



高等院校
通信与信息专业规划教材

通信电子电路

解月珍 谢沅清 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



高等院校通信与信息专业规划教材

通信电子电路

解月珍 谢沅清 编著



机械工业出版社

本教材是在“面向 21 世纪课程教材”和“九五规划国家级重点教材”《电子电路基础》及“九五规划部级重点教材”《通信电子电路》两本书的基础上,重新整和增删后写出的。

全书共分 8 章,内容包括宽带放大器,谐振放大器,振荡电路,振幅调制、检波与变频,角度调制与解调,反馈控制电路,功率变换电路,噪声干扰及其抑制等。

本书的讲述,着重物理概念的介绍,力求避免烦琐的数学推导。

本书可作为普通高校电子信息类专业的教材或相应课程的参考书,也可供专业技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

通信电子电路/解月珍,谢沅清编著. —北京:机械工业出版社,2003.1
高等院校通信与信息专业规划教材
ISBN 7-111-11513-9

I. 通... II. ①解... ②谢... III. 通信—电子电路—高等学校—教材 IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 001368 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划:胡毓坚 责任编辑:汪汉友

责任印制:付方敏

三河市宏达印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2003 年 2 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm×1092mm $\frac{1}{16}$ ·20.5 印张·502 千字

0 001—5000 册

定价:28.00 元

凡购本图书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话:(010) 68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

高 等 院 校
通信与信息专业规划教材编委会名单
(按姓氏笔画排序)

编委会主任	乐光新		
编委会副主任	张文军	张思东	杨海平
	陈瑞藻	徐澄圻	
编委会委员	王金龙	冯正如	刘增基
	李少洪	邹家禄	吴镇扬
	赵尔沅	南利平	徐惠民
	彭启琮	解月珍	
秘书长	胡毓坚		
副秘书长	许晔峰		

1004112

出版说明

为了培养 21 世纪国家和社会急需的通信与信息领域的高级科技人才,为了配合高等院校通信与信息专业的教学改革和教材建设,机械工业出版社会同全国在通信与信息领域具有雄厚师资和技术力量的高等院校,组成阵容强大的编委会,组织长期从事教学的骨干教师编写了这套面向普通高等院校的通信与信息专业规划教材,并且将陆续出版。

这套教材将力求做到:专业基础课教材概念清晰、理论准确、深度合理,并注意与专业课教学的衔接;专业课教材覆盖面广、深度适中,不仅体现相关领域的最新进展,而且注重理论联系实际。

这套教材的选题是开放式的。随着现代通信与信息技术日新月异地发展,我们将不断更新和补充选题,使这套教材及时反映通信与信息领域的新发展和新技术。我们也欢迎在教学第一线有丰富教学经验的教师及通信与信息领域的科技人员积极参与这项工作。

由于通信与信息技术发展迅速而且涉及领域非常宽,这套教材的选题和编审,如有缺点和不足之处,诚恳希望各位老师和同学提出宝贵意见,以利于今后不断改进。

机械工业出版社
高等院校通信与信息专业规划教材编委会

前 言

本书和《电子电路基础》(机械工业出版社出版)互为配套教材。这套教材是在我们编写的另一套教材《电子电路基础》(面向 21 世纪课程教材、普通高等教育“九五”国家级重点教材,人民邮电出版社出版)和《通信电子电路》(“九五”部级重点教材,北京邮电大学出版社出版)的基础上修改而成。后者是北京邮电大学承担的国家教委立项的教改项目研究成果。

修改后的本套教材,主要变化如下:

1. 前一套教材中的《电子电路基础》一书,作为电子电路的基础,其内容较完整,包括模拟和数字电路两个方面的基础。除放大电路外,还有振荡和门电路。放大电路,包括线性和非线性的,有电阻负载电路,也有以谐振电路为负载的电路,工作类别则包括甲、乙、丙类。和市面流行的电子线路基础或低频电子电路类图书相比,内容扩展了不少。但是目前许多将电子电路按两门课开设的学校,对两门课的学时分配仍是按过去的低、高频电路内容划分,教学计划的时间分配的调整牵扯到方方面面,短时间难以改变。如果采用我们编写的前一套教材,则电子电路基础课的学时不够,而通信电子电路课的学时则相对地显得富余。为了使更多的学校能分享我们的教学改革成果,我们将两本书的内容重新作了调整,把大、小信号谐振放大电路、振荡和模拟相乘器等内容,由《电子电路基础》移至《通信电子电路》中。

2. 为了使本套教材能适用不同层次的学校和基础不同的学生,我们对一些难点内容的诠释作了一些努力,增加了部分例题,删除了一些非基本的、属于扩展知识的内容。

3. 对调制解调部分,增加了数字调制解调的内容。但本书仅介绍数字调制解调的基本电路,让读者在掌握模拟调制解调的基本原理的基础上,了解数字调制解调电路的特点。不涉及编码、解码,避免和通信系统原理、数字逻辑电路课的相关内容重复。

前一本《通信电子电路》的若干重要编写思想,本书继承了下来。以分立元件和集成电路关系的处理为例,我们是这样考虑的:尽管电路日新月异,但电路实现各种功能的原理变化是不太大的,只是人们对某些电路原理认识逐步深刻,电路原理不会因器件的变化而发生突变。集成电路的出现与发展,以封装的器件为单位,组成一个系统的器件数目是越来越少,可是器件内部电路却越来越复杂。在讲述电路原理时,如果将一个集成块当作黑匣子,无法讲明白电路的工作原理。而如果把整个集成电路的内部电路拿出来讲,则是实现该集成电路功能的主要电路和起辅助作用的(例如内部偏置)电路混在一起,讲起来费时费力。对于一个初学者,面对的一大片复杂的电路,会坠入云里雾中,结果可能会导致不得要领。本书采取的方式是提取集成块实现主要功能的局部电路,对辅助部分予以简化。有时看起来有些像分立元件电路,但不影响阐明问题的实质,读者自行过渡到阅读实际的集成块内部电路,不会有多少困难。一般来说,我们的做法是,对规模较大的集成电路,把各个子电路以方框或惯用符号替代,以讲述其系统功能,选择某些有特殊功能的部分,以及那些和引脚相连接的电路,用较多的篇幅来阐述。我们觉得教科书应着重电路原理的阐述,至于集成块内部电路详细情况,读者在有必要时可以查器件手册。因此本书没有过多地介绍各种型号的具体器件,以免将教科书写成器件手册,徒然增加书的篇幅,加重读者的经济负担。

采用本书时,无需所有章节逐一在课堂上讲述。如功率变换、噪声等章节,采用者可以根

据情况予以取舍。电子电路是一门概念性很强的课程。建议采用本书的师生,把主要精力花在弄清概念上。某些数学推导,例如张弛振荡器振荡频率的表示式,其推导过程是不必讲授的。学生也不要背那些繁琐的公式,只须弄明白振荡频率和电路参数关系的物理概念即可。类似之处很多,这里不一一枚举。

本书的编写大纲,曾经上海交通大学许志祥教授和张文军教授审阅。他们提出了宝贵的意见,在此谨表谢意。

限于作者水平,书中难免有疏漏和不妥之处,希望广大读者不吝指正。

作 者

目 录

出版说明	
前言	
绪论	1
0.1 通信系统的模式	1
0.1.1 模拟通信系统	2
0.1.2 数字通信系统	4
0.2 通信的频段	4
0.3 本课程的主要内容	6
第1章 通信电路中的宽带放大器	8
1.1 传输线	8
1.1.1 均匀传输线方程式	8
1.1.2 均匀传输线方程式在稳定的正弦信号作用下的解	9
1.1.3 无损耗线	11
1.2 宽频带放大器的阻抗匹配	15
1.2.1 阻抗匹配原理	16
1.2.2 宽频带放大器阻抗匹配的典型电路	16
1.3 宽带放大器的输出级	21
1.3.1 低阻抗负载输出级	21
1.3.2 高阻抗负载输出级	23
1.4 传输线变压器	24
1.4.1 传输线变压器的工作原理	25
1.4.2 4:1 阻抗变换器	26
1.5 功率合成器与功率分配器	27
1.5.1 功率合成器	28
1.5.2 功率分配器	30
1.5.3 功率合成与功率分配器举例	31
1.6 习题	33
第2章 谐振放大器	35
2.1 小信号谐振放大器的指标要求	35
2.2 LC 谐振回路	36
2.2.1 单谐振回路	36
2.2.2 双耦合谐振回路	45
2.3 LC 谐振回路小信号谐振放大器	47
2.3.1 单管 LC 小信号谐振放大器	48
2.3.2 共射—共基混合连接小信号谐振放大器	49
2.3.3 集成 LC 小信号谐振放大器	50
2.4 集中选频小信号谐振放大器	52
2.4.1 石英晶体滤波器	52
2.4.2 陶瓷滤波器	56
2.4.3 声表面波滤波器	57
2.5 丙类谐振功率放大器	58
2.5.1 丙类谐振功率放大器的工作原理	59
2.5.2 近似分析方法	61
2.5.3 放大器的欠电压、过电压与临界工作状态	63
2.5.4 丙类谐振功率放大器电路	66
2.6 习题	76
第3章 振荡电路	78
3.1 反馈型正弦波振荡器的工作原理	78
3.1.1 反馈型正弦波振荡器的起振平衡条件	78
3.1.2 变压器耦合反馈型 LC 正弦波振荡电路	80
3.2 三点式 LC 正弦波振荡器电路	82
3.2.1 电路形式及工作原理	82
3.2.2 三种不同反馈形式 LC 振荡电路的比较	86
3.3 LC 正弦波振荡器振幅和频率的稳定	87
3.3.1 振幅稳定	88

3.3.2 频率稳定	90	4.4.2 平均值包迹检波器	151
3.3.3 提高振幅与频率稳定性的基本措施	91	4.4.3 相乘检波电路	152
3.3.4 石英晶体振荡器	94	4.4.4 三种检波电路的比较	155
3.4 集成 LC 正弦波振荡器	97	4.5 正交调幅与解调	155
3.5 RC 正弦波振荡器	99	4.6 变频	156
3.5.1 RC 正弦波振荡器的特点	99	4.6.1 变频的作用及其性能要求	156
3.5.2 文氏电桥振荡器	100	4.6.2 混频电路的构成	157
3.5.3 积分式 RC 正弦波振荡器	101	4.6.3 混频电路	157
3.6 张弛振荡器	104	4.6.4 混频干扰	164
3.6.1 反馈型张弛振荡器的工作原理	104	4.7 习题	167
3.6.2 集成运放构成的张弛振荡器	105	第 5 章 角度调制与解调	171
3.6.3 单片集成张弛振荡器	110	5.1 调角信号分析	171
3.6.4 555 单片定时电路构成的张弛振荡器	111	5.1.1 调频信号与调相信号的数学表示式与波形	171
3.7 负阻振荡器	114	5.1.2 调频信号和调相信号的基本性质	173
3.7.1 负阻器件	115	5.1.3 调频信号和调相信号的频谱、频带宽度	174
3.7.2 负阻型 LC 正弦波振荡器	115	5.1.4 功率	178
3.8 寄生振荡	119	5.2 实现调频的基本原理和方法	179
3.8.1 寄生振荡的典型表现形式	120	5.3 调频电路	180
3.8.2 寄生振荡的产生原因及其防止和消除的方法	120	5.3.1 直接调频电路	180
3.9 习题	122	5.3.2 间接调频电路	185
第 4 章 振幅调制、检波与变频	127	5.4 扩展线性频偏的方法	189
4.1 调幅信号分析	127	5.5 频率解调的基本原理和方法	191
4.1.1 普通调幅波	127	5.5.1 频率解调的基本原理和方法	191
4.1.2 抑制载波双边带调幅波	131	5.5.2 鉴频器的主要性能指标	192
4.1.3 单边带调幅波	132	5.6 鉴频电路	193
4.2 调幅与检波的基本原理和实现方法	133	5.6.1 斜率鉴频电路	193
4.2.1 调幅与检波的基本原理	133	5.6.2 相位鉴频电路	200
4.2.2 调幅与检波的实现方法	134	5.6.3 脉冲计数式鉴频电路	203
4.3 调幅电路	138	5.7 数字调制与解调电路	205
4.3.1 双边带调幅电路	138	5.7.1 数字调制的分类	206
4.3.2 普通调幅电路	140	5.7.2 二进制数字调制与解调	206
4.3.3 单边带调幅电路	141	5.7.3 多进制数字调制与解调	210
4.4 检波电路	143	5.8 习题	213
4.4.1 二极管峰值包迹检波电路	143	第 6 章 反馈控制电路	215
		6.1 自动幅度控制电路	215
		6.1.1 工作原理	215

6.1.2 应用	216	7.4.5 谐振式变换器	282
6.1.3 自动增益控制电路的特点	221	7.5 习题	287
6.2 自动频率控制电路	222	第8章 噪声、干扰及其抑制	289
6.2.1 工作原理	222	8.1 元器件内部噪声产生的原因及表示方法	289
6.2.2 应用	222	8.1.1 热噪声	289
6.2.3 自动频率控制电路的特点	223	8.1.2 散弹噪声	291
6.3 自动相位控制电路——锁相环	224	8.1.3 分配噪声	291
6.3.1 锁相环的构成及工作原理	224	8.1.4 低频噪声($\frac{1}{f}$ 噪声)	292
6.3.2 锁相环路的性能分析	224	8.2 噪声电路的计算	293
6.3.3 集成锁相环路	236	8.2.1 多个噪声源作用于电路时的分析	293
6.3.4 锁相环的典型应用	239	8.2.2 噪声系数	294
6.3.5 反馈控制电路的一般工作原理	246	8.2.3 放大器与电子器件的噪声等效电路	296
6.4 习题	247	8.3 减小电子电路内部噪声影响, 提高输出信噪比的方法	301
第7章 功率变换	249	8.3.1 选用低噪声元器件	302
7.1 整流电路	250	8.3.2 选用合适电路或设计特种电路	302
7.1.1 单相半波整流	250	8.4 减小元器件外部干扰, 提高输出信噪比的方法	303
7.1.2 单相全波整流	251	8.4.1 来自供电电源的干扰及其抑制方法	304
7.1.3 单相桥式整流	252	8.4.2 来自空间电磁耦合造成的干扰及其抑制方法	306
7.1.4 接有电容滤波器的整流电路	252	8.4.3 公共地线连接不当造成的干扰及其抑制	307
7.1.5 接有复式滤波器的整流电路	255	8.4.4 常见噪声、干扰的简单识别方法	309
7.1.6 倍压整流	256	8.5 习题	310
7.2 稳压二极管稳压电路	260	附录 常用符号说明	312
7.2.1 硅稳压二极管的主要特性	260	参考文献	315
7.2.2 简单的硅稳压管稳压电路	262		
7.3 线性稳压电源	266		
7.3.1 简单的串联式线性稳压电路	266		
7.3.2 附加有放大器的串联式线性稳压电路	267		
7.4 开关式稳压电源	269		
7.4.1 开关稳压电源的基本组成	269		
7.4.2 DC/DC 变换器的基本类型	270		
7.4.3 开关电源控制电路	278		
7.4.4 功率因数校正电路	280		

绪 论

0.1 通信系统的模式

通信就是将信息从发送者传送到接收者的过程,而实现这种信息传递过程的系统称为通信系统。现代通信通常是用电信号来完成信息传送过程的,所以本书所论及的通信系统是指“电通信”系统,它包括电报、电话、广播、电视、雷达、遥控、遥测等等。尽管通信系统的形式多种多样,但不外乎是把一个地方(发送端)的信息传送到另一个地方(接收端),所以通信系统的基本模式可以用图 0-1 所示的模型来表示。

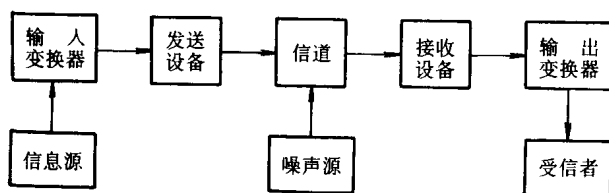


图 0-1 通信系统的基本模式

图 0-1 中的信息源是指要传送的原始信息,如语言、文字、数据、图像等,它一般是非电量。对于非电量信号,经输入变换器变换为电信号。如果输入信息本身就是电信号(如计算机输出的二进制信号)时,可以不需要输入变换器而直接送到发送设备。发送设备将变换器的输出信号变换成适应于信道传输特性的信号。这是由于不同的信道具有不同的传输特性,而要传送的信息种类繁多,往往不适宜于在信道中直接传输。发送设备中包含有对变换器输出信号进行各种处理方式的电路,如放大、调制、采样与 A/D 变换及滤波等。

信道即信号传输的通道,也就是传输媒介。通信中应用信道可分为有线信道和无线信道两大类。有线信道包括架空明线、电缆、光纤电缆等;无线信道可以是地球表面的大气层、水、大地及宇宙空间等。

噪声源是指信道中的噪声及分散在通信系统中其他各处噪声的集中表示。

接收设备的功能和发送设备相反,它将从信道接收到的信号恢复成与发送设备输入信号一致的信号。由于在信号传输过程中,不可避免地会有噪声和干扰的加入,在接收端除了包含有和发送端相反作用的解调、D/A 变换等电路外,还有滤除干扰和噪声的电路,当然必要的放大也是需要的。输出变换器是将接收设备输出的电信号还原成原始信息,如声音、图像等,供受信者利用。

尽管所要传输的信息多种多样,如符号、文字、语声、图像和数据等,但可以把它们归纳为两大类:一类是在时间持续和信息状态方面是连续变化的,称为连续信息,例如强弱连续变化的语声、亮度连续变化的图像;另一类是时间持续不连续,在信息状态方面是离散或可数的,称离散信息,例如符号、文字、数据等。

当信息通过输入变换器转换成电信号后,电信号的参量(例如幅度、频率、相位等)的变化对应于原连续信息是连续取值,则该信号称为模拟信号;若电信号参量相对于原连续信息的变化不仅在时间上是离散的,而且在取值上也是离散的,则该信号称为数字信号。按照信道中传输的是模拟信号还是数字信号,通信系统分成模拟通信系统和数字通信系统两大类。

0.1.1 模拟通信系统

1. 典型的模拟通信系统

模拟通信系统传送的信号是模拟信号,如语声、图像等,它们转换成的原始电信号(通常称为基带信号)的频谱分量较低,一般不能直接在信道中传输。为了实现信息的有效传输,必须把这种携带信息的基带电信号变换成适合在信道中传输的电信号。这种变换过程称为调制,实现调制功能的电路称为调制器,调制后的信号称为已调信号。在接收端,为了获取所传输的信息,必须将接收的已调信号再还原成原始的电信号,这个过程称为解调,实现这一解调功能的电路为解调器。图 0-2 示出了模拟通信系统的典型框图,将它与图 0-1 比较,可以看出,图 0-1 中的发送设备和接收设备在图 0-2 中换成了调制器和解调器。

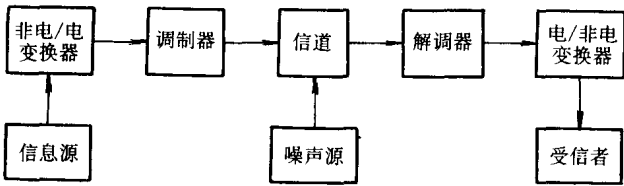


图 0-2 模拟通信系统典型框图

为了进一步了解模拟通信的发送系统和接收系统,下面以无线电广播为例来说明。

无线电广播所需传送的信号是人们的语声或音乐。其电信号的频率范围为 20Hz~20kHz,对应的波长是 15000km~15km。根据电磁波传播理论,欲使天线能有效地发送和接收电磁波,天线的几何尺寸必须和信号波长相比拟,一般不宜短于 1/4 波长。如果要将音频信号通过天线辐射到自由空间或从自由空间接收下来,则要制造长度为 3750km~3.75km 的天线,这显然是无法实现的。除此之外,还由于各个电台同时工作,所发送的信号处于同一频率范围,即使能将信号接收下来,所有的信号混杂在一起,也无法分辨出所要接收电台的信号。

解决上述问题的办法就是调制。在发送端,调制器将频率较低的音频信号用一个高频信号进行调制,以高频信号为载体,调制后的高频已调波,含有基带信号的信息。天线发送的是高频信号,天线的几何尺寸就无需很大,易于实现。同时,不同的电台使用不同频率的高频信号运载基带信号,在接收端可以根据频率不同来选择所需电台的信号,将它区别开来。接收端选出所需的高频已调信号,通过解调器将其还原为基带信号。

对高频信号进行调制时,根据对高频信号参量究竟是幅度、频率、相位三者中的哪一个,可以分为调幅、调频和调相三种制式。而相应的解调也可以分为三种制式。

2. 无线电广播发送和接收系统

图 0-3a 和图 0-3b 分别为最简单的无线电广播发送和接收系统的框图。由各方框之间所示波形可以对各方框的功能一目了然。图 0-3a 中缓冲级实质上是一种吸收功率很小、工作稳定的放大级,其作用是保证主振级产生的高频振荡频率十分稳定,不受外界的任何影响。被调

放大的功能是使高频信号幅度按低频信号大小变化的幅度调制。传声器是将语声变为电信号的变换器。

图 0-3b 中的高频小信号放大器除了放大所需的频率信号,还应抑制不需要的频率信号。检波器的功能是从接收到的高频信号还原出原基带信号。扬声器则是将电信号恢复为语声信号。

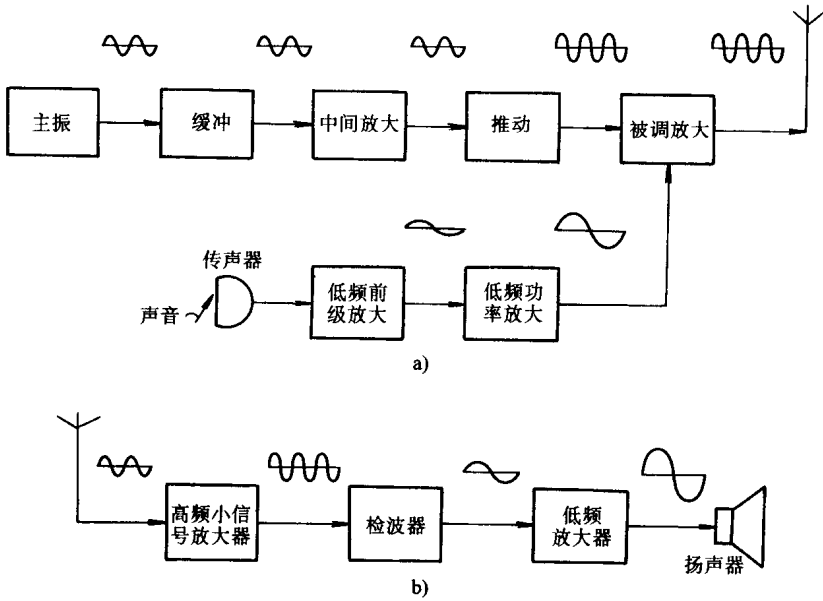


图 0-3 简单的无线电广播发送和接收系统框图

图 0-3b 所示是原始的直接放大式接收机,其缺点是灵敏度低。由于天线接收到的高频信号根据需要的不同而具有不同的频率,这就需要接收机中的高频小信号放大器是一个频率可变高增益的高频放大器,这样一来,技术难度和造价都很高,所以这种直接放大式接收机早就被超外差式接收机所取代。图 0-4 示出超外差式接收机的框图。

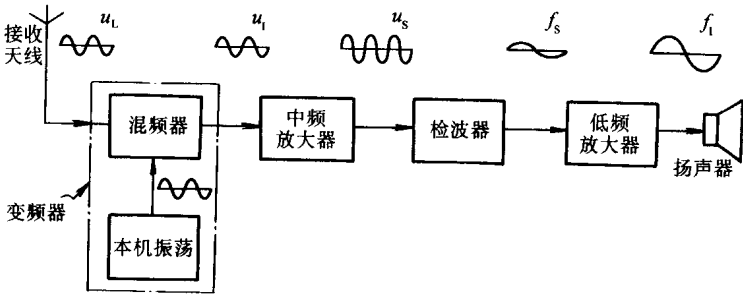


图 0-4 超外差式接收机框图

在超外差式接收机中,用变频器和中频放大器取代了图 0-3b 中的高频小信号放大器。在这里,天线接收到的高频信号先和本机振荡所产生的本振电压 u_L 进行混频,所得到的输出电压 u_1 ,其包迹与输入高频信号 u_s 的包迹相同,但载波频率变换为原高频载波频率 f_s 和本机振荡频率 f_L 之差。这个新的载波频率 f_1 叫做中频。当所要接收的载波频率 f_s 改变时,可以

调节本振频率 f_L 跟随变化,使 $f_1 = f_L - f_s$ 保持为某一数值较低而且固定的频率。这样一来,图中的中频放大器就可以制成固定工作频率的高增益放大器,从而降低了技术难度和制造成本,而且可以用多级放大器提高中频放大器的增益,以提高接收机的灵敏度。这就是现代接收机广泛采用超外差式的原因。

0.1.2 数字通信系统

1. 数字通信系统的组成

数字通信系统传输的信号是数字信号,因此在发送端必须把信息源产生的模拟基带信号变换成离散的数字基带信号。实现这种变换的电路称为 A/D 变换器,英文字母的简写为 ADC。为了使数字信号与传输媒介匹配,提高传输的可靠性,还需要对数字基带信号进行编码处理,这中间还包括加密处理。经过这些处理后的数字基带信号再送入调制器进行数字调制。带有数字信息的已调信号进入信道传输。接收端接收到的数字已调信号经解调器还原出数字基带信号,再经译码器恢复出原始数字基带信号,再由 D/A 变换器(英文字母的简写为 DAC)变换成原始的模拟信号。图 0-5 示出了数字通信系统的组成框图。由图可见,数字通信系统与模拟通信系统相比,除增加了 A/D、D/A 变换器和编、解码器外,其系统的主体模型没有什么不同。

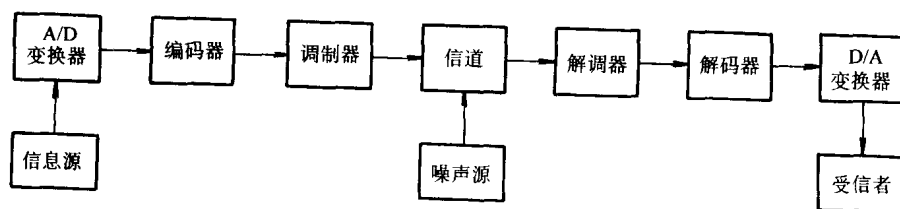


图 0-5 数字通信系统组成框图

但是数字信号可以通过抽样判决技术而再生,故可以消除传输过程中噪声的积累,因此,数字通信具有很强的抗噪、抗干扰能力。同时数字通信通过加密加强了通信的保密性。它还便于与计算机接口,实现计算机数字信息处理。数字通信还可以同时传输多种信息,便于实现多媒体功能。可见,数字通信的多种优越性,使之成为今后现代通信技术的发展方向。

2. 一个典型的数字通信系统

图 0-6 为典型数字通信机的组成框图,该机接收和发送系统公用天线。频率合成器提供接收机本振信号和发送机高频载波信号。图中没有画出 A/D 变换和 D/A 变换,是因为 ΔM 编码兼有 A/D 变换和编码的功能,而 ΔM 解码兼有解码和 D/A 变换功能。还有其他多种编、解码器,也兼有 A/D 变换和 D/A 变换的功能。图中 PSK(Phase Shift Keying)是移相键控,其功能是用数字信号去调制载波的相位。

0.2 通信的频段

人们根据不同频率电磁波传播规律的特点,将整个频率范围划分为若干通信频段,再根据不同通信技术的要求,选用合适的频段。表 0-1 示出了通信频段的划分及主要用途。

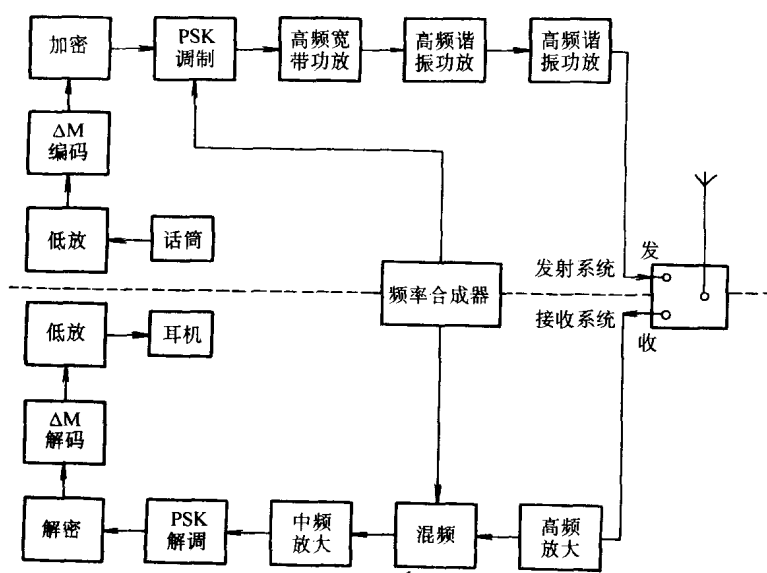


图 0-6 典型的数字通信机框图

表 0-1 通信频段

频率范围	波 长	名 称	符 号	传输媒介	用 途
0.3~3 kHz	$10^3 \sim 10^2$ km	音频	AF	架空明线	电话数据终端
3~30 kHz	$10^2 \sim 10$ km	甚低频	VLF	架空明线、对称电缆、地球表层(长波)	导航、频标
30~300 kHz	10~1 km	低频	LF	对称电缆、架空明线 地球表层(长波)	电力通信、导航
0.3~3 MHz	$10^3 \sim 10^2$ m	中频	MF	同轴电缆 地球表层(中波)	调幅广播、业务通信、移动通信
3~30 MHz	$10^2 \sim 10$ m	高频	HF	同轴电缆 电离层(短波)	短波广播、军用通信、国际通信
30~300 MHz	10~1 m	甚高频	VHF	同轴电缆 空间直线传播	电视、调频广播 移动通信(模拟)
0.3~3 GHz	$10^2 \sim 10$ cm	超高频	UHF	波导 空间直线传播	电视、雷达 移动通信
3~30 GHz	10~1 cm	特高频	SHF	波导 空间直线传播	微波通信、卫星通信、雷达
30~300 GHz	10~1 mm	极高频	EHF	波导 空间直线传播	微波通信、雷达 射电天文学
$10^5 \sim 10^7$ GHz	$3 \sim 0.03$ μ m	紫外、 可见光、红外		光缆	光纤通信

目前使用的有线电话直接通过电话线传输音频基带信号,所以,它占用音频(AF)频段。数据终端传输通常使用音频段传输 300~9600bit/s 的数据信号。甚低频(VLF)频率稳定度容易做得较高,故常用于导航和频率标准。电力通信是利用高压输电线实现有线通信,占用低频(LF)频段。调幅广播占用中频(MF)和高频(HF)频段。调频广播占据的频带较宽,使用甚高频(VHF)。电视则占用了甚高频和超高频(UHF)两个频段。卫星通信、数字微波使用特高频

(SHF)频段。早期的移动通信采用调幅制,使用 MF 频段,随着移动通信技术的发展,改用调频制后,使用 VHF 和 UHF 频段(光纤通信使用光波波段)。

不同频段的电磁波传输介质不同。有线信道的传输介质随着频率的升高,从架空明线、对称电缆、同轴电缆直到波导和光缆。无线信道使用自由空间,但不同波段传播方式是不同的。频率在 1500kHz 以下的中、长波段的电磁波是沿地球表面传播,通常称为绕射,如图 0-7a 所示。因为大地表面是导体,电磁波在其上传播时,将有能量衰减,而且频率越高,趋肤效应越严重,损耗也就越大。因此,频率更高的电磁波不适宜采用绕射方式传播。HF 频段的信号主要靠电离层传播。电离层是在大气层以上,它是由于太阳和星际空间的辐射引起大气的电离而产生自由电子和离子,被电离了的这部分大气层叫做电离层。电磁波到达电离层后,一部分能量被吸收,一部分被反射和折射到地面,如图 0-7b 所示。利用电离层的反射可以实现远距离传输。但是电离层的特性受多种因素的影响,使这种通信的稳定性较差。随着频率的升高,波长较短的电磁波被电离层吸收的能量就减小,当频率升高到一定值后,电磁波就会穿过电离层到宇宙空间,而不再返回地面。所以频率在 30MHz 以上的超短波段,就不能依靠电离层传播,只能依靠空间直线传播,如图 0-7c 所示。众所周知,地球表面是弯曲的,所以传播距离只能限制在视线范围内,因而受天线高度的影响。所以,微波通信采用微波接力,而卫星通信使用离地面高达几万千米的卫星作为地面信号的转发器以增加传输距离。

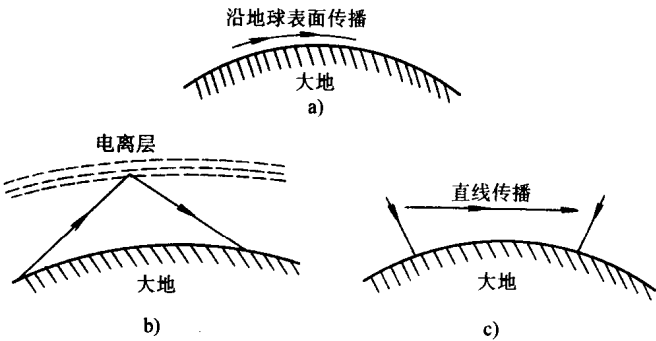


图 0-7 无线电波传播方式

0.3 本课程的主要内容

本书主要讨论通信系统的基本单元电路。其中低频放大电路、低通功率放大电路已在《电子电路基础》课中介绍,A/D、D/A 变换电路在数字系统与逻辑设计课中介绍,而编、解码技术,加密与解密技术和多路复用等均在通信原理中去介绍。本书的内容包括高频小信号调谐放大器,丙类谐振功率放大器,变频、振荡及调制解调电路。

为了提高通信系统的质量,作为一个实用的通信系统,仅有前述框图中的一些基本功能电路是不够的,例如,视发送机功率大小不同和发送与接收地点距离远近的不同,接收机收到的信号大小相差很悬殊。而人们的感官不能适应那么大差别的信号强度,因而需要调节接收机的增益,这种增益由手动操作是很不方便的,通常在接收机中设有自动增益控制电路,由该电路自动完成。此外,发送机的载波频率不能保持绝对不变,需要接收机时刻调节本机振荡频

率,使中频频率保持在一定范围之内,否则可能造成通信中断,这一功能由自动频率控制电路来完成。在时分制多路数字通信系统中,要求收、发之间的信号相位关系保持一致,否则将使整个通信系统紊乱,这一功能由自动相位控制电路来完成。本书将专辟一章讲述上述三种自动控制电路,名为反馈控制电路。

各式通信电路都离不开直流电源,对直流电源的要求,是多种多样的。但总的供电电源,要么是交流市电,要么是直流蓄电池,这就需要进行功率变换。本书因此设有一章“功率变换”,既介绍传统的整流、稳压,也适当介绍新颖的开关电源。

《电子电路基础》一书中所讲述的放大器,一般是单级放大器。在通信系统中应用的放大器,要将它们组合起来。本书第1章,讲述放大器连接时的阻抗匹配,根据负载确定输出级器件的工作状态,以及宽带功率合成和功率分配等问题。最后一章讲述电子电路中常见噪声及干扰的产生机理及其减小方法。