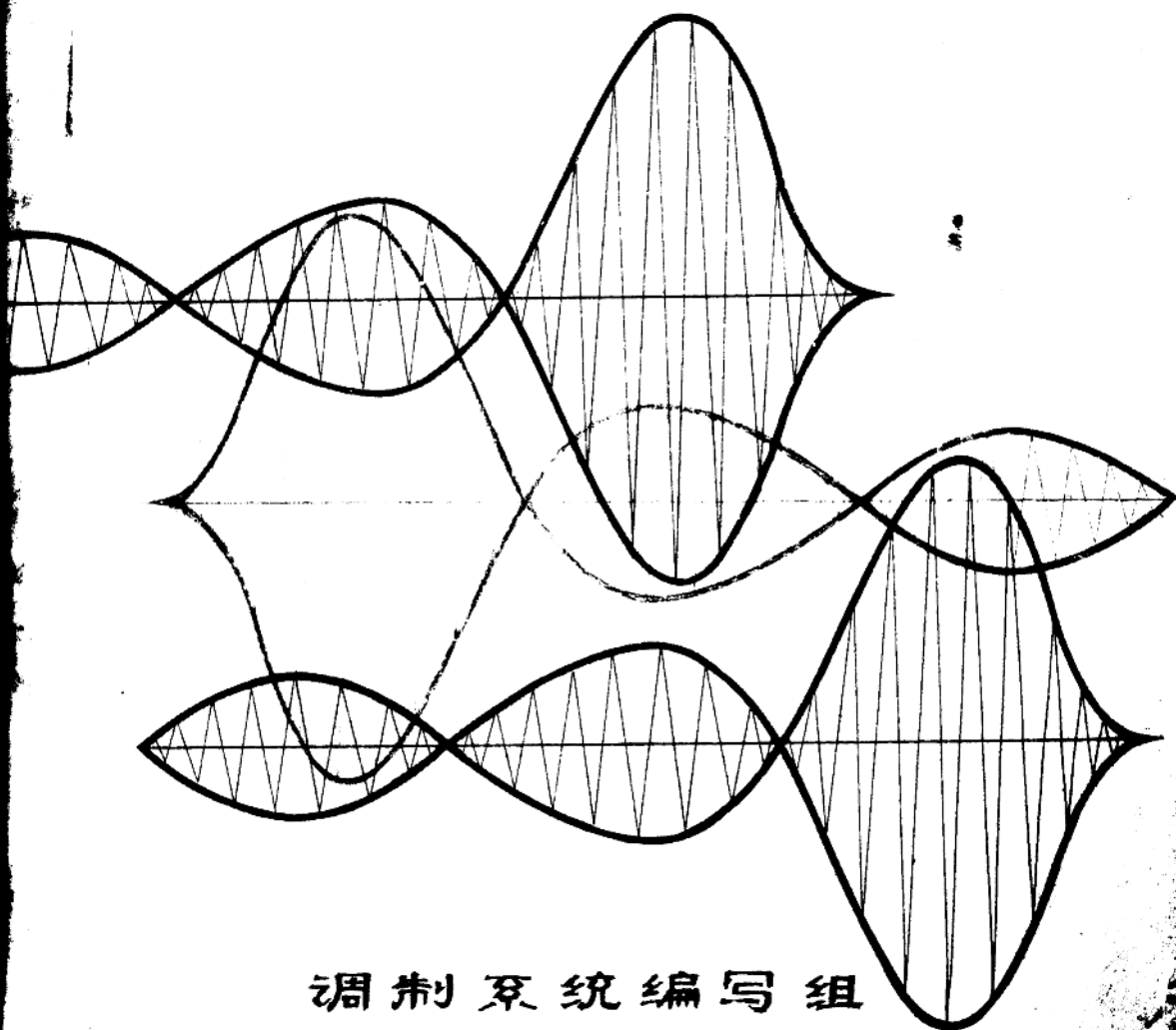


调·制·系·统

上 册



调制系统编写组

第一章 调制系统概述

| | | |
|-----|---------------|------|
| 1-1 | 通信系统模型及调制系统类别 | 1-1 |
| 1-2 | 信道特性及对调制系统的影响 | 1-5 |
| 1-3 | 调制系统的发展前景 | 1-20 |

第二章 基带系统

| | | |
|-------|----------------|------|
| 2-1 | 基带传输原理 | 2-1 |
| 2-1-1 | 信号通过线性系统 | 2-1 |
| 2-1-2 | 取样定理 | 2-4 |
| 2-1-3 | 基带传输模型 | 2-9 |
| 2-1-4 | 奈奎斯特准则 | 2-11 |
| 2-1-5 | 实用基带波形 | 2-16 |
| 2-1-6 | 最佳传输系统 | 2-21 |
| 2-1-7 | 均衡 | 2-23 |
| 2-2 | 模拟基带信号简介 | 2-28 |
| 2-3 | 二进制基带信号 | 2-35 |
| 2-3-1 | 单极性归零制与极性非归零制 | 2-35 |
| 2-3-2 | 非归零传号制 (NRZ-M) | 2-43 |
| 2-3-3 | 非归零空号制 (NRZ-S) | 2-44 |
| 2-3-4 | 单极归零制 (RZ) | 2-44 |
| 2-3-5 | 双相电平制 (BIΦ-L) | 2-45 |
| 2-3-6 | 双相传号制 (BIΦ-M) | 2-47 |
| 2-3-7 | 延迟调制 (DM) | 2-48 |
| 2-4 | 三进制及伪三进制 | 2-49 |
| 2-4-1 | 概述 | 2-49 |
| 2-4-2 | 双极性归零制 | 2-51 |
| 2-4-3 | 双极性制 | 2-53 |

| | | |
|--------|------------------------------------|------|
| 2-4-4 | 分相双极性制 | 2-55 |
| 2-4-5 | 双码归零制 (DICODE RZ) | 2-56 |
| 2-4-6 | 双码非归零制 (DICODE NRZ) | 2-57 |
| 2-4-7 | 时间极性控制码 (TPC) | 2-58 |
| 2-4-8 | 归偏压制 (RB) | 2-58 |
| 2-4-9 | 双选三进制 (PST) | 2-59 |
| 2-4-10 | MB/NT 类码 ($M \leq 1.585n$) | 2-61 |
| 2-4-11 | 长度可变三进制码 | 2-72 |
| 2-4-12 | 填补双极性码 | 2-74 |
| 2-5 | 多电平相关编码 | 2-83 |
| 2-5-1 | 多电平相关编码原理和分类 | 2-83 |
| 2-5-2 | 双二进制 | 2-88 |
| 2-5-3 | 改进的双二进制 | 2-93 |
| 2-5-4 | 二三进制 | 2-96 |
| 2-5-5 | 七电平非二进制相关纹号 | 2-99 |

第三章 线性系统

| | | |
|-------|-----------------------|------|
| 3-1 | 线性调制纹号 | 3-1 |
| 3-1-1 | 纹号的频率变换 | 3-2 |
| 3-1-2 | 线性调制纹号的一般分析 | 3-4 |
| 3-2 | 模拟调幅纹号 (一般调幅纹号) | 3-7 |
| 3-2-1 | 模拟调幅纹号的频谱 | 3-9 |
| 3-2-2 | 振幅键控纹号 | 3-11 |
| 3-2-3 | 调幅纹号的产生及解调 | 3-14 |
| 3-3 | 抑制载波双边带调制纹号 | 3-15 |
| 3-3-1 | 抑制载波双边带调制纹号的特征 | 3-15 |
| 3-3-2 | 双边带纹号的解调 | 3-18 |
| 3-4 | 单边带调幅纹号 | 3-20 |
| 3-4-1 | 单边带纹号的一般特征 | 3-21 |
| 3-4-2 | 单边带纹号的频谱及波形 | 3-22 |

| | | |
|-------|-------------------------|------|
| 3-4-3 | 单边带信号的产生及解调 | 3-26 |
| 3-4-4 | 下分响应边带调制 | 3-28 |
| 3-5 | 残留边带调制信号 | 3-35 |
| 3-5-1 | 残留边带调制的一般特性 | 3-35 |
| 3-5-2 | 残留边带信号的波形及频谱 | 3-36 |
| 3-5-3 | 残留边带信号的产生及解调 | 3-37 |
| 3-5-4 | 恢复载频的几种方法 | 3-40 |
| 3-6 | 实际系统举例 | 3-45 |
| 3-6-1 | 203 数据装置〔残留边带调制〕 | 3-45 |
| 3-6-2 | AE-96 型调制解调器〔单边带调制〕 | 3-54 |
| 3-6-3 | 48KB/S 宽带数据传轨系统〔残留边带调制〕 | 3-57 |
| 3-6-4 | 多电平调幅传轨系统 | 3-62 |
| 3-6-5 | 数字回波调制 | 3-66 |

第四章 频率调制系统

| | | |
|-------|-------------|------|
| 4-1 | 调频信号的一般分析 | 4-1 |
| 4-1-1 | 调频信号的基本概念 | 4-1 |
| 4-1-2 | 调频信号的频谱分析 | 4-4 |
| 4-1-3 | 频率调制的优越性 | 4-14 |
| 4-2 | 数字频率调制信号 | 4-15 |
| 4-2-1 | 相位离散的二元移频信号 | 4-15 |
| 4-2-2 | 相位连续的二元移频信号 | 4-20 |
| 4-3 | 调频信号的调制与解调 | 4-29 |
| 4-3-1 | 调频信号的调制 | 4-29 |
| 4-3-2 | 调频信号的解调 | 4-30 |
| 4-4 | 调频信号举例 | 4-31 |
| 4-4-1 | 二元移频键控信号 | 4-31 |
| 4-4-2 | 多频移频键控信号 | 4-33 |
| 4-4-3 | 量化移频(QFM)信号 | 4-43 |



| | |
|------------------------------------|------|
| 4-4-4 具有多重特性的正交移频键号 | 4-53 |
| 4-4-5 最小移频键控 | 4-55 |
| 4-4-6 多模二进制相位连续的移频键控键号 | 4-75 |
| 4-4-7 互链压扩电话传轨方式 (Lincompex) | 4-79 |

第五章 相位调制系统

| | |
|--------------------------------------|------|
| 5-1 相位调制与频率调制的关系 | 5-1 |
| 5-2 数字相位调制键号的一般原理 | 5-3 |
| 5-2-1 什么是数字相位调制 | 5-3 |
| 5-2-2 绝对相移与相对相移 | 5-4 |
| 5-3 二相差分移相键号 | 5-5 |
| 5-3-1 二相移相键号的分析 | 5-5 |
| 5-3-2 二相差分移相键号的调制与解调 | 5-9 |
| 5-4 多相移相调制键号 | 5-13 |
| 5-4-1 相干四相调制键号 | 5-14 |
| 5-4-2 差分四相调制键号 | 5-16 |
| 5-4-3 八相和十六相差分移相键号 | 5-31 |
| 5-5 频率差分移相键号 | 5-40 |
| 5-5-1 频率差分移相键控的原理 | 5-41 |
| 5-5-2 频差分移相调制的应用 | 5-46 |
| 5-6 其它类型的移相键号 | 5-56 |
| 5-6-1 两次移相技术 | 5-56 |
| 5-6-2 采用巴克码的双相调制 | 5-57 |
| 5-6-3 采用半编码技术的移相键控 | 5-59 |
| 5-6-4 多重锁定 (Multilock) 移相 | 5-61 |
| 5-6-5 判据引导法移相键控 (DDM-PSK) | 5-62 |
| 5-6-6 正交参改移相键控 时间/频率差分移相 键控 | 5-63 |
| 5-6-7 变速多方式相位调制解调口 | 5-69 |

第六章 脉冲调制

| | |
|--|------|
| 6-1 脉冲振幅调制 (PAM) | 6-1 |
| 6-1-1 自然取样 | 6-3 |
| 6-1-2 瞬时取样 | 6-6 |
| 6-1-3 脉冲振幅调制信号的传输 | 6-11 |
| 6-2 脉冲持续时间调制 (PDM) | 6-11 |
| 6-2-1 PDM 信号的产生 | 6-12 |
| 6-2-2 PDM 的频谱 | 6-14 |
| 6-2-3 PDM 信号的解调 | 6-18 |
| 6-3 脉位调制 (PPM) | 6-20 |
| 6-4 脉码调制 (PCM) | 6-22 |
| 6-5 增量调制 (ΔM) | 6-27 |
| 6-6 几种实际的脉冲调制系统 | 6-31 |
| 6-6-1 抑制时钟脉宽调制 | 6-31 |
| 6-6-2 高速脉位调制数字系统 | 6-35 |
| 6-6-3 Race P 脉位调制系统 | 6-39 |
| 6-6-4 量化脉冲调制 (QPPM-AM) 系统与量化脉 位调制—调频 (QPPM-FM) 系统 | 6-43 |

第七章 混合调制系统

| | |
|---------------------------|------|
| 7-1 调幅+调相 (APK) | 7-1 |
| 7-1-1 一般原理 | 7-1 |
| 7-1-2 信号的分类与构造 | 7-5 |
| 7-1-3 解调的一般方法 | 7-16 |
| 7-1-4 各类调幅调相系统的性能比较 | 7-22 |
| 7-2 脉幅+相位 (PAPM) | 7-24 |
| 7-2-1 一般原理 | 7-24 |
| 7-2-2 映射过程 | 7-27 |
| 7-2-3 实际应用举例 | 7-30 |

| | | |
|-------|------------------|------|
| 7-3 | 调幅+移频 (AM+FS) | 7-34 |
| 7-4 | 四维调制 | 7-38 |
| 7-4-1 | 一般原理 | 7-38 |
| 7-4-2 | 解调口的实施 | 7-41 |
| 7-5 | 调制与编码结合系统 | 7-44 |
| 7-5-1 | 概述 | 7-44 |
| 7-5-2 | Codem I 的调制方法 | 7-46 |
| 7-5-3 | Codem I 的编码方法 | 7-50 |
| 7-5-4 | 实现 9600bit/s 的方法 | 7-51 |
| 7-6 | 多功能调制解调 | 7-53 |
| 7-6-1 | 设计模型 | 7-54 |
| 7-6-2 | 微处理机的实施 | 7-66 |

第八章 巨宽频谱调制系统

| | | |
|-------|---------------|------|
| 8-1 | 概述 | 8-1 |
| 8-2 | 伪噪声系统 | 8-5 |
| 8-2-1 | 单址伪噪声系统 | 8-5 |
| 8-2-2 | 多址伪噪声系统 | 8-13 |
| 8-2-3 | 伪噪声系统的应用举例 | 8-18 |
| 8-2-4 | 脉冲填补展宽频谱技术 | 8-24 |
| 8-2-5 | 移相—移频键控巨宽频谱技术 | 8-27 |
| 8-3 | 跳频系统 | 8-31 |
| 8-4 | 跳时系统 | 8-49 |
| 8-5 | 混合系统 | 8-49 |
| 8-5-1 | 跳时/伪噪声系统 | 8-49 |
| 8-5-2 | 跳频/伪噪声系统 | 8-57 |
| 8-5-3 | 跳时/跳频系统 | 8-58 |
| 8-5-4 | 跳频/伪噪声/跳时系统 | 8-61 |
| 8-6 | 其他巨宽频谱系统 | 8-67 |
| 8-6-1 | 鸣叫系统 | 8-67 |

| | |
|------------------------|------|
| 一、线性脉冲调频系统 | 8-67 |
| 二、差分移相键控调制系统 | 8-71 |
| 三、频率图形键控调制系统 | 8-77 |
| 8-6-2 噪声带移键控调制系统 | 8-79 |
| 8-6-3 宽带调频系统 | 8-80 |

第九章 抗衰落调制技术

| | |
|--------------------------|------|
| 9-1 时间—频率调制 | 9-1 |
| 9-1-1 时频调制的原理 | 9-3 |
| 9-1-2 时频调制的其它类型 | 9-5 |
| 9-2 时间—频率—相位调制 | 9-6 |
| 9-2-1 时频相调制的原理 | 9-6 |
| 9-2-2 介绍几种时频相调制符号 | 9-7 |
| 9-3 雷德 (Rada) 通仪系统 | 9-12 |
| 9-3-1 雷德系统的基本原理 | 9-13 |
| 9-3-2 几种典型的雷德通仪系统 | 9-26 |
| 9-4 多径分离技术 Reke 系统 | 9-43 |
| 9-4-1 多径分离技术的基本概念 | 9-44 |
| 9-4-2 瑞克系统的发送与接收原理 | 9-46 |

第十章 交织复用技术

| | |
|--------------------------|-------|
| 10-1 复用技术的理论基础 | 10-1 |
| 10-2 多路复用技术 | 10-3 |
| 10-2-1 频分复用 | 10-3 |
| 一、电话符号的频分多路复用 | 10-3 |
| 二、电报符号 | 10-11 |
| 10-2-2 时分复用 | 10-15 |
| 一、模拟符号时分多路复用 | 10-15 |
| 二、电报 (数据) 符号时分多路复用 | 10-38 |
| 10-2-3 码分复用 | 10-50 |

| | |
|-------------------------|--------|
| 一、正弦波形正交系 | 10-50 |
| 二、勒让德多项式 | 10-53 |
| 三、沃尔什函数 | 10-56 |
| 10-3 多址通信 | 10-76 |
| 10-3-1 频分多址 | 10-76 |
| 一、简单的频分多址 | 10-76 |
| 二、数字式的频分多址 | 10-78 |
| (一) 斯派德方式 (SPADE) | 10-78 |
| (二) 每载波单信道 (SCPC) | 10-85 |
| 10-3-2 时分多址 | 10-87 |
| 10-3-3 码分多址 | 10-98 |
| 10-3-4 空分多址 | 10-100 |

第一章 调制系统概述

1-1 通信系统模型及调制系统类别

通信系统的种类繁多，型式不一，然而我们可用图 1-1 的模型加以概括。

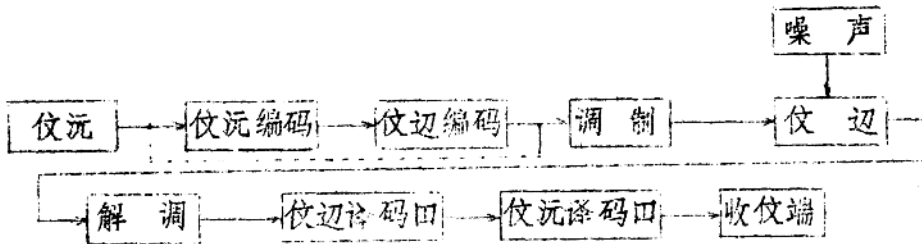


图 1-1 通信系统模型

图中实线是数字通信系统的模型，虚线是模拟通信系统模型。

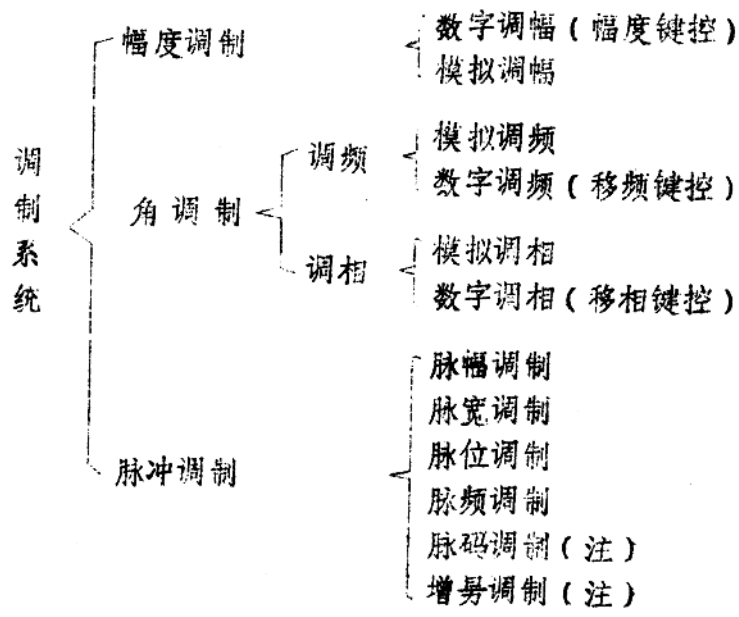
发信端是产生发信的人或机口，在收信端则是接收发信的人或机口，二者有时也称末端设备。在数字通信系统中，末端设备可有电传打字机、穿孔机、显示器、磁性记录设备或存储装置、计算机等等。

发信编码及发信译码的主要任务是解决数字化和提高数字发信的有效性。例如将模拟发信号变换为数字发信号的脉码调制、图样识别、发信压缩措施等都属于发信编译码。可以说，发信编码的目的是在一定保真度的条件下将模拟发信号数字化，并压缩原始发信所需的数据速率。

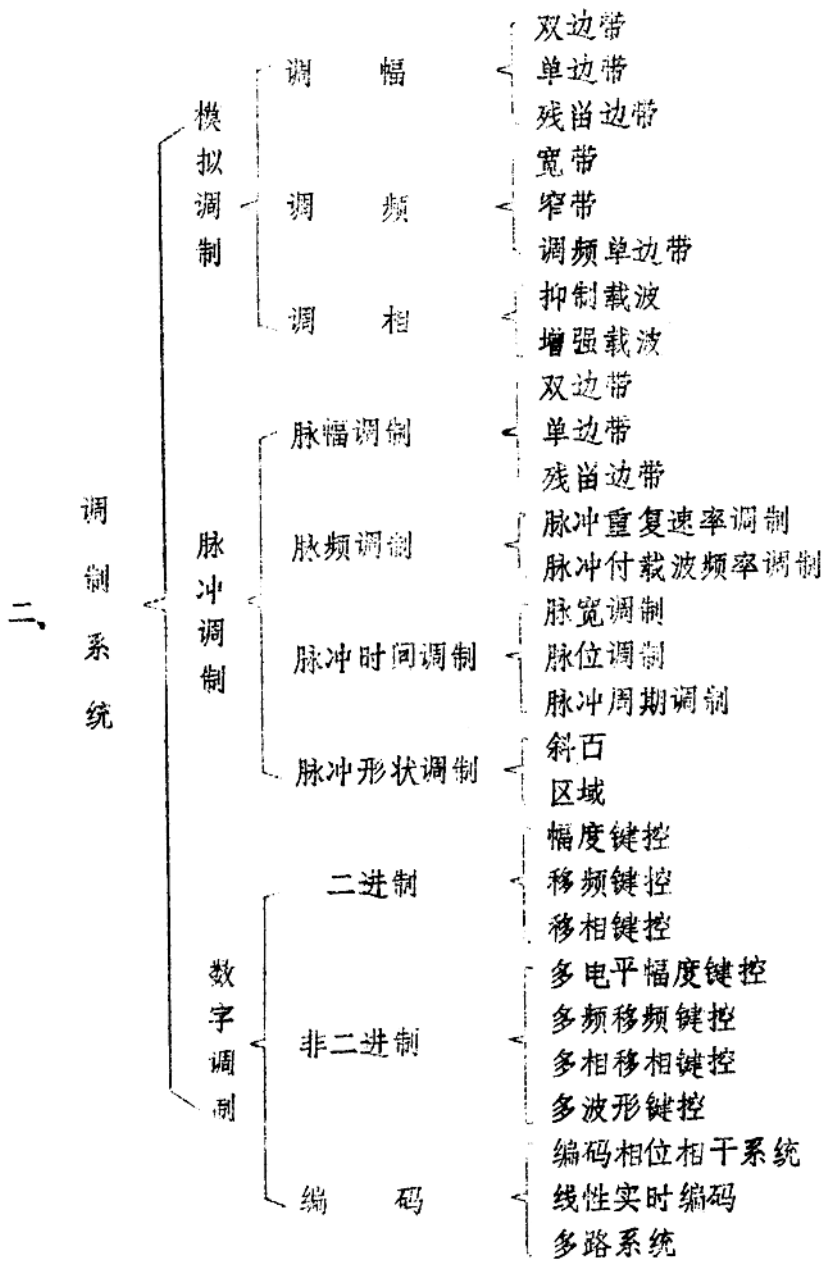
发信编译码主要解决可信性问题。我们常说的检纠错编码技术就是发信编译码。

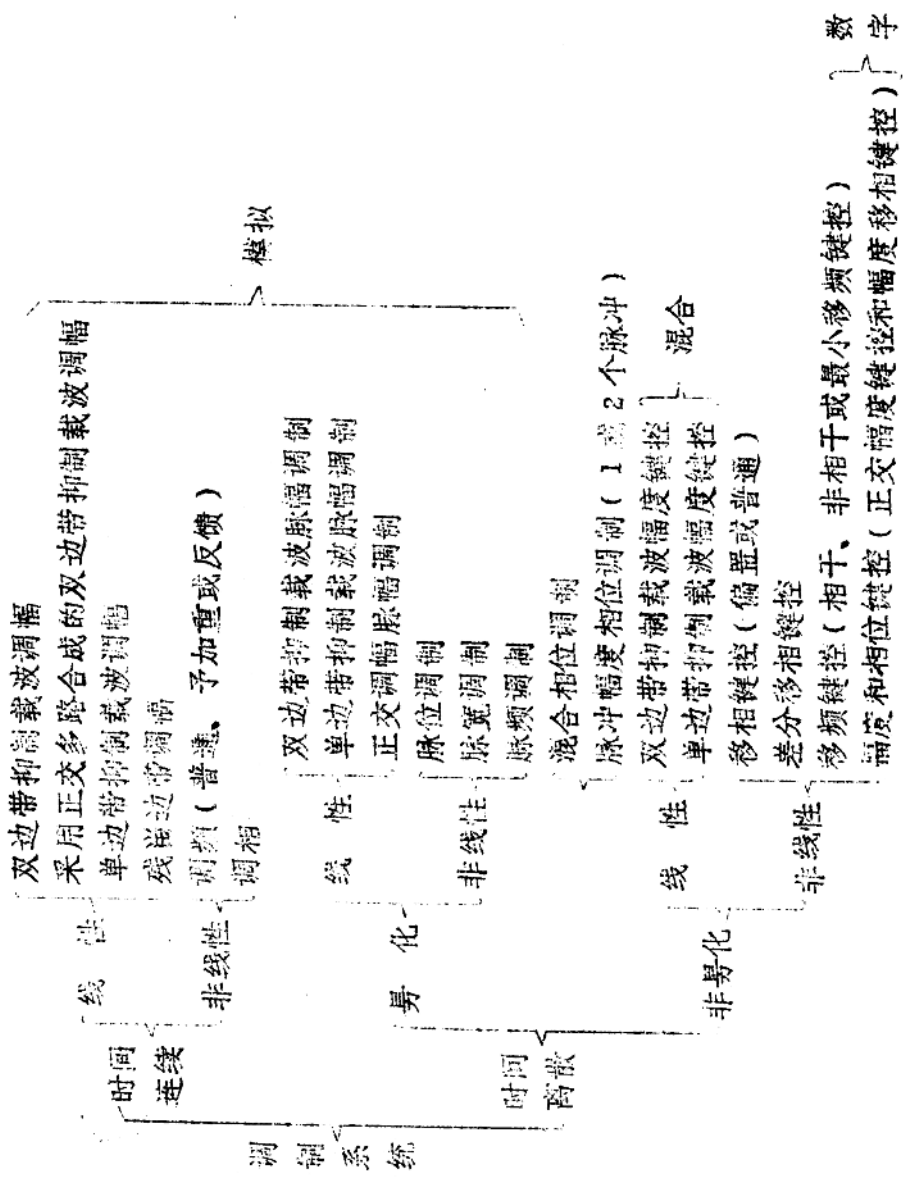
调制系统的功能是把原始发信号变为适合于某发信传输的信号。调制系统的方式对通信质量有很大影响，实际上调制方式的选择是发信形式选择的重要内容。

人们在长期的实践中，设计了多种多样的调制系统。如何将其分门别类，并无统一意见。现有如下几种分法(1)、(2)：



(注)：这两种调制常常归入模数变换技术。





三.

上述三种分类法，第一种是通常采用的方法，第二、第三种分类比较详细，且包括了近代下分研究成果，但尚未得到公认。为了编写方便，我们用第一种分类法，参照其他两种方法。

信道是用来传递电信号的媒质，是任何通信系统不可缺少的组成部分。信道对通信有两方面的影响，即信道本身传输特性的影响和外界干扰的影响。设计通信系统时，必须首先掌握信道特性，然后才能正确选择调制与编码方式。我们虽然不去设计通信系统，但要了解一种调制方式在什么场合使用有效，就必须对其使用环境（信道）有一概要了解。因此，在叙述调制原理和各类调制系统之前，熟悉一下信道特性是有必要的。

此外，一个完整的数字通信系统模型，还必须包括一个同步系统。

1-2 信道特性及对调制系统的影响 [3]、[4]、[5]

我们研究信道和噪声的目的，是要看它们对信号传输有什么影响，从而针对信道特性和噪声条件选择合适的传输方式。因此，对信道与干扰的认识是研究通信科学的基础，也可以这样说，通信科学的基本任务就是与信道的不理想及噪声干扰破坏作斗争。

1-2-1 信道和噪声的分类与信道模型

作为信道的媒质有很多种，典型的有架空明线、同轴电缆、地表波传播、外波电离层反射、对流层散射、微波视距传输、电离层散射、人造地球卫星中继、光纤等。此外近期尚有研究电磁在水下及地层中传播的可能性。各种信道的物理特性及形式都不同，而且差异很大。但是，不管什么样的信道，都可以抽象地等效为一个四端网络，如图 1-2 所示。这个四端网络的传递函数，一般可以表示为 $K(\omega, t)$ ，即它是频率 ω 及时间 t 的函数。输入信号一般可表示为 $e_i(\omega, t)$ ，

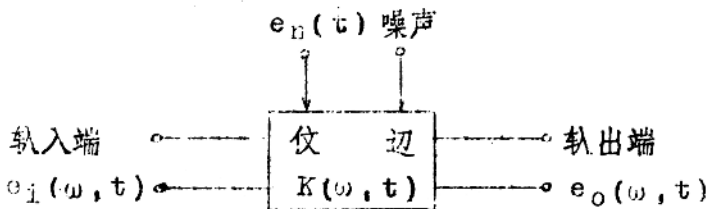


图 1-2 信道模型

那么轨出信号 $e_o(\omega, t)$ ，显然由下式确定。

$$e_o(\omega, t) = k(\omega, t) \cdot e_i(\omega, t) + e_n(t) \quad (1-1)$$

式中， $e_o(\omega, t)$ 为轨出信号， $e_i(\omega, t)$ 为轨入信号， $k(\omega, t)$ 为信道传递函数， $e_n(t)$ 为附加的噪声。

根据信道传递函数 $k(\omega, t)$ 的性质，可以把各种信道大致划分为两类：

一、恒参信道。当决定函数 $k(\omega, t)$ 的两个变量 ω 及 t 中，主要决定于 ω ，而与 t 关系较小时，或者说，在相当长的时间中， $k(\omega, t)$ 基本不变，这时就可把 $k(\omega, t)$ 简化为 $k(\omega)$ 。对于这种不随时间而变的信道叫做恒参信道，又叫时不变信道。架空明线、同轴电缆、地表波传播、微波视距传播属于此类信道。

二、变参信道。函数 $k(\omega, t)$ 与时间 t 有密切关系的信道，或者说，信道特性随时间而变的信道，称为变参信道，又叫时变信道。外波电离层反射、对流层散射是典型的变参信道。一般表现有如下特点：

- (一) 信道传输的衰减不恒定，有时衰落现象；
- (二) 信道传输时延不恒定，有所谓多普勒频移；
- (三) 有多径传输现象，在接收端迭加而造成快衰落和频率选择性衰落。

上述区分也是相对的、粗略的。绝对的恒参信道在自然界是不存在的。卫星通信总体来说是属于恒参信道，但也不是没有变化。如日出日落、降雨等都会影响传输特性。

目前对恒参信道，尤其对明线、电缆等已经研究得比较深入，而变参信道，则因其传输特性变化规律较复杂，至今还研究得不够深透。

经过人们对各种信道的长期考查，发现各类信道有以下几种共同的性质。

- (一) 信道可以有多个轨入和轨出端；
- (二) 绝大多数信道都是线性的；
- (三) 信号通过信道后必然附加干扰，换句话说，当信道没有信号轨入时，仍有一定的干扰功率轨出；

所有信道都有衰落、时延、频变等特性。

所以，更为一般的信道可用下式表示：

$$e_o(t) = \sum_{i=1}^k [k_{ij}(t)e_i(t) + e_{ni}(t)],$$

$$i = 1, 2, \dots, m \quad (1-2)$$

式中， $e_o(t)$ 是输出信号， $e_i(t)$ 是输入信号， k_{ij} 是决定于信道特性的函数，也可称为乘性干扰， $e_{ni}(t)$ 是附加的干扰，称为加性干扰。

乘性干扰又可分为慢乘性干扰与快乘性干扰。其中，慢乘性干扰对于我们所考虑的频带内的任何一个频率分量所产生的影响几乎完全相同。这种变化普遍存在于各种实际信道中。变化的原因一般与信道媒质本身的性质变化有关，如电离层昼夜变化，对流层的季节变化等。

加性干扰大多是噪声和干扰信号，如接收机内下噪声、天线噪声、天电干扰、大气噪声、干扰电台等等。这些干扰的形式和频谱是各式各样的。一般可分为高斯噪声、脉冲干扰和其它电台干扰等。

高斯噪声，这是常见的一种噪声。在通信系统设计时，往往以高斯噪声为代表性的噪声作为设计的参考。

我们知道，噪声是一种随机的信号，也就是他们不可预测的。“理想”的噪声是白噪声。实质上它是指这样一个随机过程，它的功率谱在整个频率范围内是均匀分布的（图 1-3 (a)）。显然这样一个随机过

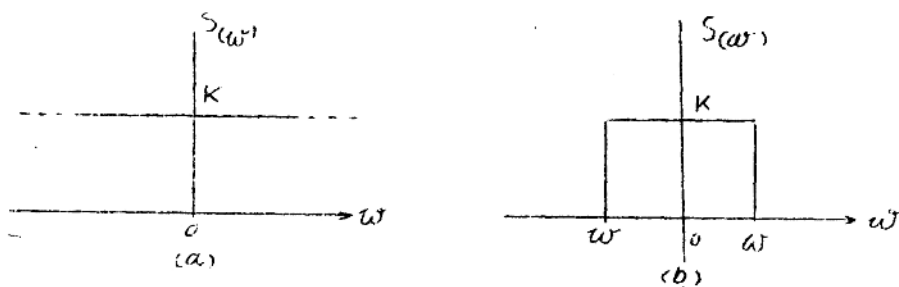


图 1-3 理想的和高斯噪声功率谱

程，其功率谱是无穷大。实际上，这是不存在的。所以我们说，白噪声是一种理想噪声。而现实中的噪声，往往是带宽有限或受限的，如图 1—3 (b)。高斯噪声也是一种带宽有限的噪声。

高斯噪声的主要特点是其概率密度是正态型或称高斯型。它在一定的频带内很近似于白噪声，即功率谱相对地较平坦，故亦称高斯白噪声或正态白噪声。电子元件内的热噪声和微波波段中的噪声，大多属于这种类型。

噪声对信号的影响是大家所熟悉的，主要是造成幅度、相位和频率等失真。

脉冲干扰，指时间上不重迭的脉冲形式的干扰。主要来源于天电干扰和工业干扰。它们的特点是，进入接收机高频系统的脉冲干扰最大振幅与输入端干扰频谱密度和该系统的带宽乘积成正比，而且带宽愈大，脉冲干扰衰减愈快。

电台干扰或其他人为电口干扰，往往参数（振幅、频率或相位）变化缓慢，同时频谱较集中，且易于识别。

1-2-2 恒参波道的传输特性

一、波道的传输损耗——幅频畸变

任何波道都有损耗，这是由传输媒质本身所决定的。而损耗又往往与波道的频率有关，不同频率，其损耗不等。这种关系称为幅频特性。由于此特性而对信号引起的失真称为波道的幅频畸变。

各种波道的幅频特性都不一样，如电缆、明线的特性差异从图 1—4 可以看出。

幅频特性在波道带宽内不是平坦的，往往在高频端损耗较中下大，也较低频端大。这样，常常使信号产生畸变。