

# 通信

TONGXIN DIANZI DIANLU

# 电子电路

谢沅清 解月珍 编著

北京邮电大学出版社

北京市教改立项研究成果  
“九五”部级重点教材

# 通信电子电路

谢沅清 解月珍 编著

北京邮电大学出版社  
· 北京 ·

## 图书在版编目(CIP)数据

通信电子电路/谢沅清,解月珍编著. —北京:北京邮电大学出版社,2000.2

ISBN 7-5635-0413-3

I. 通… II. ①谢…②解… III. 通信-电子电路 IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 01574 号

---

出版发行:北京邮电大学出版社 电话:(010)62282185(发行部)

社 址:北京市海淀区西土城路 10 号(邮编:100876)

经 销:各地新华书店经售

印 刷:北京市忠信诚胶印厂

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

印 张:15.125

字 数:386 千字

版 次:2000 年 2 月第 1 版 2000 年 2 月第 1 次印刷

印 数:1—5 000 册

书 号:ISBN 7-5635-0413-3/TN·185

定 价:19.80 元

---

# 前 言

本书是北京邮电大学对电子线路系列课程进行改革后,和已出版的《电子电路基础》配套的一本教材。

本书选材的考虑如下:

原来的所谓模拟电子电路的大部分内容,如:器件,放大器基础,反馈,功率放大,运算放大器及其应用,模拟相乘器及电压比较器,大、小信号谐振放大,正弦波与张弛振荡等内容已收入《电子电路基础》;余下的调制,解调,变频及反馈控制电路,噪声、干扰及其抑制等自然应纳入本书。和过去的高频电路相比,少了谐振放大和正弦波振荡。作者曾撰文论述过高频电子电路一名的不科学\*,故本书不采用这种不科学的书名。本书选材的定位是通信技术中带专业性的电路,故书名为《通信电子电路》。

在增选内容时,我们曾考虑过增加数字调制-解调的内容。经过对已出版的和将要出版的(书稿)兼收模拟和数字调制-解调的电子电路教材的阅读,了解到这些教材有一个共同特点,这就是有关数字调制-解调的内容和目前流行的通信系统原理教材所讲的内容大致相同。对于不开设通信系统原理课的学校,这样处理可以收到减小学时的效果;然而对于将通信系统原理作为一门重要技术基础课开设的学校,在电子电路课中讲授数字调制-解调,就会有下述问题:

1. 按照通信系统原理课中的深度和广度讲,会造成课程内容重复,浪费学时。

2. 把数字调制-解调从通信系统原理课中分离出来,会在通信系统原理课中讲授有关数字通信的内容时感到不便。

3. 倘若深入一些讲授数字调制-解调,那么,从调制-解调原理来说,数字调制-解调和模拟调制-解调的基本原理基本相同,而且前者还比较简单,因为后者存在有非线性失真问题。这就是说,讲授了模拟调制-解调所需的原理,数字调制-解调的原理没有什么值得一讲的了。就具体电路来说,更详细地讲述数字调制-解调,就要涉及编码-解码内容,则又会和数字电路课程重复。

本书供那些将要学习或是已学过《通信电路原理》的读者使用,所以没有收入数字调制-解调的内容。

回顾传统的“高频电路”的内容,它脱胎于20世纪50年代的收发信设备。自70年代设立高频电路课到后来的改为非线性电子电路、模拟电子线路,保持谐振放大、正弦波振荡、调制、解调、变频等,变化不大。但是要全面掌握现代通信电路的内容,除了具备放大调制、解调、变频等知识,似嫌不够。根据我们多年从事教学的经验,特别是学生进入实践教学,如课程设计、毕业设计等环节所遇到的困难来看,还有必要在电子电路课中作一些补充。我们的考虑是:

在电子电路基础课中主要是就单元电路进行讲授的。单元电路组成系统后,有如:单元电路组成一个系统时的电平配置,输出级接不同负载时的输出能力,两个部件连接时的阻抗匹配

---

\* 谢沅清,解月珍。《电子线路改革方案》。《电工教学》,20卷,第二期,1997年4月。

等问题。这些内容分别在通信电路的宽带放大器和自动增益控制等章节中,给予适当篇幅来讨论。

各种线性和非线性波形变换电路也是信号变换中常见的功能电路。为此单辟一章,称为波形变换。这些电路没有多少新的原理,但运用基本电路组成具有新功能电路的构思,会给读者以启迪。

电源是所有电子线路必不可少的部分。本书设“功率变换”一章,除讲述传统的整流、稳压电路外,开关电源也占了一定的篇幅。开关电源中的某些电路,其构思也是很巧妙的,对开阔学生应用电子电路基本原理的思路,也是大有好处的。

在内容大致确定后,这些内容讲到什么样的深度和广度,取决于课程的定位。我们认为,作为教科书,应该讲述基本的东西,并通过讲授这些基本的东西传授学生分析和综合的方法。像《通信电子电路》这样的教材,它和《电子电路基础》那样的技术基础课教材有所不同,应该和专业联系多一些,但不能写成电路大全。我们在编写本书时,有如下的考虑:

尽管电路日新月异,但电路实现各种功能的原理变化是不大的。人们只是对某些电路原理认识逐步变得深刻,但电路工作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,从封装的器件外表来看,组成一个系统的器件的数目是越来越少,可是就器件内部的电路构成来说,却是越来越复杂。在讲述电路原理时,如果将一个集成块当成黑匣子,无法讲明白器件的工作原理。而如果用整个集成块的内部电路来讲,则实现该集成块功能的主要电路和一些起次要作用(例如内部偏置)的电路混在一起,讲述起来费时费力,因为呈现在接受者面前的一大片电路,会使之感到如堕五里雾中,其结果可能会弄得不得要领。本书采取的对策是提取集成块的局部电路,仔细讲述其有关工作原理。有些情况,看起来是以分立元件为例,但取其电路的完整性,比抽出集成块的一部分来讲更容易为读者所接受,而又不影响阐明问题的实质。在讲述规模较大的集成电路时,将其各个子电路以方框表示。选择某些有特殊功能的部分,特别是和器件引脚相连接的电路,则以较多的篇幅来着墨。例如锁相环中的鉴频-鉴相电路,开关电源中的功率因数补偿电路,比器件手册讲得更透彻一些。而对于整个集成块内部电路,则不予介绍。这样处理,使得本教材有别于器件手册。这就是,如若读者欲悉集成块内部电路详情,可以查手册;而查了手册对电路原理不十分清楚时,则需要求助于教材,彼此分工明确。

本书的参考学时为34。对于内容的选择,作者的建议是将那些较容易的部分作为学生自学内容,一反传统作法不将较难部分舍去。预计本书在大学本科第三学年作为选修课。此时学生已学过《电子电路基础》,对电子电路基本上入了门,具备了一定的自学能力。例如“波形变换”一章,可以全部不讲;调制-解调的基本原理讲清楚了,轮到具体电路,只需择其一二讲一下;锁相环的诸多应用,也是不必全部讲授的。各章例题,都是准备让学生自学的。这样处理,讲授时间是很充裕的,而且有利培养学生素质。

本书名为《通信电子电路》,但由于和通信相类似的电子电路广泛应用于许多领域,故本书对于从事和通信技术相类似专业工作的技术人员也是有参考价值的。

本书承北方交通大学冯民昌教授审阅,在此表示感谢。

作 者

1999年11月

# 常用符号说明

## 一、基本的量和单位表

量的名称	量的符号	单位名称	单位符号	量的名称	量的符号	单位名称	单位符号
电 流	$I, i$	安[培]	A	电 容	$C$	法[拉]	F
电 压	$U, u$	伏[特]	V	互 感	$M$	亨[利]	H
功 率	$P, p$	瓦[特]	W	放大倍数	$A$		
电 阻	$R, r$	欧[姆]	$\Omega$	时间、摄氏温度	$t$	秒, 摄氏度	s, $^{\circ}\text{C}$
电 导	$G, g$	西[门子]	S	绝对温度	$T$	开[尔文]	K
电 抗	$X, x$	欧[姆]	$\Omega$	频 率	$f, F$	赫[兹]	Hz
电 纳	$B, b$	西[门子]	S	角频率	$\omega, \Omega$	弧度每秒	rad/s
阻 抗	$Z, z$	欧[姆]	$\Omega$	带 宽	$BW$	分贝	dB
电 感	$L$	亨[利]	H				

注: 无方括号的量的名称与单位名称均为全称。方括号的字, 在不致引起混淆、误解的情况下, 可以省略。去掉方括号中的字即为其名称的简称。

## 二、电压、电流的符号表示

小写 $u(i)$ 和小写下标	交流电压(电流)瞬时值(例如 $u_{be}$ 表示基极与发射极之间交流电压瞬时值)
大写 $U(I)$ 和大写下标	直流电压(电流)值或交流电压(电流)的有效值(例如 $U_{BE}$ 表示基极与发射极之间直流电压值, $U_O$ 表示输出交流电压的有效值)
小写 $u(i)$ 和大写下标	含有直流电压(电流)的瞬时值(例如 $u_{BE}$ 表示基极与发射极之间含有直流电压的瞬时值)
大写 $V$ 和大写双字重复下标	直流供电电压(例如 $V_{CC}$ 表示集电极直流供电电压)

## 三、正弦信号作用下, 复数、模、相角的符号

$U(j\omega) = U(\omega)e^{j\varphi(\omega)}$	正弦电压复数值
$U(\omega), \varphi(\omega)$	电压的模和相角
$U(S)$	电压的拉氏变换

## 四、角标含义

i	输入量(例如 $u_i$ 为输入电压)
	电流量(例如 $A_i$ 的电流放大倍数)
o	输出量(例如 $u_o$ 为输出电压)
L	负载上的量(例如 $u_L$ 为负载上电压)
f	反馈量(例如 $u_f$ 为反馈电压、 $A_f$ 为加有反馈时的放大倍数)
S	信号源量(例如 $u_s$ 为信号源电压、 $A_s$ 为从信号源计算的放大倍数)
d	直流分量(例如 $U_d$ 为电压直流分量)
R	基准量(例如 $U_R$ 为基准电压)

## 五、功率

$P_C$ $P_o$	集电极损耗功率 载频功率	$P_{SB}$ $P_{av}$	边频功率 平均功率
----------------	-----------------	----------------------	--------------

## 六、频率

$f_h$ $f_l$	3 dB 上限(截止)频率 3 dB 下限(截止)频率	$BW$ $f_0$	3 dB 带宽 回路固有谐振频率
----------------	--------------------------------	---------------	---------------------

## 七、器件符号及参数

### 1. 二极管

VD VD <sub>w</sub> $U_D$	普通二极管 稳压二极管 导通电压	$I_S$ $U_z$ $U_T \left( = \frac{kT}{q} \right)$	反向饱和电流 稳压管的击穿电压 热电压
--------------------------------	------------------------	---	---------------------------

### 2. 三极管

VT $I_{CBO}$ $I_{CEO}$ $I_{CM}$ $U_{CES}$ $BU_{CBO}$ $BU_{CEO}$ $U_A$ $P_{CM}$ $g_m$ $\alpha$ $\beta$ $f_\alpha$ $f_\beta$ $f_T$	三极管 发射极开路时的集电结反向饱和电流 基极开路时的集电极发射极间电流(穿透电流) 集电极最大容许电流 集电极发射极间的饱和压降 发射极开路时的集电结击穿电压 基极开路时的集电极发射极间的击穿电压 欧拉电压 集电极最大容许功耗 跨导 共基极短路电流放大系数 共发射极短路电流放大系数 共基极短路电流放大系数的截止频率 共发射极短路电流放大系数的截止频率 特征频率( $\beta$ 降至等于1的频率)
--	---

## 八、其他符号

Q	品质因素	$m_a$	调幅系数
D	占空比	$m_f$	调频系数
$\eta$	耦合因数或效率	$m_p$	调相系数
$p$	接入系数	$S_f$	调频灵敏度(压控灵敏度)
$\theta$	电流通角	F	噪声系数
$\alpha$	电流分解系数	NF	噪声系数的分贝值
$K_M$	相乘器的相乘增益		

# 目 录

绪 论 .....	1
第一章 通信电路中的宽带放大器 .....	6
第一节 传输线 .....	6
一、均匀传输线方程式 .....	6
二、均匀传输线方程式在稳定的正弦信号作用下的解 .....	7
三、无损耗线 .....	8
第二节 宽频带放大器的阻抗匹配 .....	12
一、阻抗匹配原理 .....	12
二、宽频带放大器阻抗匹配的典型电路 .....	13
第三节 宽频带放大器的输出级 .....	18
一、低阻抗负载输出级 .....	18
二、高阻抗负载输出级 .....	19
三、提高输出级输出能力的方法 .....	20
第四节 传输线变压器 .....	21
一、结 构 .....	21
二、1:1 倒相器 .....	21
三、4:1 阻抗变换器 .....	23
第五节 功率合成器与功率分配器 .....	24
一、反相功率合成 .....	24
二、同相功率合成 .....	26
三、功率分配器 .....	27
四、功率合成电路举例 .....	27
习题及思考题 .....	28
第二章 调幅、检波与变频 .....	31
第一节 调幅信号的分析 .....	31
一、普通调幅波 .....	31
二、双边带调幅波 .....	35
三、单边带调幅波 .....	35
第二节 调幅与检波的基本原理和实现方法 .....	36
第三节 调幅电路 .....	37
一、双边带调幅电路 .....	37
二、普通调幅电路 .....	38
三、单边带调幅电路 .....	39
第四节 检波电路 .....	40
一、二极管峰值包迹检波器 .....	40



二、平均值包迹检波器 .....	47
三、相乘检波电路 .....	48
四、三种检波电路的比较 .....	50
第五节 正交调幅与解调 .....	51
第六节 变频 .....	52
一、相乘混频电路 .....	52
二、晶体管混频电路 .....	54
三、二极管双平衡混频电路 .....	57
四、混频时产生的干扰 .....	60
习题及思考题 .....	62
<b>第三章 角度调制与解调</b> .....	<b>66</b>
第一节 调角信号的分析 .....	66
一、调频波和调相波的表示式 .....	66
二、调频波和调相波的基本性质 .....	67
三、调频波和调相波的频谱、频带宽度 .....	68
第二节 实现调频的基本原理和方法 .....	71
第三节 直接调频电路 .....	72
一、变容二极管调频器 .....	72
二、积分式调频振荡器 .....	76
第四节 间接调频电路 .....	77
一、可变移相法调相电路 .....	78
二、可变时延法调相电路 .....	79
第五节 扩展线性频偏的方法 .....	81
第六节 频率解调的基本原理和方法 .....	82
第七节 鉴频电路 .....	83
一、单失谐回路斜率鉴频器 .....	83
二、双失谐回路斜率鉴频器 .....	87
三、集成电路中应用的斜率鉴频器 .....	90
四、相位检波型相位鉴频器 .....	91
五、脉冲计数式鉴频器 .....	94
习题及思考题 .....	97
<b>第四章 波形变换</b> .....	<b>99</b>
第一节 直流电平变换电路 .....	99
一、直流电平移动电路 .....	99
二、箝位电路 .....	100
第二节 任意波形变为方波 .....	103
一、过零比较器变换 .....	103
二、迟滞比较器变换 .....	104
第三节 方波变换成三角波 .....	105
第四节 方波变换成锯齿波 .....	107

第五节 三角波变换成正弦波	107
一、折线逼近法	107
二、滤波法	111
三、幂级数法	113
第六节 ICL8038 简介	119
第七节 脉宽调制波的变换	122
一、模拟电压变换成脉宽调制波的原理	123
二、脉宽调制正弦波的产生	124
习题及思考题	125
<b>第五章 反馈控制电路</b>	<b>127</b>
第一节 自动幅度控制电路	127
一、接收机中的自动增益控制	127
二、振荡器中的自动稳幅	133
第二节 自动频率控制	134
一、自动频率控制的原理	134
二、具有自动频率控制的调频电路	135
三、自动频率控制电路的特点	136
第三节 自动相位控制——锁相环的工作原理	138
一、锁相环的构成及工作原理	138
二、锁相环的基本部件	139
三、锁相环的相位模型和基本方程	142
四、一阶环路的图解分析	145
五、锁相环的线性化分析	150
第四节 锁相环的电路	153
一、异或门鉴相器	153
二、存储式边沿触发数字鉴相器	154
三、射极耦合张弛振荡器	159
四、集成锁相环电路	161
第五节 锁相环的典型应用	163
一、频率合成器	163
二、调频波的产生与解调	164
三、锁相环窄带滤波器	165
四、窄带跟踪滤波器	166
五、载波恢复	166
第六节 反馈控制电路的一般工作原理	168
一、反馈控制电路的典型方框图	168
二、反馈控制电路的主要特性	169
习题及思考题	169
<b>第六章 功率变换</b>	<b>171</b>
第一节 整流电路	171

一、单相半波整流 .....	171
二、单相全波整流 .....	172
三、单相桥式整流 .....	173
四、接有电容滤波器的整流电路 .....	174
五、接有复式滤波器的整流电路 .....	176
六、倍压整流 .....	177
七、整流器各主要指标的意义 .....	180
第二节 硅稳压管稳压器 .....	183
一、硅稳压管的主要特性 .....	183
二、简单的硅稳压管稳压电路 .....	186
第三节 线性稳压电源 .....	189
一、简单的串联式线性稳压电路 .....	189
二、附加有放大器的串联式线性稳压电路 .....	190
第四节 开关式稳压电源 .....	192
一、开关电源的基本组成 .....	192
二、DC/DC 变换器的基本类型 .....	193
三、控制电路 .....	200
四、功率因数校正电路 .....	202
五、谐振变换器 .....	204
习题及思考题 .....	208
<b>第七章 噪声、干扰及其抑制</b> .....	<b>210</b>
第一节 元器件内部噪声产生的原因及表示方法 .....	210
一、热噪声 .....	210
二、散弹噪声 .....	211
三、低频噪声 .....	212
第二节 噪声电路的计算 .....	213
一、多个噪声源作用于电路时的分析 .....	213
二、噪声系数 .....	214
三、放大器与电子器件的噪声等效电路 .....	216
第三节 减小电子电路内部噪声影响,提高输出信噪比的方法 .....	221
一、降低器件本身噪声的方法 .....	221
二、选用合适电路或设计特种电路 .....	222
第四节 减小元器件外部干扰,提高输出信噪比的方法 .....	223
一、来自电源的干扰及其抑制方法 .....	223
二、来自空间电磁耦合造成的干扰及其抑制方法 .....	225
三、公共地线连接不当造成的干扰及其抑制 .....	227
四、常见噪声、干扰的简单识别方法 .....	228
习题及思考题 .....	230
<b>参考文献</b> .....	<b>231</b>

# 绪 论

## 一、通信系统的一般组成

本书讲述通信电路,所论及的通信系统是指“电通信”。它包括电报、电话、广播、电视、雷达、遥测、遥控等。尽管通信系统的形式多种多样,但不外乎是把一个地方的信息传送到另一地方,所以通信系统的基本模式如图 0-1 所示。

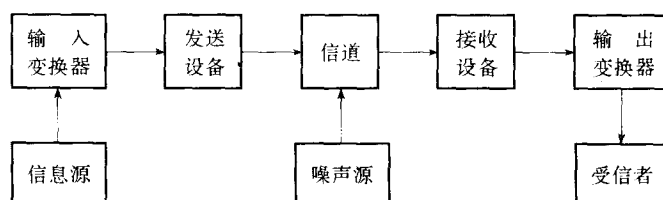


图 0-1 通信系统的基本模型

图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,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的信道可分为两大类,即有线信道和无线信道。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、地下及宇宙空间等。

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;一类是在时间持续不连续,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;而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。

### 1. 模拟通信系统

#### (1) 典型模拟通信系统

图 0-2 是模拟通信系统的典型框图,将它和图 0-1 比较,可以看出,图 0-1 中的发送设备在图 0-2 中换成了调制器,图 0-1 中接收设备在图 0-2 中换成了解调器。

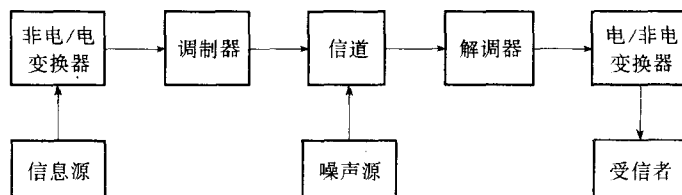


图 0-2 模拟通信系统典型方框图

上述调制和解调器的功能,以无线广播为例来说明。

无线电广播所需发送的信号是人的语声或音乐。为使天线能有效地发送和接收电磁波,天线的几何尺寸比必须和信号波长相比拟,一般不宜短于  $1/4$  波长。音频的频率范围为  $20\text{ Hz} \sim 20\text{ kHz}$ ,对应的波长为  $15\ 000 \sim 15\text{ km}$ 。如果要将这一信号通过天线辐射到空间或接收下来,则要制造长度为  $3\ 750 \sim 3.75\text{ km}$  的天线。这是无法实现的。除了这一困难之外,还由于各个电台同时工作时,所发送的信号处于同一频率范围,人们从接收机的扬声器中,将同时听到各个电台送来的声音信号。如果各个声音信号大小差不多,则哪一个节目的信号也听不清楚;而如果信号大小不同,则根据发射电台功率大小和距接收地点远近不同,只能听到那个音量最大电台的节目。

解决上述问题的方法是在发送端加调制器。将变换器输出的频率较低的所谓基带信号,对一个高频信号进行调制。以高频信号为载体,调制后的高频信号,含有基带信号的信息。天线发送的是高频信号,天线的尺寸无需很大,易于实现。另外,各电台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,将它们区别开来。接收端选出所需高频信号,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 0-3(a)和(b)分别为最简单的无线电广播发送和接收系统的方框图。

由各方框之间所示波形可以对各方框的功能一目了然。图 0-3(a)中缓冲级实质上是一种吸收功率很小、工作稳定的放大级,其作用是保证主振荡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器。传声器是将语声变为电信号的变换器。

图 0-3(b)中的高频小信号放大器除了放大所需频率的信号,还应抑制不需要频率的信号。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。

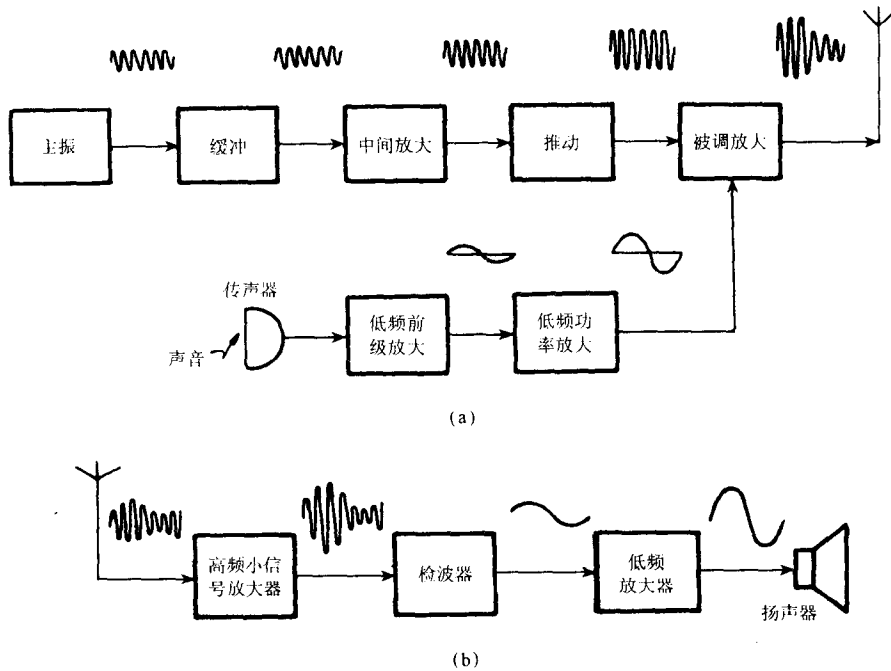


图 0-3 简单的无线电广播发送和接收系统方框图

图 0-3(a)是原始的直接放大式接收机。现已被图 0-4 所示的超外差式接收机所取代。

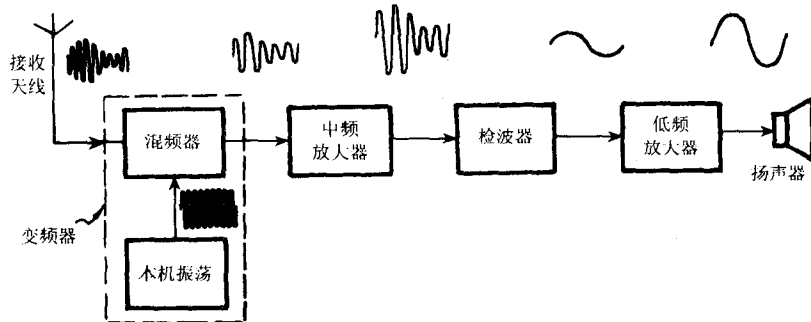


图 0-4 超外差式接收机方框图

图 0-3(b)中的高频小信号放大器,在图 0-4 中被变频器加中频放大器所取代。天线接收到的高频信号  $u_s$ , 根据需要的节目不同而具有不同频率。经过混频器后,和本机振荡所产生的电压  $u_L$  进行混频,所得到的输出电压  $u_i$ ,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信号载波频率  $f_s$  和本机振荡频率  $f_L$  之差。这个新的载波频率  $f_i$  叫做中频。所要接收的载波频率  $f_s$  改变时,可以调节本机振荡频率  $f_L$ ,使  $f_i = f_L - f_s$  保持为某一数值较低而且固定的频率。这样一来。可以将中频放大器制成固定工作频率的高增益放大器,和图 0-3(b)相比,在那里要制作一个频率可变增益高,而且工作频率也高的放大器,无论是技术难度或造价,都要高得多。这就是为什么现代接收机,广泛采用超外差式的原因。

## 2. 数字通信系统

### (1) 数字通信系统的组成

图 0-5 为数字通信系统组成方框图。和模拟通信系统相比,数字通信系统除增加 A/D 和 D/A 变换器及编、解码器外,其系统的主体模型和模拟通信系统没有什么不同。

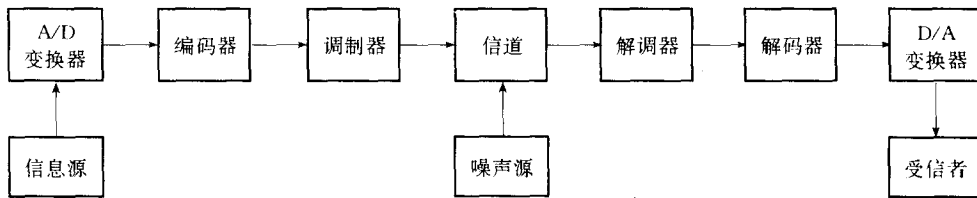


图 0-5 数字通信系统组成方框图

### (2) 典型数字通信机

图 0-6 为典型数字通信机的组成方框图。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  $\Delta M$  编码兼有 A/D 变换和编码的功能,而  $\Delta M$  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。图中加密和解密是数字通信中提高通信保密性的一种措施。

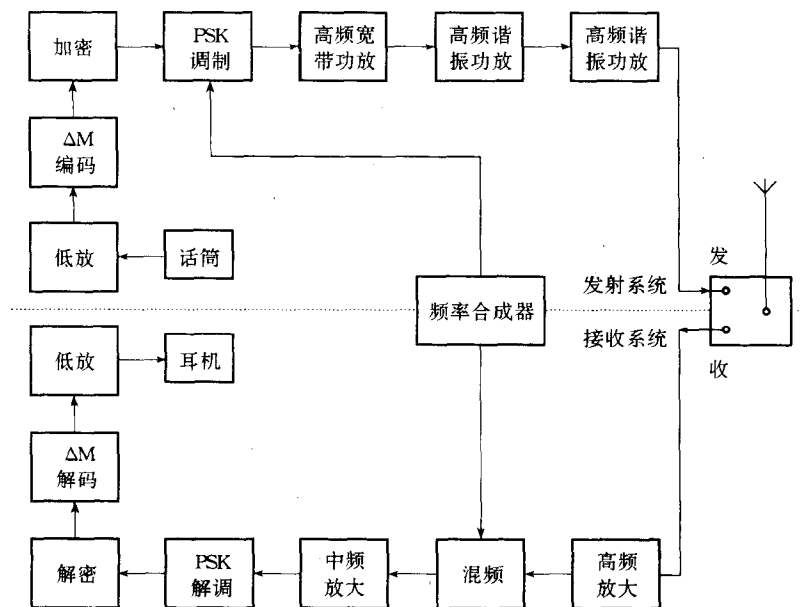


图 0-6 典型数字通信机组组成方框图

## 二、本课程的主要内容

以上各通信系统的方框图中标出的放大器、振荡器,属于电子电路基础课的内容,作为

一种特殊的振荡器——频率合成器,将在本书第五章讲述。A/D, D/A 变换在数字电路课中介绍。编码和解码在数字电路课中有初步介绍。编、解码深入一步的探讨和加、解密在通信系统原理课中讲授。

属于本书范畴的内容,是调制和解调及变频。作为一个可以实用的通信系统,仅有前述方框图中的一些功能块是不够的。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,这种增益由人工手动是很不方便的,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、发之间的信号在相位关系保持一致,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。

在通信系统中,有时需要对信号进行波形变换,例如数字通信电路中,为了消除噪声干扰,采用的所谓“判决”电路,便是波形变换电路。本书设有“波形变换”一章。

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。

电子电路基础一课中所讲述的放大器,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。本书第一章,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。

本书内容限于通信技术涉及的带专业性的电路,至于模拟通信和数字通信两大类型方式各自的优缺点,以及通信技术的发展等问题在通信系统原理一课中有详细的论述,不属本课程的范畴。



# 第一章 通信电路中的宽带放大器

本章将要介绍的宽带放大器,是指工作频率处于若干兆赫的放大器。它和电子电路基础中介绍的宽带放大器的主要不同点在于:那里的宽带放大器,其下限工作频率延伸至零频;而本章所介绍的宽带放大器,其下限工作频率也可能高达若干兆赫。这种宽带放大器的特征是它的带宽  $BW$  和中心工作频率  $f_0$  之比大于 0.1;而  $BW$  与  $f_0$  之比小于 0.1 的放大器,称为窄带放大器。

## 第一节 传输线

这里所指的传输线泛指传输电信号的导线,它可以是由对称的平行导线、双绞线组成,也可以是电缆。

当导线有电流通过时,便会在它的周围产生磁场而存储磁能,因而一根导线便等效为一个电感。两根导线之间加有电压时,在它们之间产生电场而储存电能,因而这样的两根导线便等效为一个电容。由此可见,组成传输线的导线,既有电感,又有电容。通常将连接元器件的导线看作短路线,是因为导线的长度相对于信号的波长来说很短。当导线的长度和信号的波长可比拟时,便再也不能把导线看作短路线,而必须考虑其既具有电感,又具有电容的特性了。

### 一、均匀传输线方程式

在研究传输电信号的导线时,必须注意:和电信号有关的磁场和电场是沿全线分布的,并且电磁能转成热能的变换也是沿全线进行的。这一类电路称为分布参数电路。与此对应的所谓集中参数电路,当电信号通过时,往往表现为磁场能量远比电场能量大;或者反过来。再就是储存的电磁能远比转换为热能的能量大;或者反过来。

现来研究图 1-1 所示的均匀传输线,导线的电阻和电感以及导线间的漏电导和电容,是均匀地沿其长度分布的,以  $r$  和  $L$  代表一条双导线单位长度的电阻和电感,而以  $g$  和  $C$  代表二线的单位长度的漏电导和电容。在下面的分析和讨论中,假定  $r, g, L$  和  $C$  都是常数。值得指出的是双线的电感量的计算,两根线除了各有自感之外,还有互感。对于一对平行导线,当外加信号,流过有电流时,两条导线的电流流向相反,因而互感为负,故总的电感是自感与互感相减。

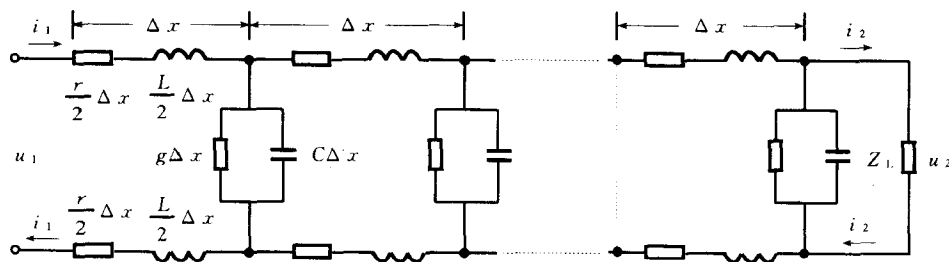


图 1-1 均匀传输线