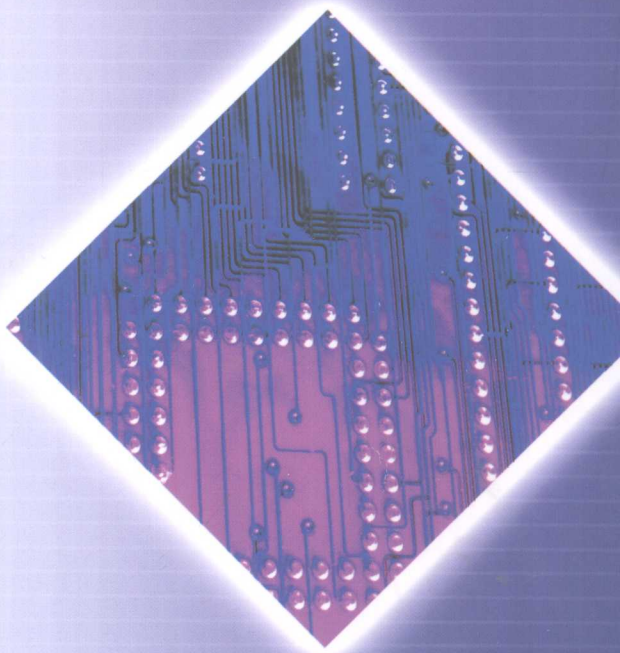




普通高等教育“十一五”国家级规划教材



高频电子线路

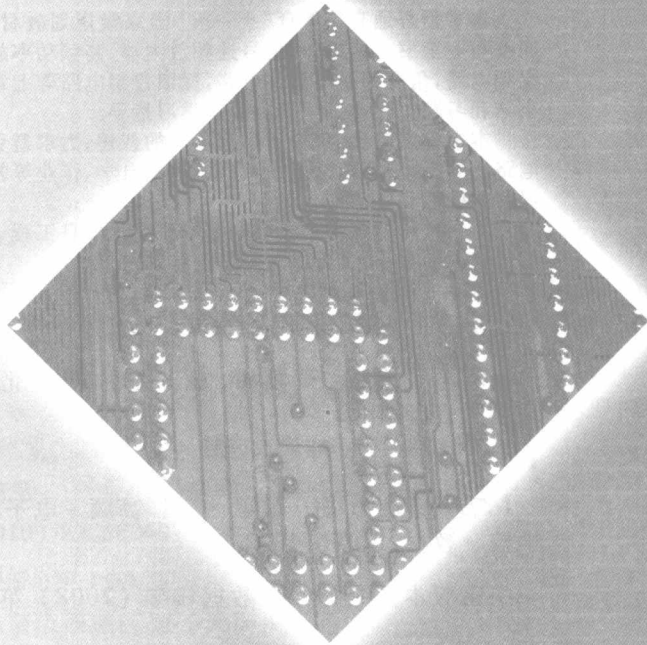
胡宴如 耿苏燕 主编



高等教育出版社



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



高频电子线路

胡宴如 耿苏燕 主编



高等教育出版社

内容提要

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,为满足高等学校应用型人才培养需要而编写。全书由绪论,小信号选频放大器,高频功率放大器,正弦波振荡器,振幅调制、解调与混频电路,角度调制与解调电路,反馈控制电路等七章组成。每节编有复习与讨论题,每章有小结和习题。与本书配套出版有学习指导。

本书重点突出,着重于物理概念的叙述,力求避免繁琐的数学推导,加强基本理论和基本电路的分析,注意理论讲授、课堂讨论、自学、作业等教学环节的有机结合,以充分调动学生学习的积极性和主动性。

本书可作为高等学校应用型本科电子信息工程、通信工程、测控技术与仪器等专业的教材或教学参考书,也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

高频电子线路 / 胡宴如, 耿苏燕主编. —北京: 高等教育出版社, 2009. 1

ISBN 978 - 7 - 04 - 024932 - 3

I. 高… II. ①胡…②耿… III. 高频 - 电子电路 - 高等学校 - 教材 IV. TN710. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 188818 号

策划编辑 韩 颖 责任编辑 欧阳舟 封面设计 于文燕
版式设计 余 杨 责任校对 杨凤玲 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	100120	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010 - 58581000		http://www.hep.com.cn
		网上订购	http://www.landaco.com
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司		http://www.landaco.com.cn
印 刷	国防工业出版社印刷厂	畅想教育	http://www.widedu.com
开 本	787 × 960 1/16	版 次	2009 年 1 月第 1 版
印 张	20	印 次	2009 年 1 月第 1 次印刷
字 数	370 000	定 价	24.20 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 24932 - 00

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：100120

购书请拨打电话：(010)58581118

前 言

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。随着我国高等教育的迅速发展,为了满足高等学校应用型人才培养的需要,在全国高等学校教学研究中心以及高等教育出版社的支持下,根据多年教学改革和实践的经验,我们编写了此书。它适用于应用型本科电子信息工程、通信工程、测控技术与仪器等专业作为教材或教学参考书,也可供有关工程技术人员参考。

高频电子线路是本科电子信息类专业重要的技术基础课,是一门理论性、工程性与实践性很强的课程,它内容丰富,应用广泛,新技术、新器件发展迅速。考虑到应用型本科人才培养的特点,本书在编写中特别注意以下几点:

(1) 突出重点,着重于物理概念的叙述,力求避免繁琐的数学推导,加强基本理论和基本分析方法的讨论。

(2) 注重应用,加强电路组成模型与应用方法的介绍,注意内容的适度更新。

(3) 注意理论讲授、课堂讨论、自学、作业以及实践训练等教学环节的有机结合,以充分调动学生学习的积极性和主动性。

(4) 难点适当分散,力图深入浅出,层次分明,简明扼要,有利于教与学。

全书共分七章。

第1章为绪论,主要介绍通信系统的组成、非线性电子线路的基本概念及本课程的特点。

第2章为小信号选频放大器,主要介绍谐振回路的基本特性和小信号谐振放大器的工作原理,同时对集中选频放大器的组成及放大器的噪声作必要的分析。

第3章为高频功率放大器,主要介绍谐振功率放大器的工作原理、特性及电路,同时对传输线变压器及宽带功率放大器进行讨论。

第4章为正弦波振荡器,主要介绍反馈振荡器,重点分析LC振荡器和晶体振荡器,并对振荡器的频率和振幅稳定性进行讨论,对其他正弦波振荡器只作简单介绍。

第5章为振幅调制、解调与混频电路,主要介绍振幅调制、解调和混频原理,同时对相乘器电路、实用调幅、检波、混频电路及其应用进行详细的讨论。

第6章为角度调制与解调电路,主要介绍频率调制与解调原理、调频与鉴频电路,同时对集成调频发射机与接收机、数字角度调制与解调进行讨论。

第7章为反馈控制电路,主要介绍锁相环路和锁相频率合成器,自动增益控制和自动频率控制电路只作简要介绍。

为了便于组织课堂讨论,本书每节编有复习与讨论题,同时,每章还编有小结和习题。为了帮助读者掌握教材的教学基本要求,各章重点、难点,指导学习方法,与本书配套出版有学习指导,可供读者选用。

本书由胡宴如、耿苏燕主编,第1~5、7章由胡宴如编写,第6章由耿苏燕编写,胡旭峰、马丽明、王敏珍分别参与第3、4、7章的编写。

本书承蒙东华大学信息学院曾培峰教授仔细审阅,提出了许多宝贵意见和建议,在此表示衷心的感谢。

限于作者水平,书中错漏和不妥之处恳请读者批评指正。

编者
2008年7月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 通信与通信系统	1
1.1.1 通信系统的基本组成	1
1.1.2 模拟通信系统	2
1.1.3 数字通信系统	4
复习与讨论题	5
1.2 无线电波段的划分和无线电波的传播	6
1.2.1 无线电波段的划分	6
1.2.2 无线电波的传播	7
复习与讨论题	8
1.3 非线性电子线路的基本概念	8
1.3.1 线性与非线性电路	8
1.3.2 非线性电路的基本特点	9
复习与讨论题	11
1.4 本课程的主要内容及特点	11
本章小结	12
习题	12
第 2 章 小信号选频放大器	13
2.1 谐振回路	13
2.1.1 并联谐振回路的选频特性	13
2.1.2 阻抗变换电路	19
复习与讨论题	24
2.2 小信号谐振放大器	24
2.2.1 晶体管的 Y 参数等效电路	24
2.2.2 单调谐回路谐振放大器	27
2.2.3 多级单谐振回路谐振放大器	31
2.2.4 调谐放大器的稳定性	32
复习与讨论题	34
2.3 集中选频放大器	35
2.3.1 集中选频滤波器	35
2.3.2 集中选频放大器应用举例	37
复习与讨论题	39
2.4 放大器的噪声	39

2.4.1	噪声的来源	39
2.4.2	电阻热噪声的计算	41
2.4.3	噪声系数与噪声温度	44
2.4.4	低噪声放大器	51
	复习与讨论题	52
	本章小结	52
	习题	53
第3章	高频功率放大器	56
3.1	丙类(C类)谐振功率放大器的工作原理	56
3.1.1	基本工作原理	56
3.1.2	余弦电流脉冲的分解	58
3.1.3	输出功率与效率	61
	复习与讨论题	63
3.2	谐振功率放大器的特性分析	63
3.2.1	谐振功率放大器的工作状态与负载特性	63
3.2.2	V_{CC} 对放大器工作状态的影响	66
3.2.3	U_{im} 和 V_{BB} 对放大器工作状态的影响	67
	复习与讨论题	68
3.3	谐振功率放大器电路	69
3.3.1	直流馈电电路	69
3.3.2	滤波匹配网络	71
3.3.3	谐振功率放大器电路举例	76
	复习与讨论题	78
3.4	丁(D)类和戊(E)类功率放大器	78
3.4.1	丁(D)类功率放大器	78
3.4.2	戊(E)类功率放大器	80
3.5	集成高频功率放大器及其应用简介	81
3.6	宽带高频功率放大器	82
3.6.1	传输线变压器	83
3.6.2	功率合成技术	86
3.6.3	宽带高频功率放大器电路	90
	复习与讨论题	91
	本章小结	91
	习题	92
第4章	正弦波振荡器	96
4.1	反馈振荡器的工作原理	96
4.1.1	反馈振荡器产生振荡的基本原理	96
4.1.2	振荡的平衡条件和起振条件	97

4.1.3	振荡的稳定条件	102
	复习与讨论题	104
4.2	LC 正弦波振荡器	104
4.2.1	三点式振荡器的基本工作原理	104
4.2.2	电感三点式振荡器	105
4.2.3	电容三点式振荡器	106
4.2.4	改进型电容三点式振荡器	110
4.2.5	集成 LC 正弦波振荡器	113
	复习与讨论题	115
4.3	振荡器的频率和振幅稳定度	115
4.3.1	频率稳定度	116
4.3.2	振幅稳定度	118
	复习与讨论题	118
4.4	石英晶体振荡器	118
4.4.1	石英谐振器及其特性	119
4.4.2	石英晶体振荡器	121
	复习与讨论题	123
4.5	RC 正弦波振荡器	123
4.5.1	RC 串并联选频网络	123
4.5.2	RC 桥式振荡器	125
	复习与讨论题	127
4.6	负阻正弦波振荡器	127
4.6.1	负阻器件的伏安特性	127
4.6.2	负阻振荡电路	129
	复习与讨论题	130
4.7	特殊振荡现象	130
4.7.1	寄生振荡	130
4.7.2	间歇振荡	131
4.7.3	频率占据现象	132
	复习与讨论题	133
	本章小结	133
	习题	134
第 5 章	振幅调制、解调与混频电路	141
5.1	振幅调制的基本原理	141
5.1.1	普通调幅波	141
5.1.2	抑制载波的双边带和单边带调幅信号	146
5.1.3	调幅电路组成模型	147
	复习与讨论题	148

5.2	相乘器电路	149
5.2.1	非线性器件的相乘作用	149
5.2.2	二极管双平衡相乘器	154
5.2.3	双差分对模拟相乘器	158
	复习与讨论题	165
5.3	振幅调制电路	165
5.3.1	概述	165
5.3.2	低电平调幅电路	166
5.3.3	高电平调幅电路	171
	复习与讨论题	173
5.4	振幅检波电路	173
5.4.1	振幅解调的基本原理	173
5.4.2	二极管包络检波电路	175
5.4.3	同步检波电路	182
	复习与讨论题	185
5.5	混频电路	185
5.5.1	混频的基本原理	185
5.5.2	二极管环形混频器和双差分对混频器	188
5.5.3	晶体管混频电路	189
5.5.4	混频干扰	191
	复习与讨论题	194
5.6	振幅调制、解调与混频电路应用举例	194
5.6.1	TA7641BP 集成芯片内部结构	194
5.6.2	TA7641BP 单片收音机电路	195
	复习与讨论题	197
	本章小结	197
	习题	198
第6章	角度调制与解调电路	205
6.1	调角信号的基本特性	205
6.1.1	瞬时角频率与瞬时相位	205
6.1.2	调频信号与调相信号的数学表示式	206
6.1.3	调角信号的频谱和带宽	211
	复习与讨论题	215
6.2	调频电路	215
6.2.1	调频的实现方法与主要性能指标	215
6.2.2	变容二极管直接调频电路	217
6.2.3	间接调频电路	224
6.2.4	扩展最大频偏的方法	230

复习与讨论题	231
6.3 鉴频电路	231
6.3.1 鉴频的实现方法与主要性能指标	231
6.3.2 斜率鉴频器	235
6.3.3 相位鉴频器	239
6.3.4 限幅器	248
复习与讨论题	250
6.4 集成调频发射机与接收机	250
6.4.1 MC2833 集成调频发射机	250
6.4.2 MC3362 集成调频接收机	254
复习与讨论题	256
6.5 数字角度调制与解调	257
6.5.1 概述	257
6.5.2 数字频率调制与解调	260
6.5.3 数字相位调制与解调	262
复习与讨论题	266
本章小结	266
习题	268
第7章 反馈控制电路	273
7.1 自动增益控制电路	273
7.1.1 自动增益控制电路的作用	273
7.1.2 增益控制电路	275
复习与讨论题	277
7.2 自动频率控制电路	277
7.2.1 工作原理	277
7.2.2 应用举例	278
复习与讨论题	279
7.3 锁相环路(PLL)	279
7.3.1 锁相环路基本原理	279
7.3.2 锁相环路的数学模型	280
7.3.3 锁相环路的捕捉与跟踪	285
7.3.4 集成锁相环路	286
7.3.5 锁相环路的应用	289
复习与讨论题	292
7.4 频率合成器	292
7.4.1 频率合成器的主要技术指标	293
7.4.2 锁相频率合成器	294
7.4.3 直接数字频率合成器(DDS)	299

复习与讨论题	301
本章小结	302
习题	302
部分习题答案	305
参考文献	308

第1章 绪论

引言 自从无线电技术问世以来,它对社会生产和人类生活产生了非常深刻的影响。随着科学技术的不断发展,无线电技术已广泛应用于国民经济、军事和人们日常生活各个领域,技术水平也越来越高。

通信是无线电技术最重要的应用。通信技术的发展和现代化充分反映了无线电技术的发展。本书将结合通信系统来讨论高频电子线路的电路组成、工作原理、分析方法及性能特点,因此,本章先对通信系统、无线电信号和非线性电路作简要介绍,从而明确本书的主要内容和特点。

1.1 通信与通信系统

1.1.1 通信系统的基本组成

通信的一般含义是从发送者到接收者之间信息的传递。用电信号(或光信号)传输信息的系统称为通信系统,也称电信系统。

通信系统基本组成如图 1.1.1 所示。它由输入、输出变换器,发送、接收设备和信道等组成。

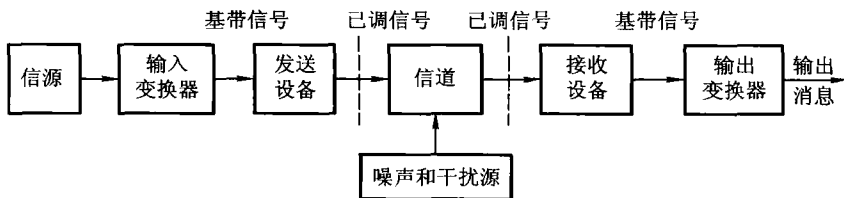


图 1.1.1 通信系统基本组成

信源就是信息的来源,它有不同形式,例如语言、音乐、文字、图像、电码等。输入变换器的作用是将信源输入的信息变换成电信号,称该信号为基带信号;不同的信源需要不同的变换器,例如话筒、摄像机、电话机等。

发送设备用来将基带信号进行某种处理并以足够的功率送入信道,以实现信号有效的传输,其中最主要的处理为调制,发送设备的输出信号为已调信号。

信道是信号传输的通道,又称传输媒介,它大体分为无线信道和有线信道两大类。无线信道包括地球表面、地下、水下、地球大气层及宇宙空间;有线信道包

括架空明线、同轴电缆、光缆等。不同的信道有不同的传输特性,相同的媒介对不同频率的信号传输特性也是不相同的。

噪声和干扰源集中表示了信道中的噪声和干扰,以及分散在通信系统中其他各处的噪声。由于它们的存在,使接收端信号与发送端信号之间存在一定的误差。

接收设备及输出变换器和发送设备及输入变换器的作用相反。由信道传送过来的已调信号由接收设备取出并进行处理,得到与发送端相对应的基带信号(这一过程称为解调)。该基带信号经输出变换器即可复原成原来形式的信息。

通信系统的种类很多,按所用信道的不同可分为有线通信系统和无线通信系统。按传输的基带信号不同可分为模拟通信系统和数字通信系统,前者传输幅度随时间连续变化的信号,而后者传输在时间和数值上离散取值的信号。

1.1.2 模拟通信系统

直接传输模拟信号的通信系统称为模拟通信系统。在图 1.1.1 中,基带信号为模拟信号时,它就是典型的模拟通信系统框图。为了进一步说明模拟通信的发送和接收系统,下面以无线电广播系统为例来讨论。

图 1.1.2 所示为无线电调幅广播发送设备的组成框图,图中还画出了各部分输出电压的波形。

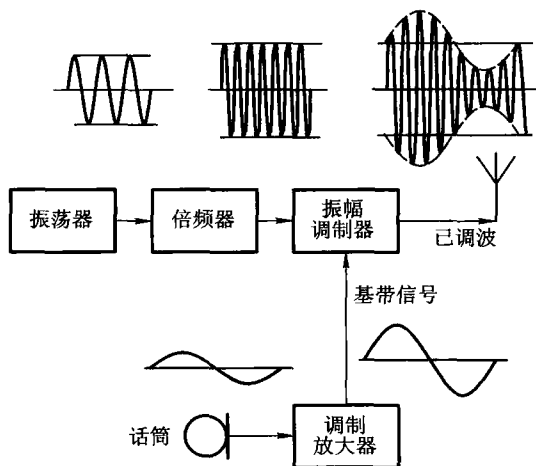


图 1.1.2 无线电调幅广播发送设备组成框图

振荡器用来产生高频信号。倍频器可将振荡器产生的高频信号频率整倍数升高到所需值,其输出为载波频率信号。在倍频器后通常还可设置高频功率放大器,用来放大载波信号,使之有足够的功率推动末级调制器。调制放大器实际

上是低频放大器,它由低频电压和功率放大级组成,用来放大话筒所产生的微弱话音信号,然后送入调制器。振幅调制器是将输入的高频载波信号和低频调制信号变换为高频已调信号,并以足够大的功率输送到天线,然后辐射到空间。

无线电调幅广播接收设备的组成框图如图 1.1.3 所示。为了提高接收机的性能,目前广泛采用超外差接收方式,超外差接收机的结构特点是具有混频器。图 1.1.3 中高频放大器用来对天线所收到的有用频率信号进行初步的选择和放大,以便抑制其他频率的无用信号。高频放大器输出的载频为 f_c 的已调信号和本机振荡器所提供的频率为 f_L 的高频等幅信号同时输入混频器,在其输出端就可获得载频频率较低的中频已调信号,通常取中频频率 $f_1 = f_L - f_c$ 。中频放大器为中心频率固定在 f_1 上的选频放大器,它可以进一步滤除无用信号,并将有用信号放大到足够值,然后经检波器解调,可恢复出原基带信号,经低频放大后输出至扬声器转变为声音。为了有助于理解各组成部分的作用,在图 1.1.3 中画出了各部分输出的电压波形。

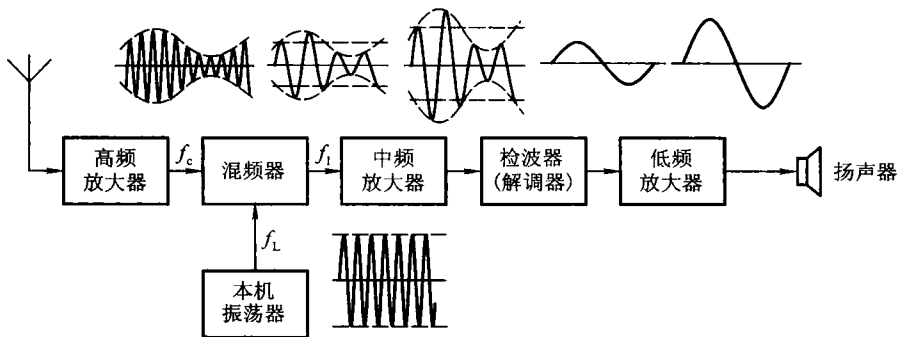


图 1.1.3 超外差式调幅接收机组成框图

由以上讨论可以看出,发送和接收设备中除了低频放大电路外,其他主要是处理高频信号的电路,它包括能对高频信号进行选频放大的高频电压和功率放大器,能产生高频信号的振荡器,能对基带信号进行变换和处理的调制器、解调器、混频器和倍频器等,这些都是本书要讨论的主要内容。其中,除高频电压放大器(含中频放大器)是线性电子线路外,其他均属于非线性电子线路。一般说来,线性电路输出信号与输入信号的波形和频率相同,只是幅度发生了变化;非线性电路输出信号与输入信号相比较,波形和频率分量都不相同。

调制过程对通信系统至关重要,因为调制方式在很大程度上决定了系统可能达到的性能。

在无线电通信系统中,电信号是通过天线以电磁波的形式向空间辐射传

输的。理论和实践证明,只有当电信号的频率很高,以致它的波长与天线的尺寸相近时(例如发射天线的尺寸至少应该是发射信号波长的 $1/10$),电信号才能有效辐射传输。一般基带信号频率很低,例如话音只有 $0.1 \sim 6$ kHz,假如是 1 kHz,则其波长为 300 km,需用 30 km长的天线,这显然是无法实现的。采用调制就可以把低频基带信号调制在高频载波信号上,从而易于实现电信号的有效传输。同时,不同电台可以采用不同频带的高频电磁波,以避免相互之间的干扰。在频率域内实现信道的复用称为频率复用(同时,在时间域里,利用脉冲调制或编码调制可使各路信号在同一信道交错传输,这样的信道复用称为时间复用)。

用待传输的基带信号去改变高频载波信号的某一参量,就可以实现调制。如用基带信号去改变高频载波信号的振幅,则称为振幅调制,简称调幅,用符号AM表示。如用基带信号去改变高频载波信号的频率或相位,则称为频率调制(简称调频,用符号FM表示)或相位调制(简称调相,用符号PM表示)。经过调制后的高频信号带有基带信号的信息,称为已调信号。

1.1.3 数字通信系统

传输数字信号(即基带信号为数字信号)的通信系统称为数字通信系统,它的组成框图如图1.1.4所示,图中发送端的信源编码和信道编码的作用是把输入的模拟基带信号变换成数字基带信号。数字基带信号送入发射机进行数字调制,并经高频功率放大,然后将带有数字信息的已调信号输入信道。接收机及信道解码、信源解码与发射机及信道编码、信源编码的作用相反。由信道传送过来的已调信号由接收机取出,并进行解调还原出数字基带信号,再经信道解码和信源解码,变换成模拟基带信号输出,由输出变换器变换成原始信息。

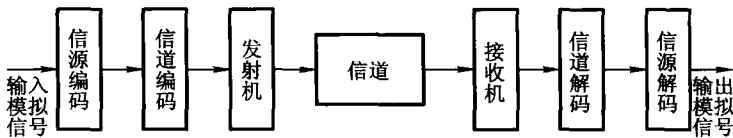


图 1.1.4 数字通信系统组成框图

用数字基带信号对高频正弦载波进行的调制称为数字调制。根据基带信号控制载波的参数不同,数字调制通常分为振幅键控(ASK)、相位键控(PSK)和频率键控(FSK)三种基本形式。它们的调制波形分别示于图1.1.5中。图1.1.5(a)为数字基带信号。振幅键控是载波振幅受基带信号控制,基带为高电平时有高频载波输出,低电平时没有载波输出,其波形如图1.1.5(b)所示;相位

键控是载波的相位受基带信号控制,当基带信号为高电平时,载波起始相位为 0 (或为 π),低电平时,载波起始相位为 π (或为 0),其波形如图 1.1.5(c) 所示;频率键控是载波频率受基带信号控制,高电平时频率为 f_1 ,低电平时为 f_2 ,其波形如图 1.1.5(d) 所示。

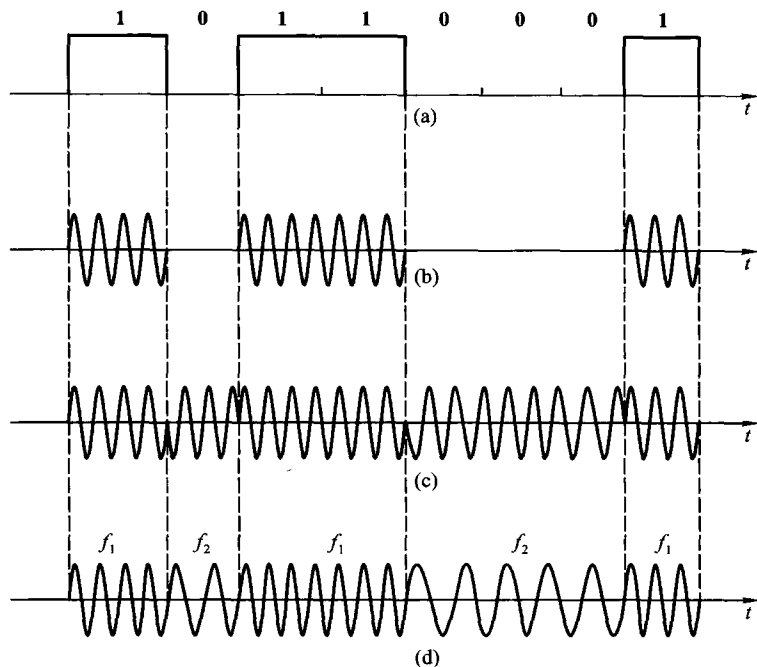


图 1.1.5 数字调制波形

(a) 数字基带信号 (b) ASK 波形 (c) PSK 波形 (d) FSK 波形

由于数字信号通过再生中继技术可以消除噪声的积累,并能及时发现和纠正信号传输中因干扰而产生的差错,所以数字通信具有很强的抗干扰、抗噪声能力,同时数字通信便于与计算机接口进行处理,使通信系统更加通用和灵活,所以数字通信已成为今后现代通信技术的发展方向。

复习与讨论题

- 1.1.1 何谓通信系统? 通信系统由哪些部分组成? 各组成部分的作用是什么?
- 1.1.2 无线电调幅广播发送和接收设备由哪些主要部分组成? 各组成部分的作用是什么?
- 1.1.3 通信系统中为什么要采用调制技术?
- 1.1.4 说明数字通信系统组成的特点。