# 第8章 通信系统

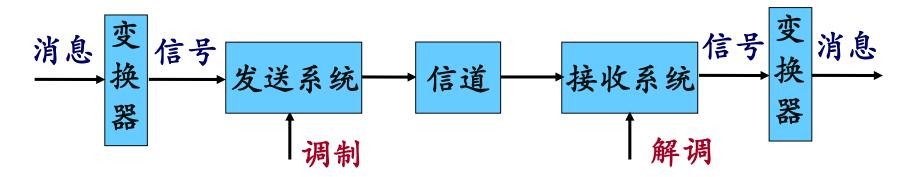
**Communication Systems** 

# 本章主要向客

- · 正弦幅度调制——DSB调制与AM调制。
- · 同步解调与包络解调; 频分复用 (FDM)。
- 单边带 (SSB) 幅度调制。
- · 脉冲串载波调制与时分复用(TDM)。
- · 脉冲幅度调制(PAM)与脉冲编码调制(PCM)。

### 8.0 引言 (Introduction)

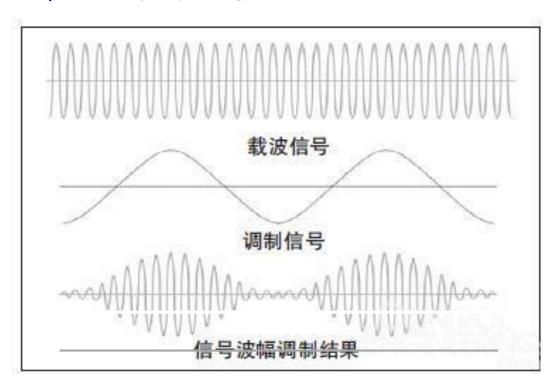
• 一般的通信系统由以下环节组成:



- 调制是指用一个信号去控制另一个信号的某一个参量的过程。
- -控制信号称为调制信号(Modulation Signal) ,也称为基带信号。
- -被控制的信号称为载波(Carrier Wave)。

### 8.0 引言 (Introduction)

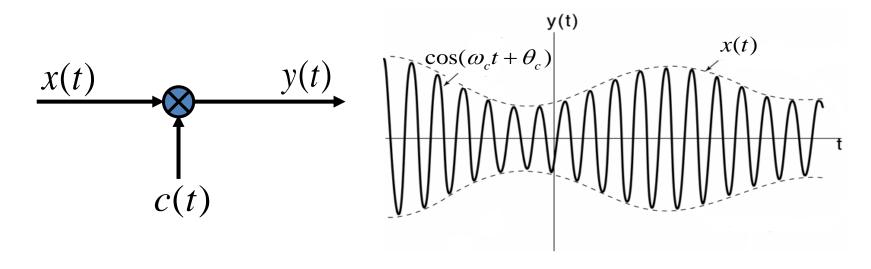
例:正弦幅度调制



· 8.1 正發傷意调制
Sinusoidal Amplitude Modulation

#### 8.1 正發幅產调制 Sinusoidal Amplitude Modulation

• 幅度调制的数学模型是乘法器。



- 其中x(t) 为调制信号(基带信号), c(t) 为载波, y(t) = x(t)c(t) 为已调信号。
- 当  $c(t) = \cos(\omega_c t + \theta_c)$  时称为正弦幅度调制。

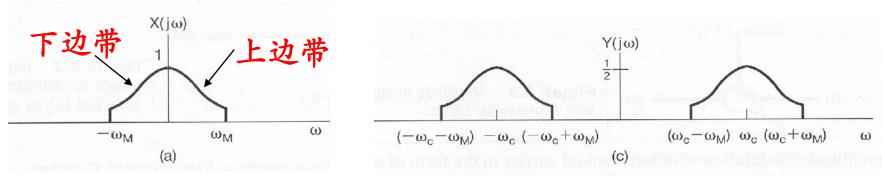
### 8.1 正弦幅意调制

- 若暂时不考虑载波的相位,即  $y(t) = x(t)\cos \omega_c t$
- 此时载波  $c(t) = \cos(\omega_c t)$  的频谱为:

$$C(j\omega) = \pi \left[ \delta(\omega - \omega_c) + \delta(\omega + \omega_c) \right]$$

• 则已调信号的频谱为:

$$Y(j\omega) = \frac{1}{2\pi}X(j\omega) * C(j\omega) = \frac{1}{2} \left\{ X \left[ j(\omega - \omega_c) \right] + X \left[ j(\omega + \omega_c) \right] \right\}$$

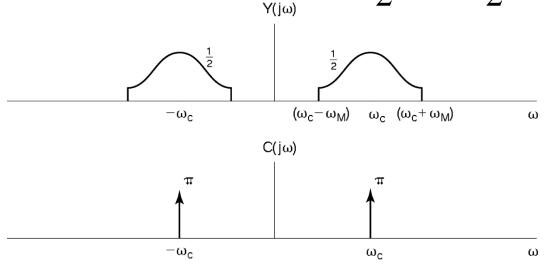


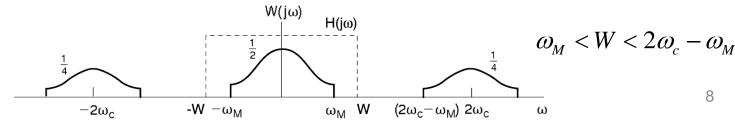
由于在已调信号的频谱中同时保留了基带信号的上、下两个边带,故称其为双边带(DSB)调制。

#### 8.2 正稱AM的解调 Demodulation for Sinusoidal AM

- 一. 同步解调 (Synchronous demodulation):
  - 将 y(t) 再次与同频载波相乘, 有:

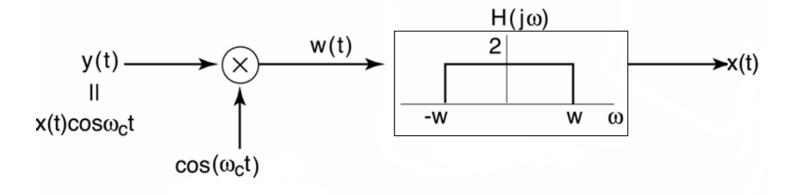
$$w(t) = y(t)\cos\omega_c t = x(t)\cos^2\omega_c t = \frac{1}{2}x(t) + \frac{1}{2}x(t)\cos 2\omega_c t$$





#### 8.2 正程AM的解调

- 只要滤掉第二项即可实现对 x(t) 的恢复。



#### • 技术关键:

- -解调端所用的载波必须与调制时的载波同频。
- 所用低通滤波器的截止频率要满足:

$$\omega_{M} < W < 2\omega_{c} - \omega_{M}$$

### 8.2 正發AM的解调

• 载波相位的影响:

假定调制时载波  $c_1(t) = \cos(\omega_c t + \theta_c)$ ,解调时载波  $c_2(t) = \cos(\omega_c t + \varphi_c)$ ,则

$$w(t) = x(t)\cos(\omega_c t + \theta_c) \cdot \cos(\omega_c t + \varphi_c)$$

$$= \frac{1}{2}x(t)\cos(\theta_c - \varphi_c) + \frac{1}{2}x(t)\cos(2\omega_c t + \theta_c + \varphi_c)$$

- 当  $\theta_c \varphi_c$  不随时间变化,而且  $\theta_c \varphi_c \neq \pm \pi/2$  时,  $\cos(\theta_c \varphi_c)$  是一个常数。此时,可以通过前面讨论的解调系统实现解调。
- 当 $\theta_c \varphi_c = \pm \pi/2$  时,由于 $\cos(\theta_c \varphi_c) = 0$  不能实现解调。

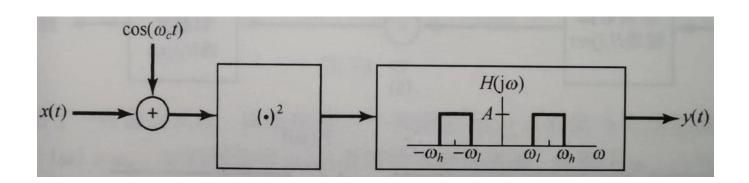
### 8.2 正程AM的解调

可见,必须要求调制和解调时所使用的载波不仅要严格同频,而且要同相(以保证相位差 $\theta_c - \varphi_c$ 与时间无关)。因此这种解调方法称为同步解调。

### 8.2 正程AM的解调

例:如下图所示这样一个用于幅度调制的非线性系统。该系统由以下两部分组成:先将调制信号和载波相加再平方,然后通过带通滤波获得幅度已调信号。

假设x(t)带限, $X(j\omega) = 0$ ,  $|\omega| > \omega_M$ 。 试确定带通滤波器的参数A, $\omega_l$ 和 $\omega_h$ ,使得y(t)就是用x(t)进行幅度调制的结果,即 $y(t) = x(t)\cos(\omega_c t)$ 。如果有,请给出对 $\omega_c$ 和 $\omega_M$ 必要的限制。



### 8.2 正發AM的解调

#### 解:

平方单元的输出为:

$$r(t) = [x(t) + \cos(\omega_c t)]^2 = x^2(t) + \cos^2(\omega_c t) + 2x(t)\cos(\omega_c t)$$
 带通滤波器应滤除 $x^2(t) + \cos^2(\omega_c t)$ ,而将 $2x(t)\cos(\omega_c t)$ 乘以 $0.5$ ,因此 $A = 0.5$ 。

由于信号 $2x(t)\cos(\omega_c t)$ 所处的频段为 $\omega_c - \omega_M \leq |\omega| \leq \omega_c + \omega_M$ ,  $x^2(t)$ 所处频段 $|\omega| \leq 2\omega_M$ ,  $\cos^2(\omega_c t)$ 只在 $\omega = 0$ 和 $\omega = \pm 2\omega_c$ 处有冲激,因此:

$$2\omega_M < \omega_l < \omega_c - \omega_M$$
$$\omega_c + \omega_M < \omega_h < 2\omega_c$$

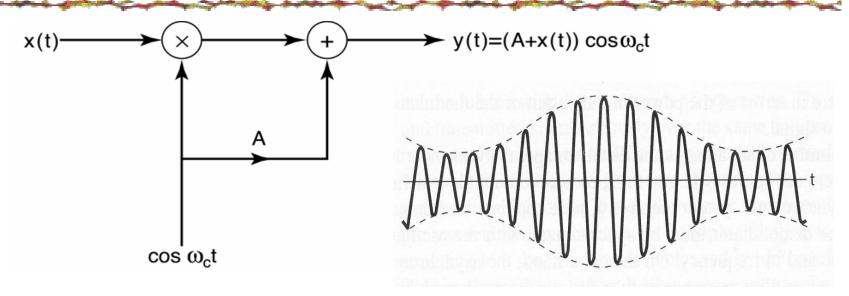
那 么  $\omega_c - \omega_M > 2\omega_M \Rightarrow \omega_M < \frac{\omega_c}{3}$ 同 时  $\omega_c + \omega_M < 2\omega_c \Rightarrow \omega_M < \omega_c$ ,所以

$$\omega_M < \frac{\omega_c}{3}$$

### 8.2 正發AM的解调

- · 二. 非同步解调(包络解调, Envelope Demodulation):
  - 要想从已调信号的包络解调出原基带信号,必须要求已调信号的包络完全保留基带信号的形状,即要求调制信号始终非负。为此,要在DSB调制方案中加入足够大的载波分量。

### 8.2 正程AM的解调

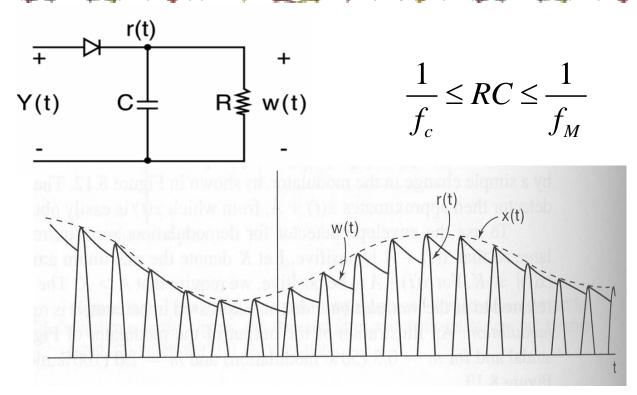


 $y(t) = [A + x(t)]\cos \omega_c t$ , 当  $A \ge \max_t \{|x(t)|\}$  时,即可保证  $A + x(t) \ge 0$ , 已调信号的包络将会保留 x(t) 的形状。

• 此时只需通过简单的包络检波器即可实现从已调信号中解调出 x(t)。

15

### 8.2 正程AM的解调



- 包络解调付出的代价是发送功率的浪费。因为加入的载波并不携带任何有用信息。
- 如果  $K = \max_{t} \{ |x(t)| \}$  ,定义 m = K/A 为调制指数 . 显然应该有  $0 < m \le 1$  。

· 8.3 频分多路复用(FDM)
Frequency Division Multiplexing

#### 8.3 频分多路复用(FDM) Frequency Division Multiplexing

X<sub>a</sub>(jω)

 $X_b(j\omega)$ 

 $\omega_{M}$ 

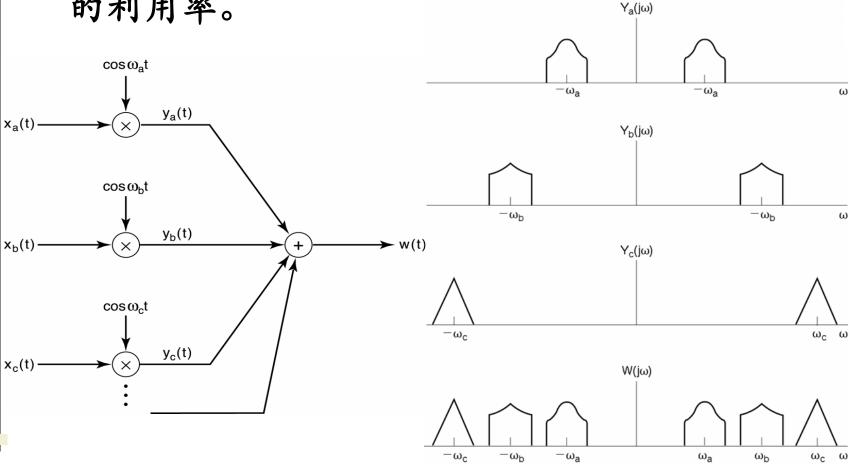
 $\omega_{\mathsf{M}}$ 

 $X_c(j\omega)$ 

 $\omega_{M}$ 

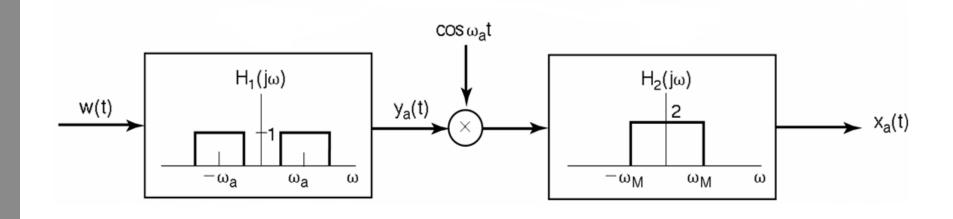
 $-\omega_{\mathsf{M}}$ 

频分复用可以大大 提高信道频率资源 的利用率。



# 8.3 频分多路复用(FDM)

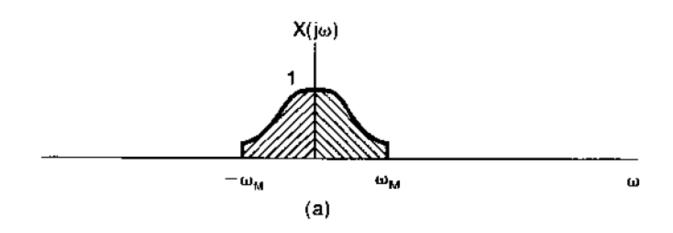
 对频分多路复用信号解调时,首先要解复用:从 复用信号的频谱中利用带通滤波器滤出所需的一 路信号,然后对该路信号进行解调。

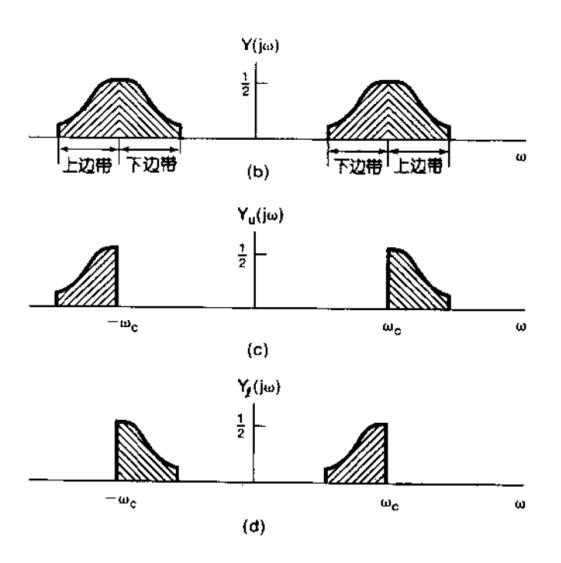


#### 频分多路复用信号的解调

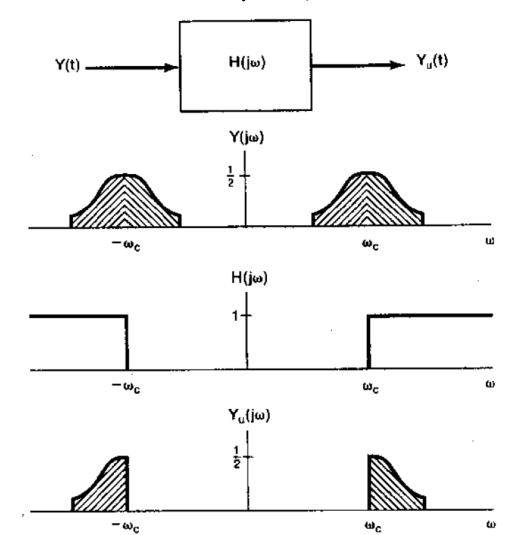
· 8.4 单边带调制

- 实信号的频谱为共轭偶函数
- 调制信号的频宽  $2\omega_{\scriptscriptstyle M}$  含有冗余信息
- 可将冗余部分除掉, 称为单边带调制

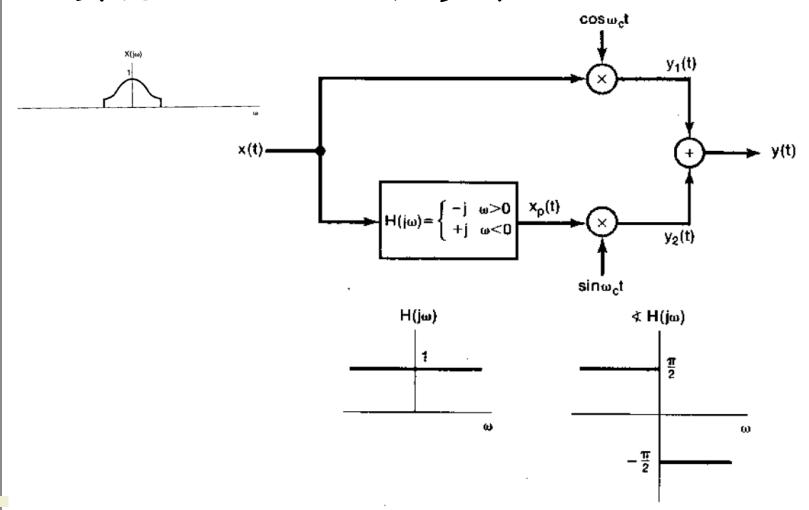




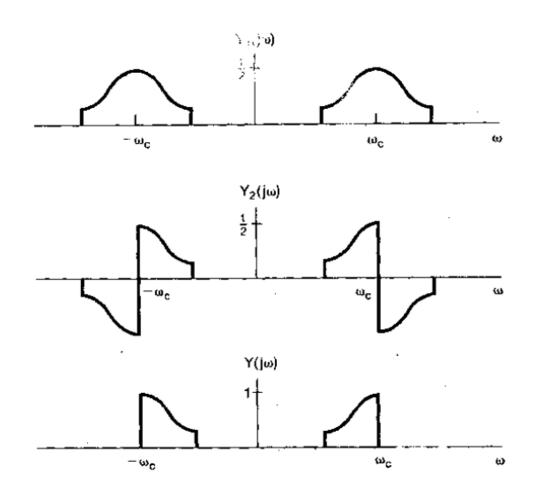
• 实现方法一: 理想高通滤波器



• 实现方法二: 90°相移网络



• 实现方法二: 90°相移网络

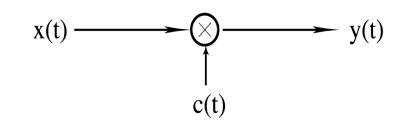


· 8.5 脉冲串作载波的幅度调制 Amplitude Modulation with a Pulse-Train Carrier

#### 8.5 脉冲串作载波的幅度调制

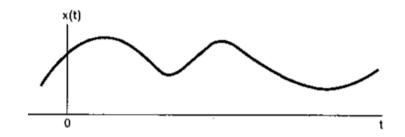
#### **Amplitude Modulation with a Pulse-Train Carrier**

· 一.脉冲串载波调制: 幅 度调制的载波信号是脉 冲串。



• 频域分析:

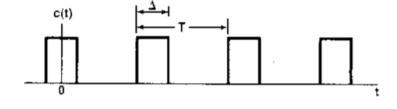
$$C(j\omega) = 2\pi \sum_{k=-\infty}^{\infty} a_k \delta(\omega - \frac{2\pi}{T}k)$$

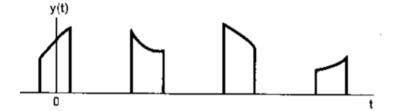


其中:

$$a_k = \frac{\Delta}{T} \operatorname{sinc}(\frac{\Delta}{T}k)$$

$$=\frac{\sin\frac{\Delta\pi}{T}k}{\pi k}$$





# 8.5 脉冲串作载波的幅度调制

$$C(j\omega) = 2\pi \sum_{k=-\infty}^{\infty} a_k \delta(\omega - \frac{2\pi}{T}k)$$

$$Y(j\omega) = \frac{1}{2\pi} X(j\omega) * C(j\omega)$$

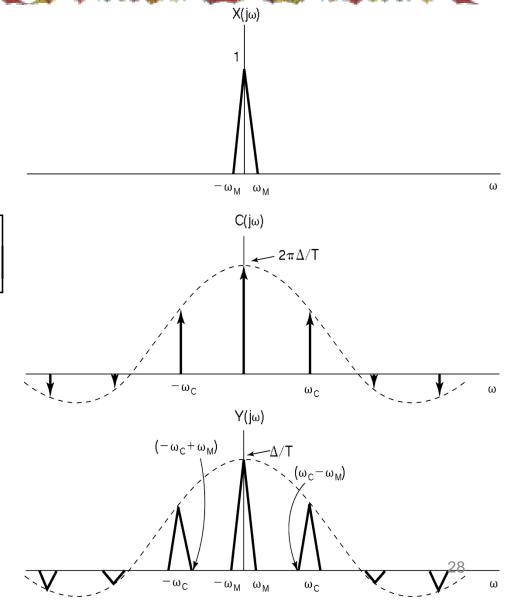
$$=\sum_{k=-\infty}^{\infty}a_kX\left[j(\omega-\frac{2\pi}{T}k)\right]$$

• 要求

$$2\omega_{\scriptscriptstyle M} < 2\pi/T$$

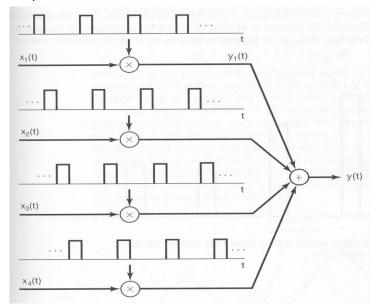
• 低通截止频率W满足:

$$\omega_{M} < W < \omega_{c} - \omega_{M}$$



# 8.5 脉冲串作载波的幅度调制

- 二. 时分多路复用 (Time-Division Multiplexing):
  - -脉冲串载波调制时能否解调出x(t),与脉宽 $\Delta$ 无关。
  - 从时域角度,在一个周期内可以为每一路信号分配一个时隙,只要各路信号的时隙彼此不重叠,就可以实现多路信号的同时传送。



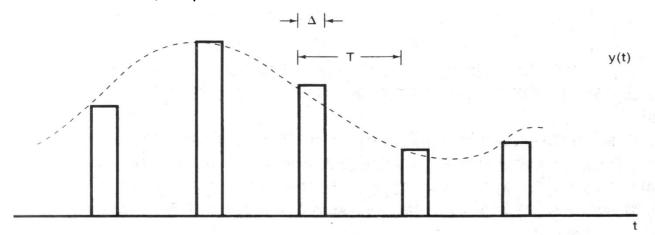
时分多路复用

• 8.6 脉冲幅度调制 (PAM)
Pulse-Amplitude Modulation

#### 8.6 脉冲幅度调制 (PAM) Pulse-Amplitude Modulation

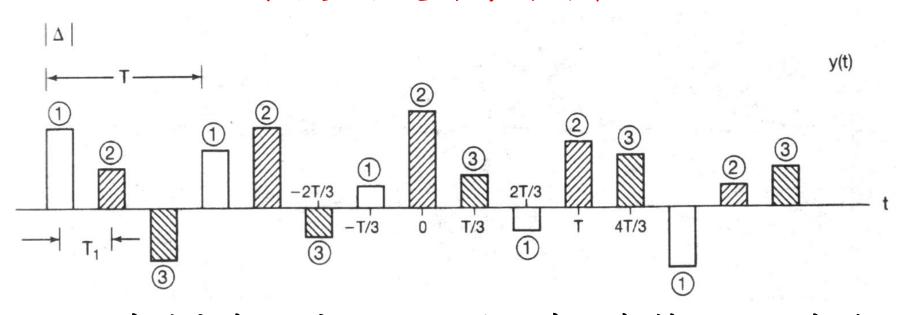
#### · 一. PAM调制:

- 以脉冲串作载波的幅度调制,在载波的宽度内 是以调制信号的原始波形为传送对象的。
- 而实际上只要满足Nyquist采样率,在每个时隙内只需要传送信号的一个样本值x(nT)即可。
- PAM调制就是用x(t)在各时隙的样本值x(nT)去调制载波脉冲的幅度。



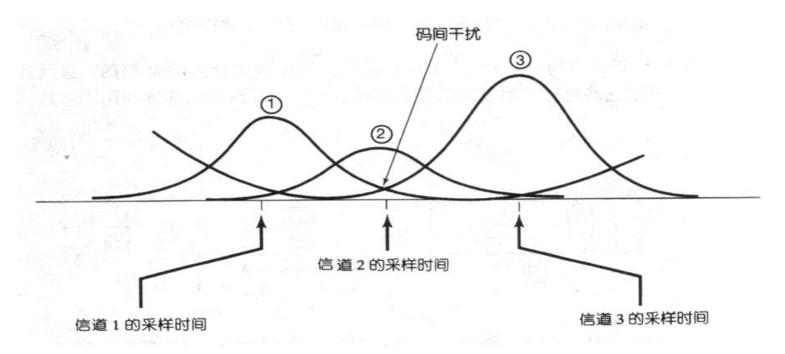
### 8.6 脉冲幅盘调制

· 二.PAM的时分多路复用与码间干扰:



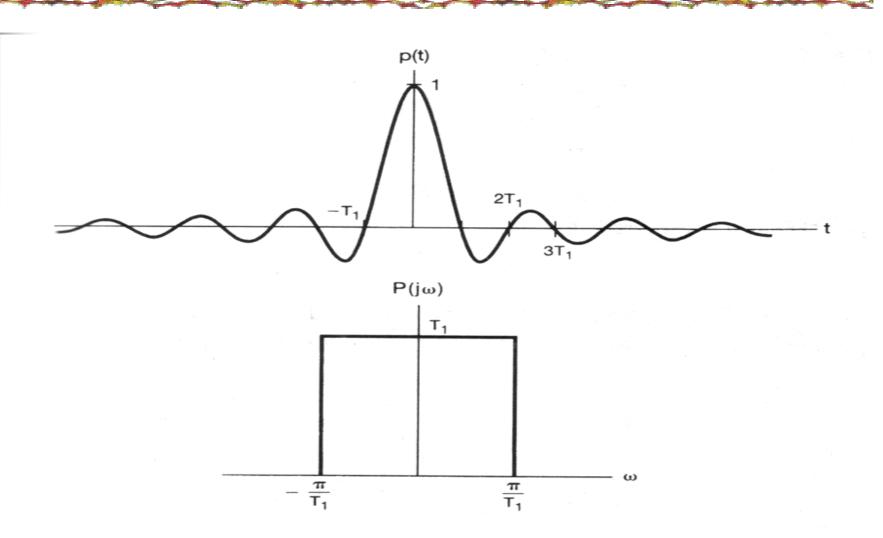
- 对时分复用的PAM 信号,在理想情况下,各路信号在传输过程中不发生波形失真,在接收端只要通过采样判决就可以解复用。

- 但是,在工程实际中,可能由于信道的非理想频率特性而导致码间干扰:
- 1) 信道带宽有限使脉冲的前后沿变缓;
- 2) 非线性相位使群时延非恒定而产生相位弥散。

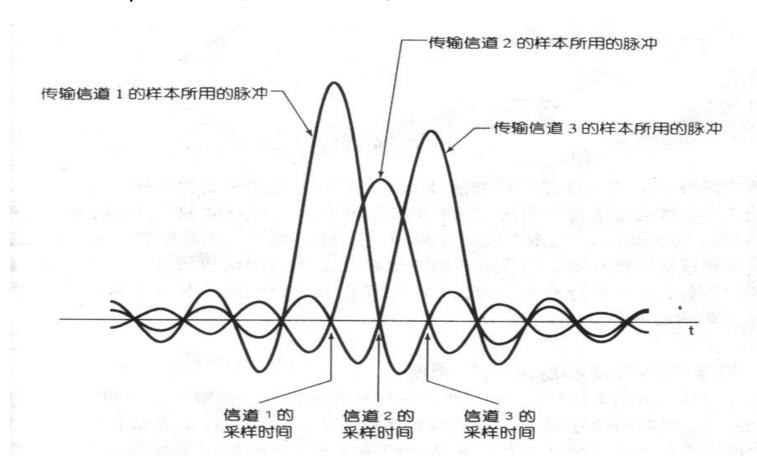


- 消除码间干扰的方法:
  - 针对由于信道带宽有限而产生的码间干扰,应该在形成 PAM 信号时,使用一种非矩形的脉冲作为载波。这种脉冲是带限的,而且可选择在所有采样判决时刻都过零点。
  - 例如采用如下脉冲:

$$p(t) = \frac{T_1 \operatorname{Sin}(\frac{\pi t}{T_1})}{\pi t}$$



· 当以这样的脉冲作为PAM调制的载波时,就不会造成采样判决时的码间干扰。



# 8.6 脉冲临意调制

- 三. 数字脉冲幅度调制与脉冲编码调制
  - PAM中信号的样本 x(nT) 往往被量化成数字信号 x[n],从而造成已调脉冲的幅度只能有有限个可能的幅度值。
  - 数字化的PAM信号可以表示成一组二进制码字 ,其中的每一位称为一个比特。
  - 在传输数字脉冲幅度调制信号时,为了传输可靠,防止误码,往往要在传输前将其通过编码变换成另一个二进制序列,这种经编码后的PAM就称为脉冲编码调制 (PCM)。

# 本章小结

- 主要讨论了与通信系统有关调制/解调技术。
- · 以正弦信号作为载波,讨论了AM (包括DSB与 SSB) 的调制与解调方案。
- · 以脉冲串作为载波,讨论了PAM、PCM及相关的数字通信中的问题(如码间干扰)。
- · 基于幅度调制而产生的频分复用 (FDM) 和时分复用 (TDM)方式。
- 可以看到频域分析的方法对分析和解决通信系统的许多问题是很直观而且方便的,傅里叶分析方法在通信系统中有广泛的应用。