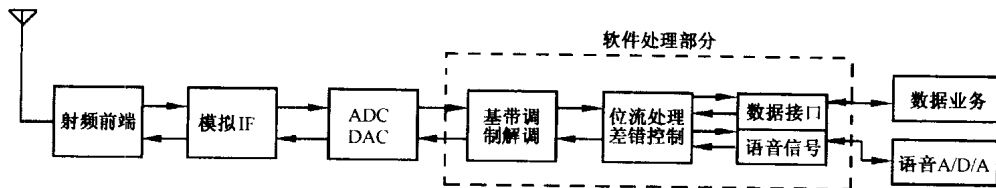


图 1.6 直接数字变频通信机系统结构框图

软件无线电是指由软件来确定和完成无线电通信机的功能,使得多频段、多模式、多信道、多速率、多协议等的多功能通信成为可能。它的重要特点是射频直接数字化,采用高速 DSP 和 FPGA 取代传统的专用芯片 ASIC,进行从射频到基带部分的软件化数字信号处理。因此,软件无线电通信机是通信与计算机的有机结合,其结构也必然是处理通信信号的计算机系统结构,如图 1.7 中所示,其中 μP 控制表示计算机控制。由图中可知,软件无线电系统的结构是由信道处理模块、控制管理模块和软件工具模块等三部分组成。其中信道处理模块实际上是一个无线收发信机,包括 RF、IF、基带处理、信源编解码和 A/D、D/A 等部分,而 A/D、D/A 应尽可能地靠近天线端,理想的 A/D、D/A 要求直接与天线相连接。

软件无线电已成为目前商用和民用通信研究和开发的新热点,要实现软件无线电通信目前还有很多关键技术有待解决。

首先是宽带多频段天线和射频前端技术。目前还不能研制出 2MHz~2GHz 的全频段天线,只能采用多频段组合式天线方案,即把 2MHz~2GHz 的频段分为 3 段:2~30MHz, 30~

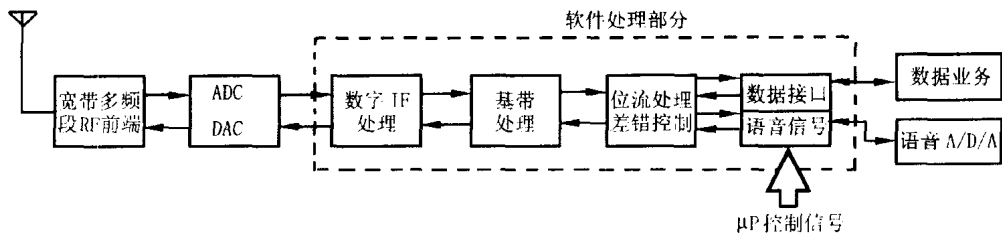


图 1.7 软件无线电通信的典型系统结构

500MHz, 500MHz~2GHz。而低噪声前置放大器可放大 2MHz~2GHz 的射频信号, 这一技术已成熟。

其次是模拟信号的数字化技术。将模拟信号数字化的器件是 ADC, 即 A/D 转换器件。对 ADC 器件的要求主要是采样速率、分辨率和输入信号的动态范围, 现有的 ADC 器件还不可能同时满足上述三者要求。根据 Nyquist 定理, ADC 的采样速率 $\omega_s > 2\omega_a$ (ω_a 是被采样的信号的最高角频率) 时, 采样后可真实地保留原模拟信号的信息。但在实践中, 由于 ADC 器件存在非线性失真、量化噪声以及接收机噪声等因素的影响, 故一般选择 $\omega_s > 2.5\omega_a$ 。显然, 目前 ADC 器件的关键技术还在于如何提高采样速率的问题。

第三个关键技术是 DSP 器件的高速处理速度问题。目前 TI 公司的 DSP 产品 TMS320C6000 系列产品的时钟速度可以达 1.1GHz, 理想软件无线的理念是用 DSP 完成 ADC 之后的数字信号处理过程, 而上述 DSP 芯片仍然无法完全胜任这一工作。

近年来微电子技术的发展直接促进了 ADC 和 DSP 器件性能的提高, ADC 采样速率在过去的 5 年内提高了 25 倍, 而 DSP 的处理速度上升了近 100 倍。处理速度上升的同时, 芯片尺寸将缩小, 芯片线宽为 0.18~0.13 μm 。目前 0.18~0.13 μm 的微电子技术已经成熟, 因此有希望在不久的将来在器件方面为实现软件无线电作准备。

软件无线电的最后一个关键技术是软件算法问题。软件无线电通信机的功能是由软件重构的, 即由软件决定软件无线电通信机的功能, 而软件又渗透于包括物理层在内的各层协议栈中。要以软件实现信道(信源)编码、调制解调以及某些数字信号处理, 这就是软件无线电软件算法需要重点研究的问题。