

§ 3.2 脉冲幅度调制和时分多路复用

抽样定理结论：最高频率为 f_m 的带限信号 $x(t)$ ，可以由其等间隔 T (不大于 $1/2f_m$) 的抽样值 $x(nT)$ 完全确定

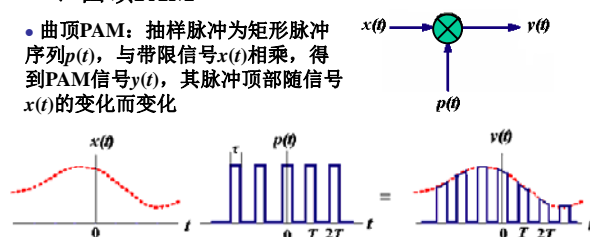
- 抽样值序列可视为载波为周期脉冲，幅度受到信号抽样值的调制，称为**脉冲幅度调制(Pulse Amplitude Modulation, PAM)**
- PAM系统：直接传输这个抽样值序列的系统
- 每隔 T 抽取一个很窄的抽样值，两个抽样值的空档可用于传输其他信号的抽样值
- **时间划分多路复用**，简称**时分多路复用**或**时分复用(Time Division Multiplexing, TDM)**：在时间上依序排列各个信号的抽样值，并在一个信道中同时传输多路信号的技术

52

1

一、曲顶PAM

• 曲顶PAM：抽样脉冲为矩形脉冲序列 $p(t)$ ，与带限信号 $x(t)$ 相乘，得到PAM信号 $y(t)$ ，其脉冲顶部随信号 $x(t)$ 的变化而变化



$$p(t) = \text{rect}\left(\frac{t}{\tau}\right) * \delta_T(t) = \text{rect}\left(\frac{t}{\tau}\right) * \sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta(t - kT)$$

$$= \sum_{k=-\infty}^{\infty} \text{rect}\left(\frac{t}{\tau}\right) * \delta(t - kT) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \text{rect}\left(\frac{t - kT}{\tau}\right)$$

52

2

$$\text{rect}\left(\frac{t}{\tau}\right) \xleftrightarrow{F} \tau \text{Sa}\left(\frac{\omega\tau}{2}\right)$$

$$\therefore p(t) \xleftrightarrow{F} P(\omega) = \left[\tau \text{Sa}\left(\frac{\omega\tau}{2}\right) \right] \delta_T(\omega) = \left[\tau \text{Sa}\left(\frac{\omega\tau}{2}\right) \right] \left[\frac{2\pi}{T} \sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta\left(\omega - \frac{2\pi}{T}k\right) \right]$$

$$= \frac{2\pi\tau}{T} \sum_{k=-\infty}^{\infty} \text{Sa}\left(\frac{\omega\tau}{2}\right) \delta\left(\omega - \frac{2\pi}{T}k\right) = \frac{2\pi\tau}{T} \sum_{k=-\infty}^{\infty} \text{Sa}\left(\frac{2\pi}{T}k\tau\right) \delta\left(\omega - \frac{2\pi}{T}k\right)$$

$$= \frac{2\pi\tau}{T} \sum_{k=-\infty}^{\infty} \text{Sa}\left(\frac{k\pi\tau}{T}\right) \delta(\omega - k\omega_s) \quad \omega_s = \frac{2\pi}{T}$$

矩形脉冲序列 $p(t)$ 的频谱是包络为 $\text{Sa}(k\pi\tau/T)$ 的离散频谱

52

3

$$\therefore y(t) = x(t)p(t) = x(t) \sum_{k=-\infty}^{\infty} \text{rect}\left(\frac{t - kT}{\tau}\right)$$

$$\therefore y(t) \xleftrightarrow{F} Y(\omega) = \frac{1}{2\pi} X(\omega) * P(\omega)$$

$$= \frac{1}{2\pi} X(\omega) * \frac{2\pi\tau}{T} \sum_{k=-\infty}^{\infty} \text{Sa}\left(\frac{k\pi\tau}{T}\right) \delta(\omega - k\omega_s)$$

$$= \frac{\tau}{T} \sum_{k=-\infty}^{\infty} X(\omega) * \text{Sa}\left(\frac{k\pi\tau}{T}\right) \delta(\omega - k\omega_s)$$

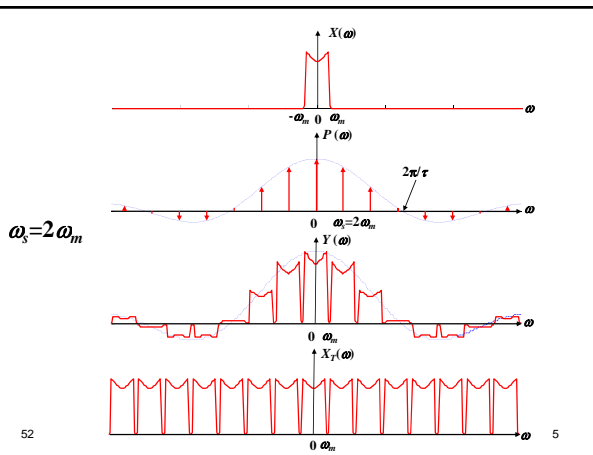
$$= \frac{\tau}{T} \sum_{k=-\infty}^{\infty} \text{Sa}\left(\frac{k\pi\tau}{T}\right) [X(\omega) * \delta(\omega - k\omega_s)]$$

$$= \frac{\tau}{T} \sum_{k=-\infty}^{\infty} \text{Sa}\left(\frac{k\pi\tau}{T}\right) X(\omega - k\omega_s)$$

曲顶PAM信号 $y(t)$ 的频谱是原信号 $x(t)$ 的频谱以 ω_s 为周期的重复，只是各周期的频谱幅度按系数 $\text{Sa}(k\pi\tau/T)$ 衰减

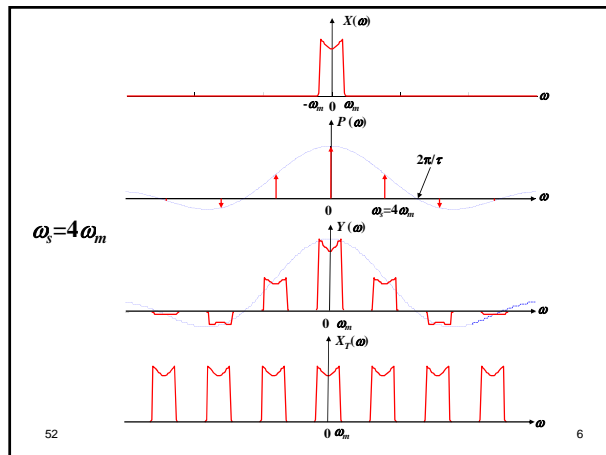
52

4



52

5



52

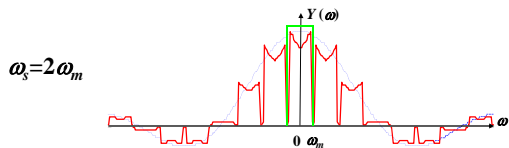
6

由曲顶PAM信号y(t)恢复连续信号x(t)

$$\because y(t) \xleftrightarrow{F} Y(\omega) = \frac{\tau}{T} \sum_{k=-\infty}^{\infty} \text{Sa}\left(\frac{k\pi\tau}{T}\right) X(\omega - k\omega_s)$$

• 理想低通滤波器:

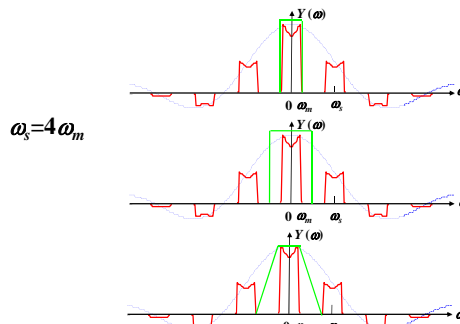
$$H_r(\omega) = \begin{cases} T/\tau & |\omega| < \omega_s/2 \\ 0 & |\omega| > \omega_s/2 \end{cases} \quad H(\omega) = \begin{cases} T/\tau & |\omega| < \omega_m \\ 0 & |\omega| > \omega_m \end{cases}$$



52

7

- 实际低滤波器的通带: $0 \sim \omega_m$
过渡带: $\omega_m \sim (\omega_s - \omega_m)$
阻带: $> (\omega_s - \omega_m)$



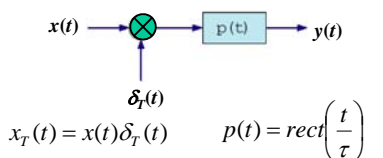
$\omega_s = 4\omega_m$

52

8

二、平顶PAM

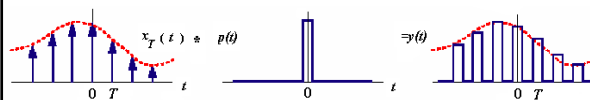
- 曲顶PAM实际上很少采用: 脉冲的顶部形状易受噪声影响
- 常用**平顶PAM**: 脉冲幅度是抽样时刻的瞬时值
- 实现方法: 先用窄脉冲对带限信号x(t)进行抽样, 再用保持电路展宽这些脉冲, 产生平顶PAM信号y(t)
- 含义: 先抽样, 再与宽度为τ的脉冲p(t)卷积



$$\therefore y(t) = x_\tau(t) * p(t) = [x(t)\delta_\tau(t)] * p(t)$$

52

9



$$\begin{aligned} y(t) &= [x(t)\delta_\tau(t)] * p(t) = \left[x(t) \sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta(t - kT) \right] * \text{rect}\left(\frac{t}{\tau}\right) \\ &= \left[\sum_{k=-\infty}^{\infty} x(kT)\delta(t - kT) \right] * \text{rect}\left(\frac{t}{\tau}\right) \\ &= \sum_{k=-\infty}^{\infty} \left\{ x(kT) \left[\delta(t - kT) * \text{rect}\left(\frac{t}{\tau}\right) \right] \right\} \\ &= \sum_{k=-\infty}^{\infty} \left[x(kT) \text{rect}\left(\frac{t - kT}{\tau}\right) \right] \end{aligned}$$

52

10

$$\delta_\tau(t) \xleftrightarrow{F} \delta_\tau(\omega) = \frac{2\pi}{T} \sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta\left(\omega - \frac{2\pi}{T}k\right) = \frac{2\pi}{T} \sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta(\omega - k\omega_s) \quad \omega_s = \frac{2\pi}{T}$$

$$p(t) = \text{rect}\left(\frac{t}{\tau}\right) \xleftrightarrow{F} P(\omega) = \tau \text{Sa}\left(\frac{\omega\tau}{2}\right)$$

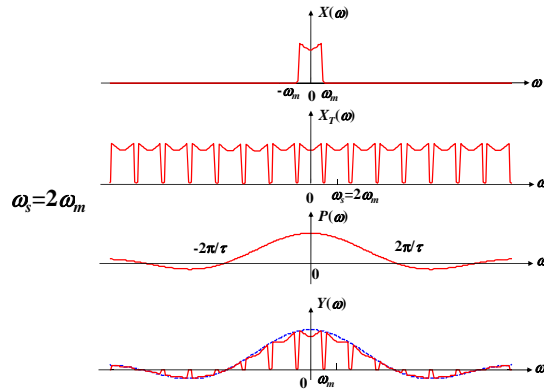
$$y(t) = [x(t)\delta_\tau(t)] * p(t) \xleftrightarrow{F} Y(\omega) = \left[\frac{1}{2\pi} X(\omega) * \delta_\tau(\omega) \right] P(\omega)$$

$$\begin{aligned} \therefore Y(\omega) &= \left[\frac{1}{T} X(\omega) * \sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta(\omega - k\omega_s) \right] \cdot \tau \text{Sa}\left(\frac{\omega\tau}{2}\right) \\ &= \frac{\tau}{T} \text{Sa}\left(\frac{\omega\tau}{2}\right) \sum_{k=-\infty}^{\infty} [X(\omega) * \delta(\omega - k\omega_s)] = \frac{\tau}{T} \text{Sa}\left(\frac{\omega\tau}{2}\right) \sum_{k=-\infty}^{\infty} X(\omega - k\omega_s) \end{aligned}$$

平顶PAM信号y(t)的频谱是原信号x(t)的频谱以 ω_s 为周期的重复频谱, 重复频谱的包络为 $\text{Sa}(\omega\tau/2)$

52

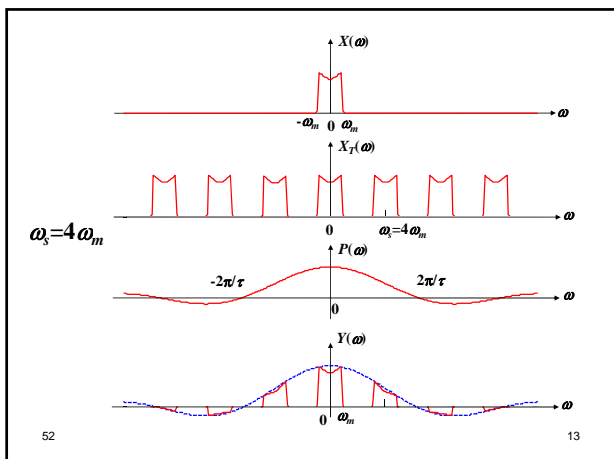
11



$\omega_s = 2\omega_m$

52

12



由平顶PAM信号y(t)恢复连续信号x(t)

$$Y(\omega) = \frac{\tau}{T} \text{Sa}\left(\frac{\omega\tau}{2}\right) \sum_{k=-\infty}^{\infty} X(\omega - k\omega_s)$$

- 理想低通滤波器:

$$H_r(\omega) = \begin{cases} T/\tau & |\omega| < \omega_s/2 \\ 0 & |\omega| > \omega_s/2 \end{cases} \quad H(\omega) = \begin{cases} T/\tau & |\omega| < \omega_m \\ 0 & |\omega| > \omega_m \end{cases}$$

- 实际低通滤波器的通带: $0 \sim \omega_m$
 过渡带: $\omega_m \sim (\omega_s - \omega_m)$
 阻带: $> (\omega_s - \omega_m)$

$$Y(\omega) = \frac{\tau}{T} \text{Sa}\left(\frac{\omega\tau}{2}\right) \sum_{k=-\infty}^{\infty} X(\omega - k\omega_s) \Rightarrow$$

$$k=0, \quad \frac{\tau}{T} \text{Sa}\left(\frac{\omega\tau}{2}\right) X(\omega) \neq K \cdot X(\omega), \quad \omega \in [-\omega_s/2, \omega_s/2]$$

- 缺点: 低通滤波器恢复的信号稍有失真
- 当脉冲宽度 $\tau \ll T$ 时, 失真较小

for $\omega \in [-\omega_s/2, \omega_s/2]$

$$\text{Sa}\left(\frac{\omega\tau}{2}\right) \Big|_{\omega=0} = 1$$

$$\text{Sa}\left(\frac{\omega\tau}{2}\right) \Big|_{\omega=\omega_s/2} = \text{Sa}\left(\frac{\omega_s\tau}{4}\right) = \text{Sa}\left(\frac{2\pi\tau}{T} \cdot \frac{1}{4}\right) = \text{Sa}\left(\frac{\pi\tau}{2T}\right) \xrightarrow{\tau \ll T} 1$$

- 若需无失真恢复, 可使用**均衡滤波器**
- 该均衡滤波器的频率响应满足:

$$H_1(\omega) = \begin{cases} \frac{T}{P(\omega)} = \frac{T}{\tau \text{Sa}\left(\frac{\omega\tau}{2}\right)} & \omega \in [-\omega_m, \omega_m] \\ 0 & \text{else} \end{cases}$$

$$\left[\frac{\tau}{T} \text{Sa}\left(\frac{\omega\tau}{2}\right) X(\omega) \right] \cdot H_1(\omega) = \begin{cases} \frac{\tau}{T} \text{Sa}\left(\frac{\omega\tau}{2}\right) X(\omega) \cdot \frac{T}{\tau \text{Sa}\left(\frac{\omega\tau}{2}\right)} = X(\omega) & \omega \in [-\omega_m, \omega_m] \\ 0 & \text{else} \end{cases}$$

三、PAM系统的带宽与传输

1、PAM系统的带宽

- 曲顶PAM、平顶PAM的带宽均为无限
- 要无失真传输PAM信号, 需要传输系统的带宽无限

- 任何实际传输系统的信道带宽总是有限的
- 设传输PAM信号的信道等效于截止频率为 F_0 的理想低通信道
- 考查 F_0 应为多大, 才能从系统的接收端完整地恢复原信号 $m(t)$

曲顶PAM

平顶PAM

- PAM传输系统的最小带宽为: $F_0 = f_m$
- 根据抽样定理, f_m 满足: $f_m \leq \frac{1}{2} f_s = \frac{1}{2T}$

19

$$\therefore F_{0\min} = f_m = \frac{1}{2} f_{s\min} = \frac{1}{2T_s}$$

- 当 F_0 为最小带宽时, 脉冲波形必然失真, 只是脉冲幅度信息仍然保留
- 事实上, 此时的输出不再是脉冲, 而是连续的波形
- 一般而言, 为既能完整恢复原信号, 又能使脉冲的形状尽量少失真, 信道的带宽应满足:

$$F_0 \geq f_m = \frac{1}{2} f_{s\min} = \frac{1}{2T_s}$$

- 对于全宽脉冲: $\tau = T_s$, 信道的最小带宽满足:

$$F_{0\min} = \frac{1}{2T_s} = \frac{1}{2\tau}$$

- 一般情况下, 有: $F_{0\min} = \frac{1}{2T_s} \leq \frac{1}{2\tau}$

20

- 为使脉冲形状尽量少失真, 信道带宽通常取脉冲宽度的倒数:

$$F = \frac{1}{\tau}$$

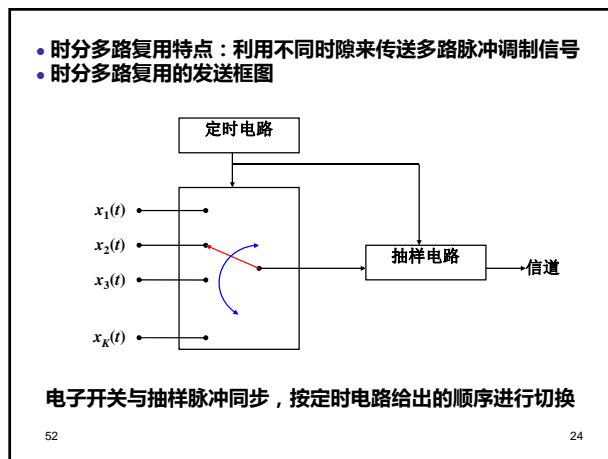
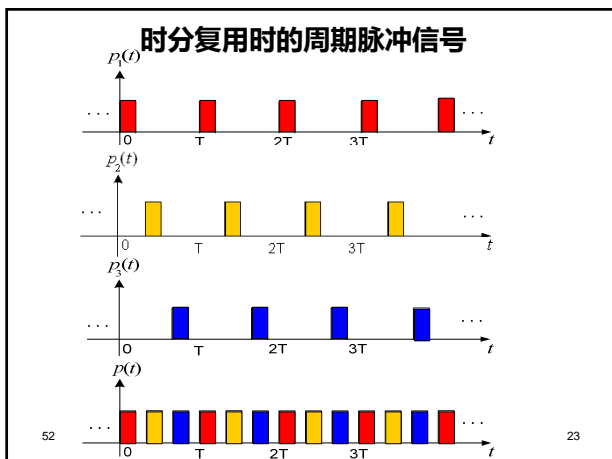
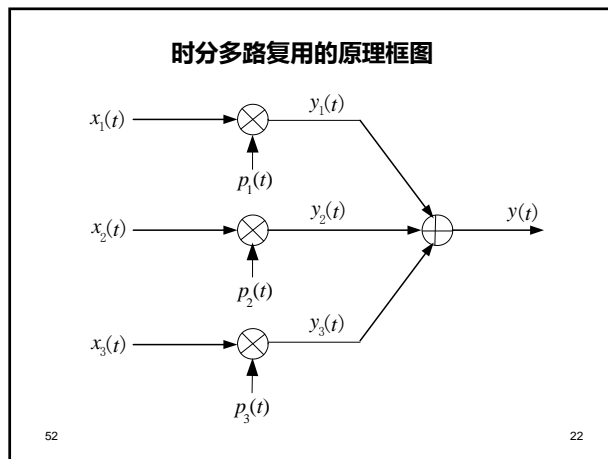
2、PAM信号的传输

- PAM信号可直接在一对导线中传输, 不能直接用电磁波形式在空气中传输
- 为在空气中传输, 可用下一章介绍的振幅调制方法将PAM信号频谱移到相应的高频处 - - 二级调制系统: **PAM/AM系统**

四、时分复用

52

21



• 时分多路复用的接收框图

与发送端同步的定时电路控制电子开关按顺序进行切换，从而分离各路信号的抽样值

• 同步问题在时分多路中很重要

52 25

时分多路复用系统的带宽

- 设每路信号的最大频率为 f_m ，每路的抽样频率为 f_s
- 每路PAM信号的带宽可以取为：

$$F_0 = \frac{1}{2} f_s = \frac{1}{2T_s} \geq f_m$$
- 设共有 N 路信号进行时分多路复用，定时电路的切换频率为 $F_s = Nf_s$ ，则传输系统的带宽随着路数的增加而增加：

$$F_c = \frac{1}{2} Nf_s = \frac{1}{2} F_s \geq Nf_m$$
- N 路时分多路复用信号的最小带宽为：

$$F_{c \min} = Nf_m$$

52 26

例1 试设计一个七路医学信号时分多路复用的系统，这七路信号的最大频率分别为：血流多普勒信号5 kHz；心电图信号2 kHz；脑电信号1 kHz；血压、体温、呼吸和心率信号200 Hz。

解： 根据抽样定理，七路医学信号的最小抽样频率为：
 血流多普勒信号10 kHz；心电图信号4 kHz；
 脑电信号2 kHz；血压、体温、呼吸和心率信号400 Hz

方案一、8路复用(含1路同步)，每路抽样频率为10 kHz

以等幅度脉冲作为示意

52 27

定时电路的切换频率为： $F_s = Nf_s = 8 \times 10 = 80$ kHz

时分复用PAM信号的最小带宽为：

$$F_c = \frac{1}{2} Nf_s = \frac{1}{2} F_s = Nf_m = \frac{1}{2} \times 8 \times 10 = 40$$
 kHz

定时电路的切换时间(每路所占时间)称为一个**时隙**

本方案中8个时隙的脉冲序列称为**一帧**

52 28

方案二、8路复用(含1路同步)，每路抽样频率为4 kHz

心电、脑电最小抽样频率不大于4 kHz，各单独使用1路
 血流最小抽样频率为10 kHz，需使用 $2^2=4$ 路 ($4 \times 4=16$ kHz)

剩余1路供血压、体温、呼吸和心率4路复用的信号使用，每路抽样频率 $4/4=1$ kHz (> 400 Hz，满足要求)

52 29

时分复用PAM信号的最小带宽为：

$$F_c = \frac{1}{2} Nf_s = \frac{1}{2} F_s = Nf_m = \frac{1}{2} \times 8 \times 4 = 16$$
 kHz

最小带宽比第一种方案的最小带宽40 kHz小得多

52 30

几点说明

- 设计的方案可有多种, 实现复杂度、最小带宽各不相同
- 设定电路切换时间为 T , 则每个脉冲的宽度 τ 应满足: $\tau \leq T$

◆ 方案一: $\tau \leq T = \frac{1}{80 \text{ kHz}} = \frac{1}{80} \text{ ms}$

◆ 方案二: $\tau \leq T = \frac{1}{32 \text{ kHz}} = \frac{1}{32} \text{ ms}$

◆ 若用全宽脉冲, 则有: $\tau = T$

◆ 考虑邻路防护, 则有: $\tau < T$

▪ 提法一、邻路防护为每路应占时间的 $1/a$, 则有:

$$\frac{T-\tau}{T} = \frac{1}{a} \Rightarrow \tau = \frac{a-1}{a} T$$



52

31

▪ 提法二、邻路防护为脉冲宽度的 $1/a$, 则有:

$$\frac{T-\tau}{\tau} = \frac{1}{a} \Rightarrow \tau = \frac{a}{a+1} T$$

- 最小带宽时脉冲形状失真较严重
- 为使脉冲的时域波形尽量少失真, 系统的带宽常取大一点
- 一种常用的取法: 带宽取为脉冲宽度 τ 的倒数

◆ 方案一: $\tau \leq T = \frac{1}{80 \text{ kHz}} = \frac{1}{80} \text{ ms}$

▪ 全宽脉冲: $\tau = T = \frac{1}{80} \text{ ms} \Rightarrow F_c = \frac{1}{\tau} = 80 \text{ kHz}$

▪ 邻路防护占每路信号的一半:

$$\tau = \frac{T}{2} = \frac{1}{160} \text{ ms} \Rightarrow F_c = \frac{1}{\tau} = 160 \text{ kHz}$$

52

32

◆ 方案二: $\tau \leq T = \frac{1}{32 \text{ kHz}} = \frac{1}{32} \text{ ms}$

▪ 全宽脉冲: $\tau = T = \frac{1}{32} \text{ ms} \Rightarrow F_c = \frac{1}{\tau} = 32 \text{ kHz}$

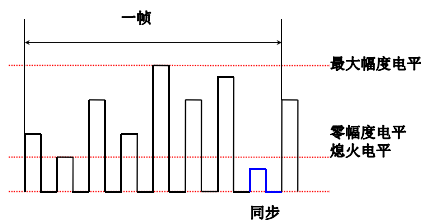
▪ 邻路防护占每路信号的一半:

$$\tau = \frac{T}{2} = \frac{1}{64} \text{ ms} \Rightarrow F_c = \frac{1}{\tau} = 64 \text{ kHz}$$

- 示意图中以相同的脉冲幅度为例, 事实上PAM信号的脉冲幅度各不相同(零幅度~最大幅度)
- 为提供同步电平, 所有幅度的电平都取在一个阈值(称为**熄火电平**)以上
- 熄火电平对应PAM信号的零幅度
- 同步脉冲的幅度可小于熄火电平

52

33



例2 试设计一个318路无线电遥测PAM信号的时分多路复用系统, 信号最大频率为1 Hz~2 kHz不等, 具体如表所示:

信号路数	3	2	5	28	170	110
最大频率	2 kHz	1 kHz	100 Hz	25 Hz	5 Hz	1 Hz

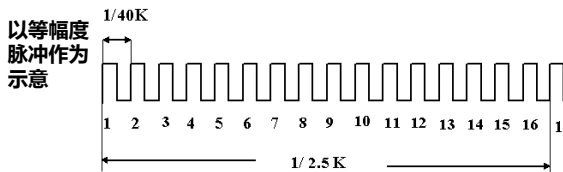
52

34

解: 根据抽样定理, 318路信号的最小抽样频率为:

信号路数	3	2	5	28	170	110
最大频率	2 kHz	1 kHz	100 Hz	25 Hz	5 Hz	1 Hz
最小抽样频率	4 kHz	2 kHz	200 Hz	50 Hz	10 Hz	2 Hz

实现方案: 16路复用, 每路抽样频率为2.5 kHz

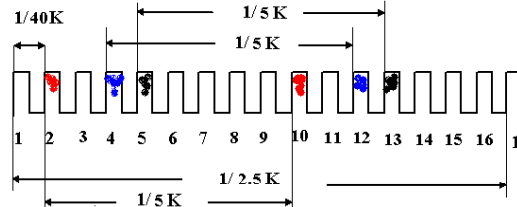


对3路最大频率为2 kHz信号, 抽样频率取为5 kHz(各需2个时隙)

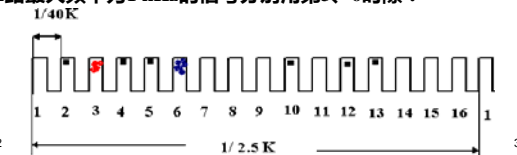
52

35

这3路信号分别用第2和10、4和12、5和13时隙:

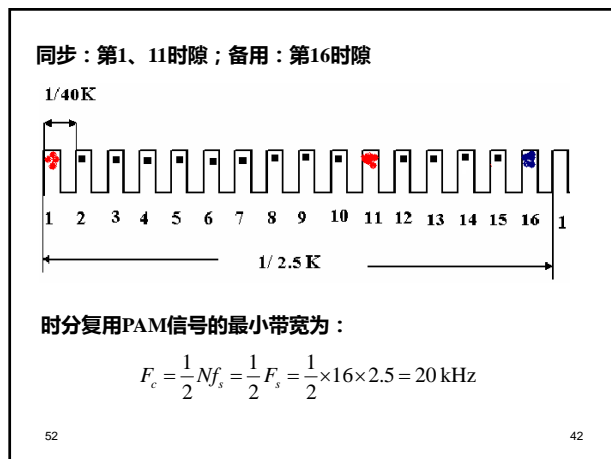
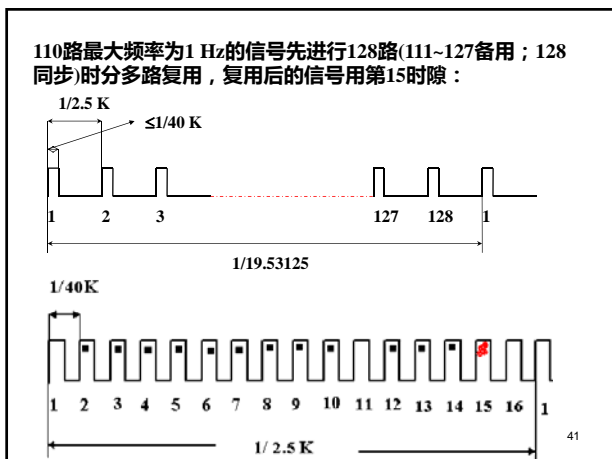
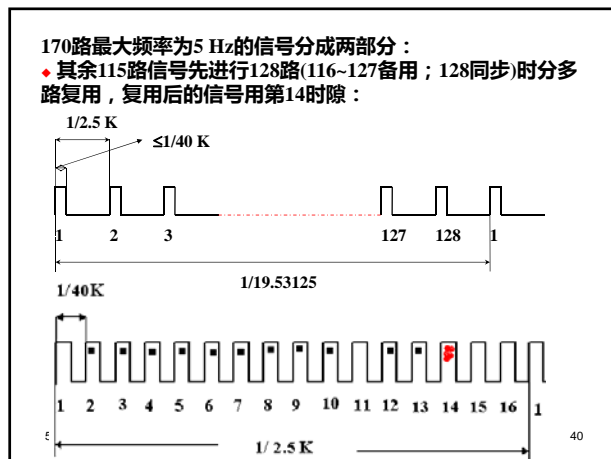
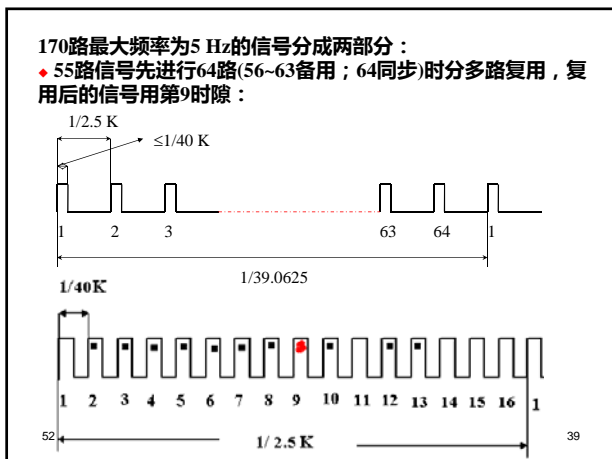
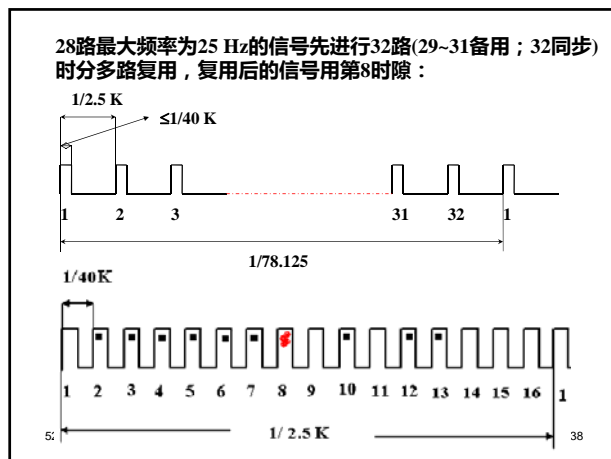
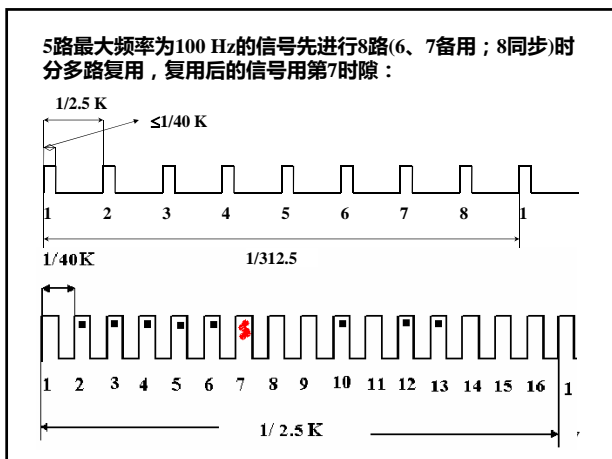


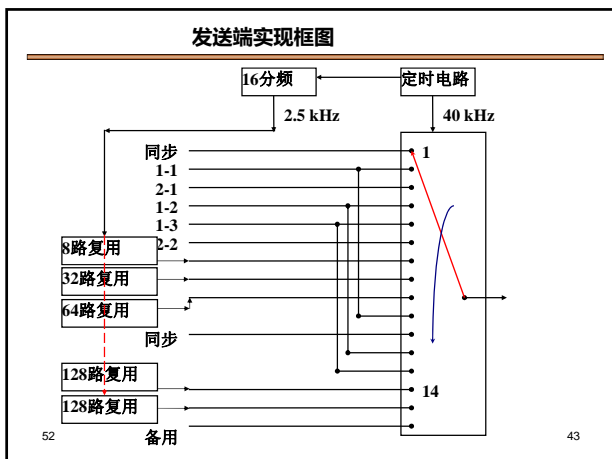
2路最大频率为1 kHz的信号分别用第3、6时隙:



52

36



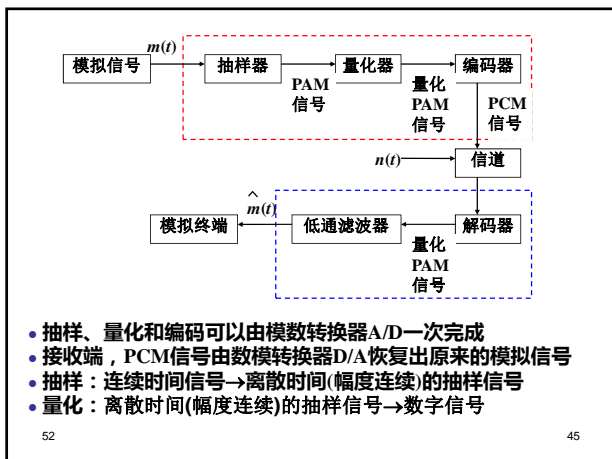


§ 3.3 脉冲编码调制(PCM)

- **脉冲编码调制(Pulse Code Modulation, PCM)**简称**脉码调制**
- PCM是一种将模拟信号转换为数字信号的编码形式
- 1937年法国工程师Alec Reeres最早提出
- 1946年美国Bell实验室出现第一台PCM数字电话终端机
- 1962年晶体管PCM终端机大量应用于市话网局间中继线,使市话电缆传输电话路数扩大24~30倍
- 70年代后期,超大规模集成电路PCM编解码器出现,PCM广泛应用于光纤通信、数字微波通信、卫星通信

一、线性PCM编码

- PCM系统的发送端主要包括：**抽样、量化与编码**三个过程



- 抽样、量化和编码可以由模数转换器A/D一次完成
- 接收端,PCM信号由数模转换器D/A恢复出原来的模拟信号
- 抽样:连续时间信号→离散时间(幅度连续)的抽样信号
- 量化:离散时间(幅度连续)的抽样信号→数字信号

- 编码:将数字信号用一个二进制或多进制码组来表示
- 最常用的是**二进制码元**
 - ◆ n 位二进制码元有 $M=2^n$ 种不同的组合
 - ◆ 一种组合能成为一个码字
 - ◆ 不同码字表示不同电平
 - ◆ n 位二进制码元可表示 2^n 种不同的电平
 - ◆ 2^n 个码字和 2^n 个电平的对应关系有不同方式(不同码组)

1、自然二进制(Natural Binary Code, NBC)

- 最普通的二进制编码
- 从低位算起,第 i 位码的权重为: $q_i=2^{i-1}$
- n 位NBC码组成的码字记为: $a_{n-1} a_{n-2} \dots a_1 a_0$
- 对应的权重分别为: $2^{n-1} 2^{n-2} \dots 2^1 2^0$
- 码字对应的量化电平为:

$$V = a_{n-1} 2^{n-1} + a_{n-2} 2^{n-2} + \dots + a_1 2^1 + a_0 2^0 = \sum_{i=0}^{n-1} a_i 2^i$$

2、折叠二进制(Folded Binary Code, FBC)

- 由自然二进制演变而来
- 除最高位外,其余各位在上半部(对双极性信号相当于正极性部分)与NBC相同,下半部(相当于负极性部分)是上半部的对折而成;上、下半部的最高位分别为1、0
- FBC表示双极性信号很方便,可用最高位表示信号正负;其余位表示信号的绝对值
- 常用的A/D转换器用FBC
- 相对NBC的优点:传输中若出现误码,对小信号的影响较小;因小信号幅度的出现概率大,FBC引起的误码失真的误差功率相对NBC要小

3、格雷二进制(Gray/Reflected Binary Code, RBC)

- RBC的特点:任何相邻电平的码元只有1位不同

$n=4$ 码字与电平的对应关系

极性	电平序号	$n=4$ 码字与电平的对应关系		
		NBC $a_3 a_2 a_1 a_0$	FBC $a_3 a_2 a_1 a_0$	RBC $a_3 a_2 a_1 a_0$
正极性	15	1111	1111	1000
	14	1110	1110	1001
	13	1101	1101	1011
	12	1100	1100	1010
	11	1011	1011	1110
	10	1010	1010	1111
	9	1001	1001	1101
	8	1000	1000	1100
负极性	7	0111	0000	0100
	6	0110	0001	0101
	5	0101	0010	0111
	4	0100	0011	0110
	3	0011	0100	0010
	2	0010	0101	0011
	1	0001	0110	0001
	0	0000	0111	0000

大信号1位误码,如1111→0111,NBC误差为8个量化级,FBC为15个量化级

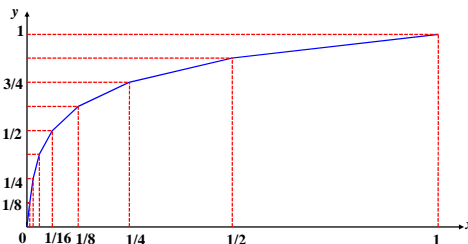
小信号1位误码,如1000→0000,NBC误差仍为8个量化级,FBC只有1个量化级

统计角度,FBC产生的失真误差功率小

- PCM系统的优点：
 - ◆ 脉冲幅度不再连续变化(包含信息)，抗噪声性能好
 - ◆ 可以加密，增强通信的保密性
 - ◆ 可与计算机直接连接

二、非线性PCM编码

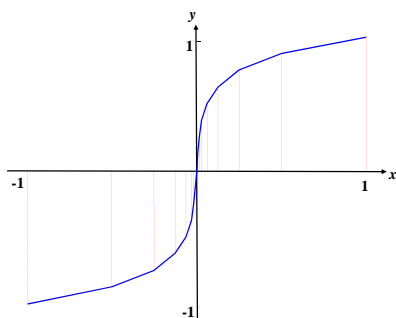
- 为保证量化信噪比和信号输入动态范围，可采用先非均匀量化再编码的方式：非线性编码
- 非线性编码的实现方法：模拟压扩编码、数字压扩编码、直接非线性编码等
- 以A律A87.6/13折线编码为例说明12位线性PCM码如何通过数字压缩技术变为8位码
 - ◆ 先对x轴的输入信号归一化，取值范围按1/2递减规律分为8段，分段点依次为1/2, 1/4, ..., 1/128
 - ◆ 再对y轴的压缩输出归一化，取值范围均匀分为8段
 - ◆ 将x轴和y轴相应分段的交点连接起来，得到8段斜线



- 第一、二段的斜率为： $(1/8) \div (1/128) = 16$
- 其余6段斜率依次减小(8, 4, 2, 1, 1/2, 1/4)
- 正向：7段不同斜率的折线

52

50



- 负向7段折线与正向奇对称
- 正向的第一、二段和负向的第一、二段斜率相同，可连成一条线→13段折线

- 13段折线近似A律的压缩特性

• A律小信号的压缩斜率为： $f'(x \rightarrow 0) = \frac{A}{1 + \ln A}$

- 13段折线第一段折线的斜率为16

$$\frac{A}{1 + \ln A} = 16 \Rightarrow A = 87.6$$

- 称为A87.6/13段折线压缩特性

段号	1	2	3	4	5	6	7	8
x	0	1/128	1/64	1/32	1/16	1/8	1/4	1/2
y(13折线)	0	1/8	2/8	3/8	4/8	5/8	6/8	7/8
y(A=87.6)	0	1/8	210/876	321/876	432/876	543/876	654/876	765/876

52

52