



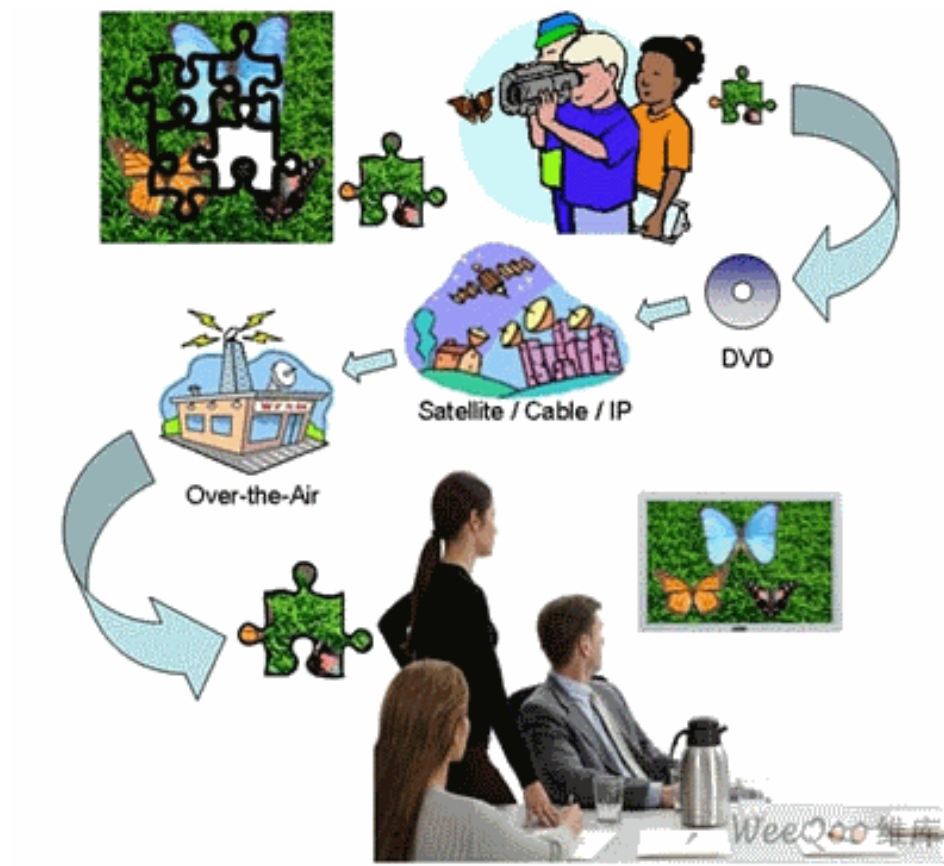
第9章 模拟信号的数字传输

内容简介

学习要求

学习目录

结束放映





内容简介

- ◆ 数字通信系统具有许多优点而成为当今通信的发展方向。然而自然界的许多信息经各种传感器感知后都是模拟量，若要利用数字通信系统传输模拟信号，就需要将**模拟**信号**转变**为**数字**信号。
- ◆ 本章介绍模拟信号数字化的具体步骤以及实现技术，包括脉冲编码调制，差分脉冲编码调制，增量调制等。



学习要求

- 掌握抽样定理
- 理解均匀量化，非均匀量化
- 理解十五折线非均匀量化
- 掌握脉冲编码调制原理，增量调制原理
- 理解脉冲编码调制系统抗噪声性能，增量调制系统抗噪声性能
- 掌握时分复用和多路数字电话系统原理；



学习目录

- 9.1 引言 
- 9.2 模拟信号的抽样 
- 9.3 模拟脉冲调制 
- 9.4 抽样信号的量化 
- 9.5 脉冲编码调制 
- 9.6 差分脉冲编码调制 
- 9.7 增量调制 
- 9.8 时分复用和复接 



作业

- **P327**

10-2

10-10

10-11

10-12

10-13

10-15



9.1 引言

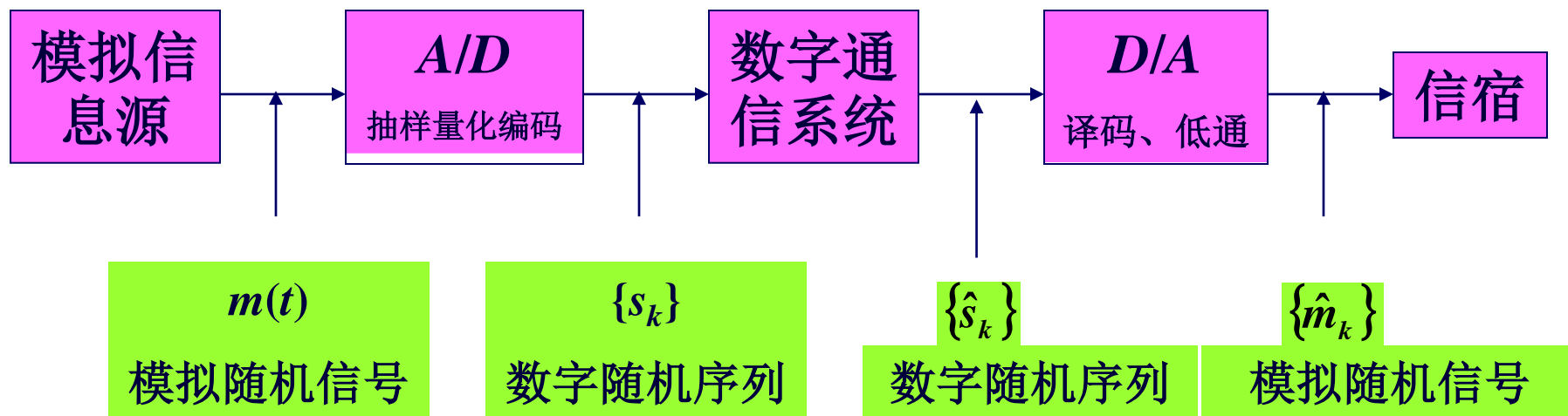
数字通信系统具有许多优点而成为当今通信的发展方向。若要利用数字通信系统传输模拟信号，首先要把模拟信号转变为数字信号，即把模拟信号数字化。

■ 模拟信号数字化方法

- (1) 波形编码：时域波形变换为数字代码序列。
 - 方法简单, 重建信号的质量好, 占用频带宽
- (2) 参量编码：—提取语音信号的特征参量，再变换为数字代码。
 - 方法复杂, 重建信号的质量差, 占用频带窄



PCM是波形编码中最重要的一种方式。采用脉码调制的模拟信号的数字传输系统如下图所示：



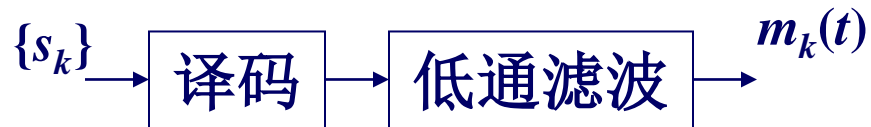


A/D和D/A

■ A/D



■ D/A



$$m_k(t) \approx m(t)$$



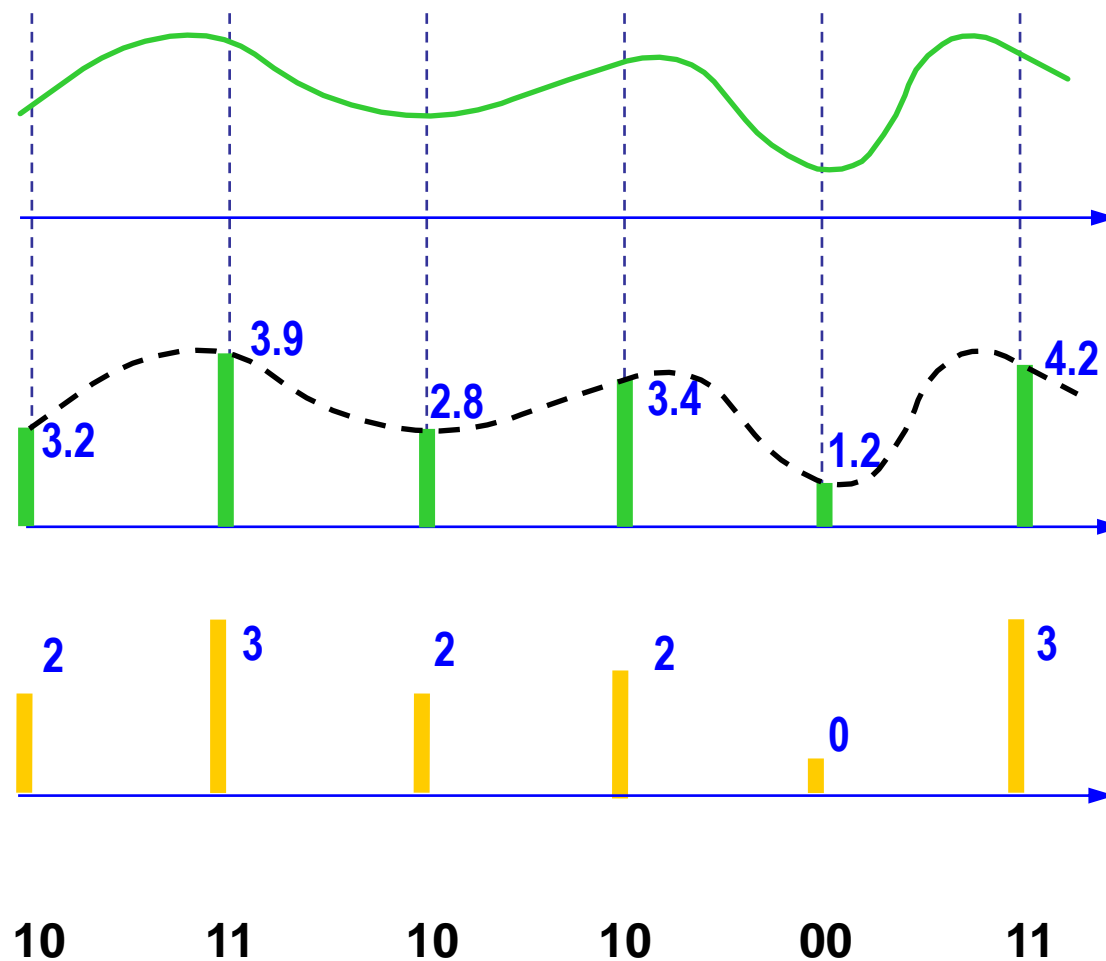
PCM信号形成示意图

模拟信号

抽样

量化

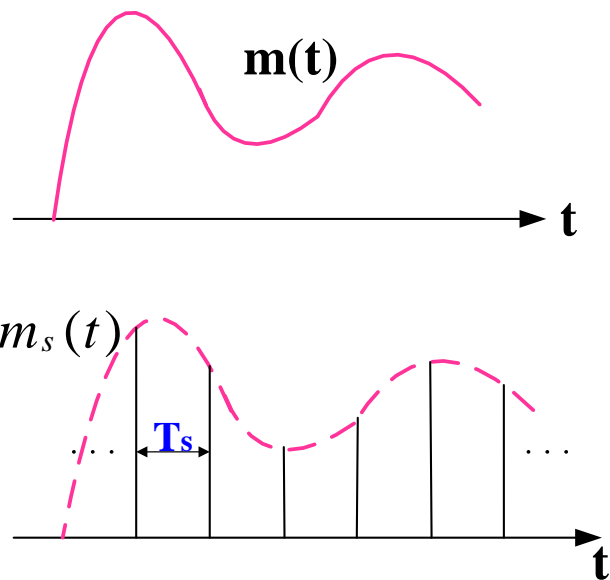
编码





9.2 模拟信号的抽样

抽样是把时间上连续的模拟信号变成一系列时间上离散的抽样值的过程。



问题

能否由此样值序列重建原信号??



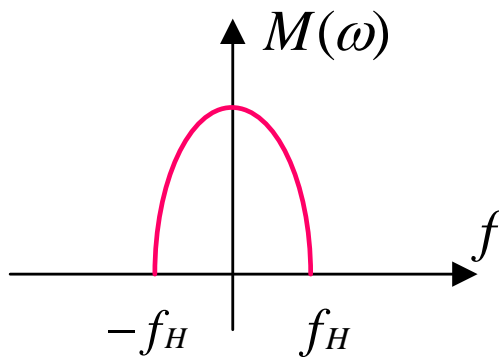
9.2.1 低通模拟信号的抽样定理

- **抽样定理：**如果对某一带宽有限的时间连续信号（模拟信号）进行抽样，且抽样速率达到一定数值时，那么根据这些抽样值就能准确地确定原始信号。
- 这就是说，若要传输模拟信号，不一定要传输模拟信号本身，可以只传输按抽样定理得到的抽样值。因此，该定理就为模拟信号的数字传输奠定了理论基础。



9.2.1 低通模拟信号的抽样定理

定义: $m(t)$, $[0, f_H]$



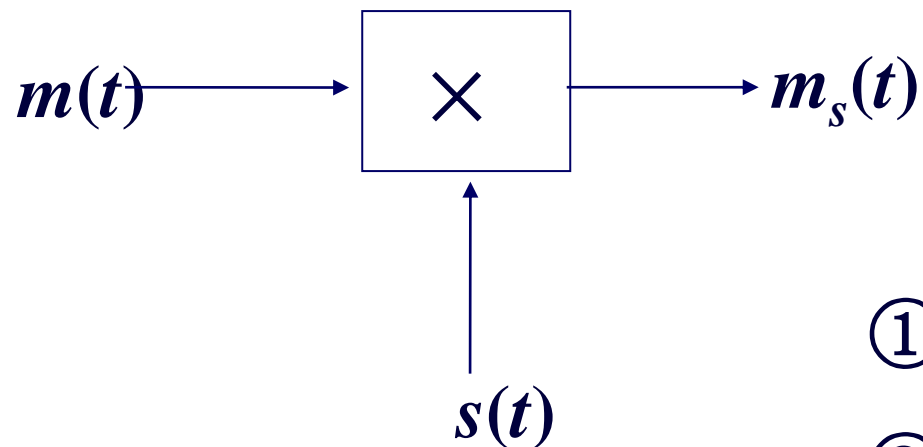
一个频带限制在 $(0, f_H)$ 内的时间连续信号, 如果以 $T_s \leq 1/(2f_H)$ 秒的间隔对它进行等间隔（均匀）抽样, 则 $m(t)$ 将被所得到的抽样值完全确定。

$T_s = 1/(2f_H)$ 是抽样的最大时间间隔, 称为奈奎斯特间隔。



9.2.1 低通模拟信号的抽样定理

◆ 抽样过程的实现



■ $m_s(t) = m(t)s(t)$

①理想抽样（冲激抽样）

②自然抽样

③平顶抽样（瞬时抽样）



9.2.1 低通模拟信号的抽样定理

冲激抽样（理想抽样）

- 若抽样脉冲是冲激序列，即

$$\delta_T(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nT_s)$$

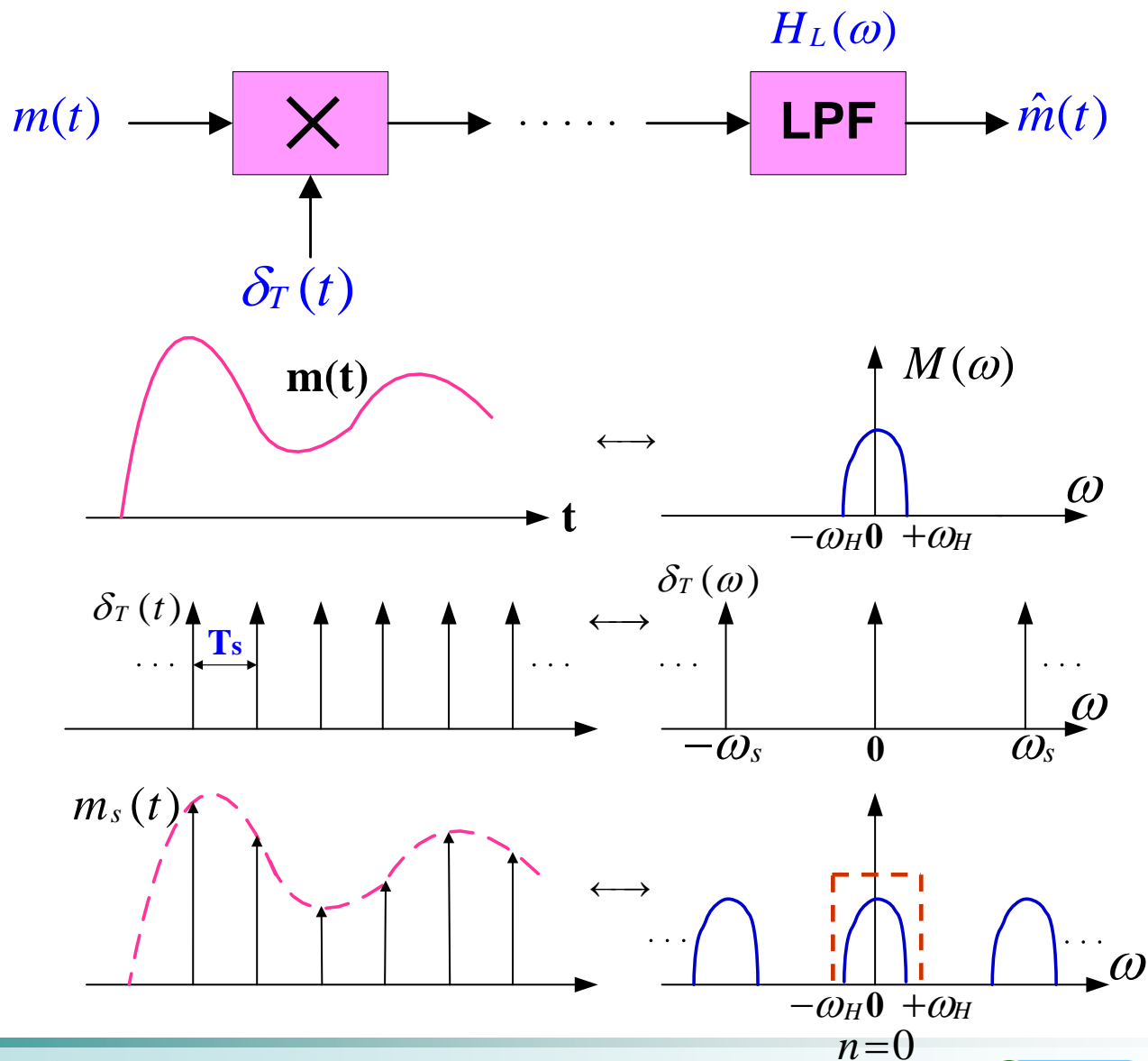
则此时的抽样过程称为“冲激抽样”或“理想抽样”。

- ◆ 冲激抽样的时域表达式为

$$\begin{aligned} m_s(t) &= m(t) \cdot \delta_T(t) \\ &= \sum_{n=-\infty}^{\infty} m(nT_s) \delta(t - nT_s) \end{aligned}$$



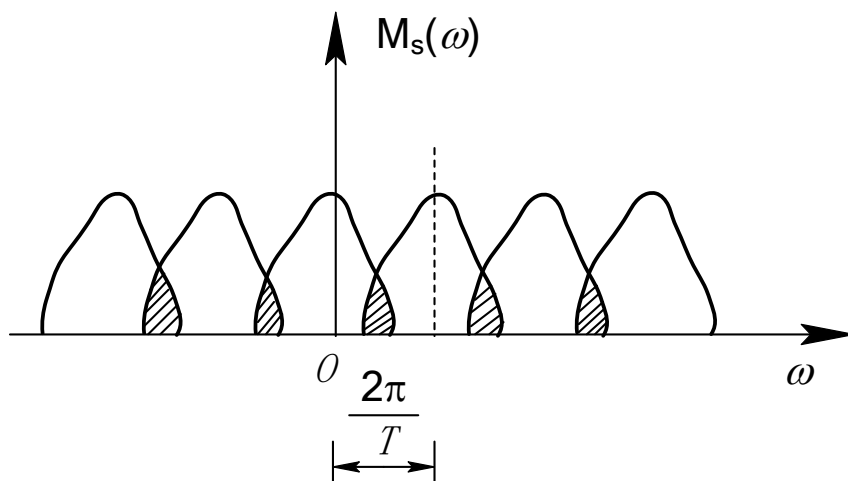
9.2.1 低通模拟信号的抽样定理





9.2.1 低通模拟信号的抽样定理

若抽样速率 $f_s < 2f_H$ ，则会产生失真，这种失真叫**混叠失真**。



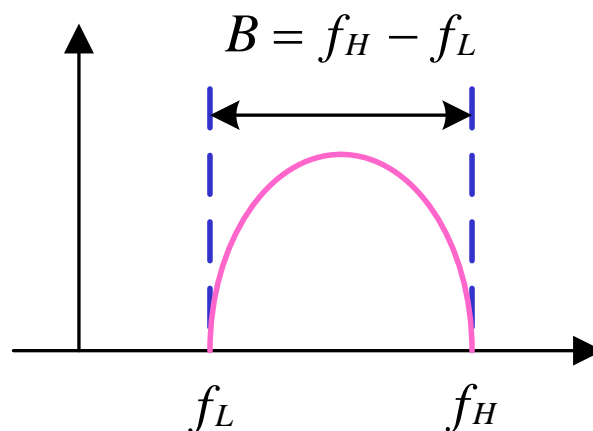
混叠现象



9.2.2 带通模拟信号的抽样定理

低通型信号: $f_L < B$

带通型信号: $f_L \geq B$



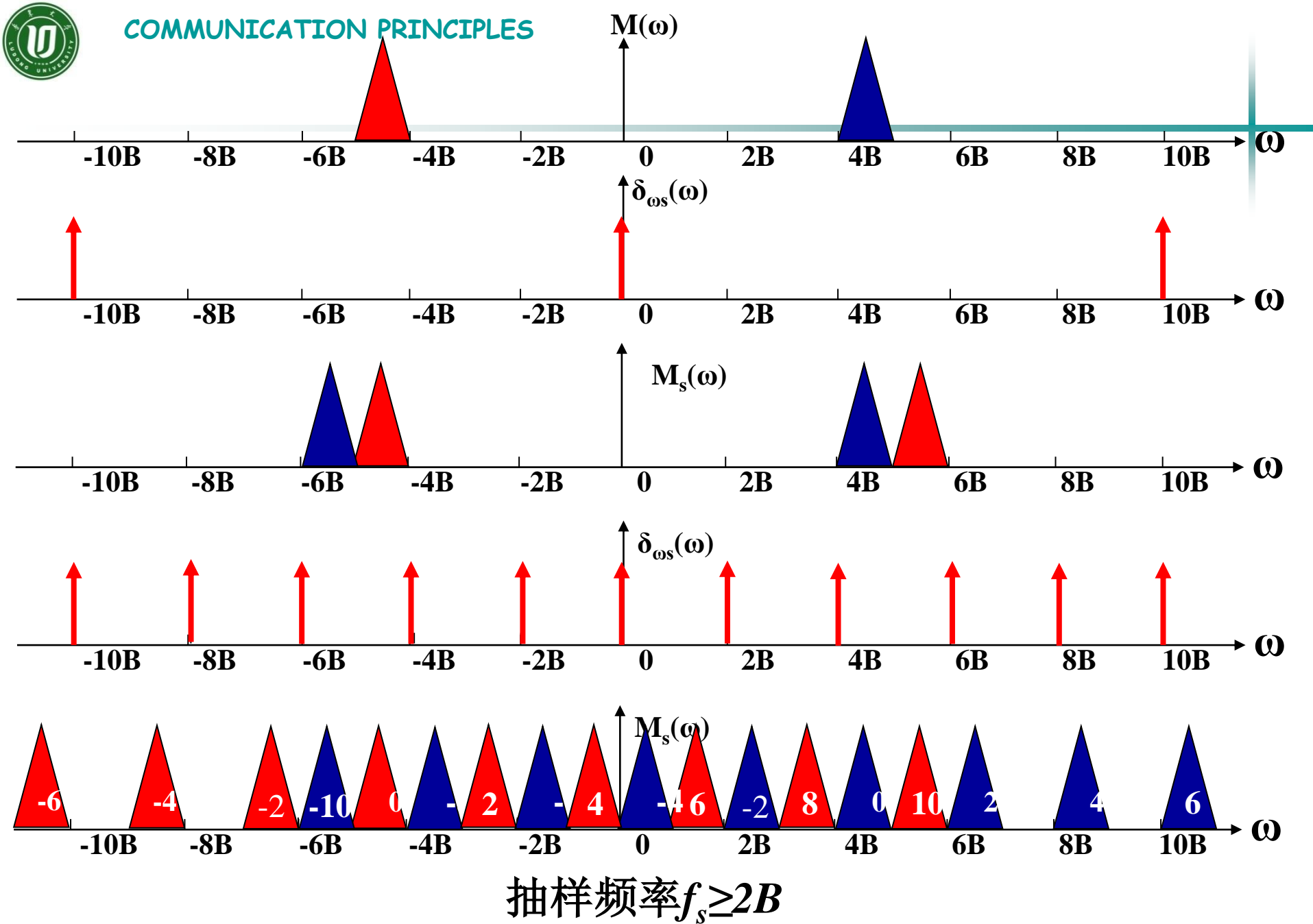
此时 f_s 应为多少？是否仍要求不小于 $2f_H$ ？

(1) 若最高频率 f_H 为带宽的整数倍，即

$$f_H = nB$$

最低频率 f_L 也为带宽的整数倍，此时：

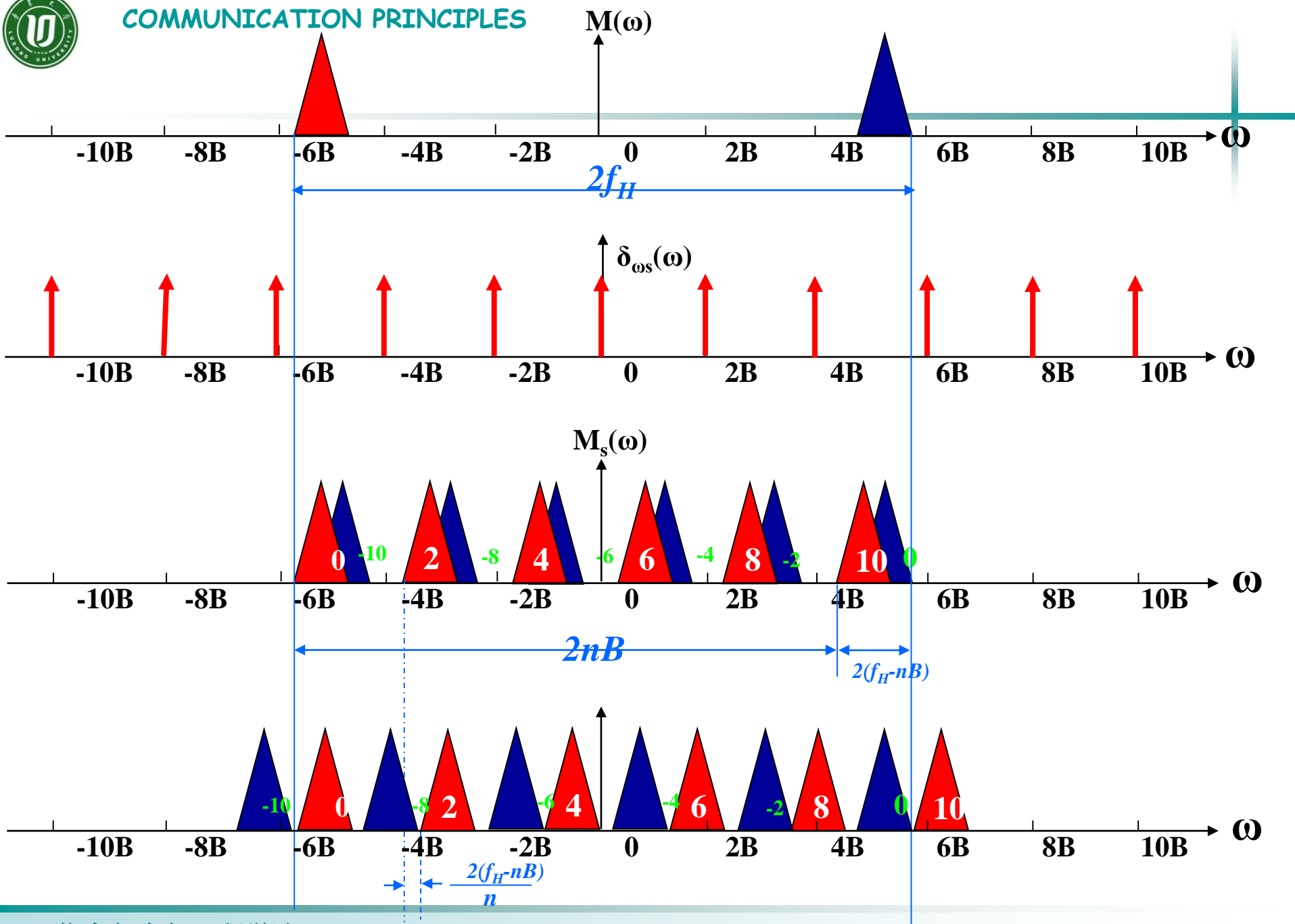
$$\text{抽样频率 } f_s \geq 2B$$





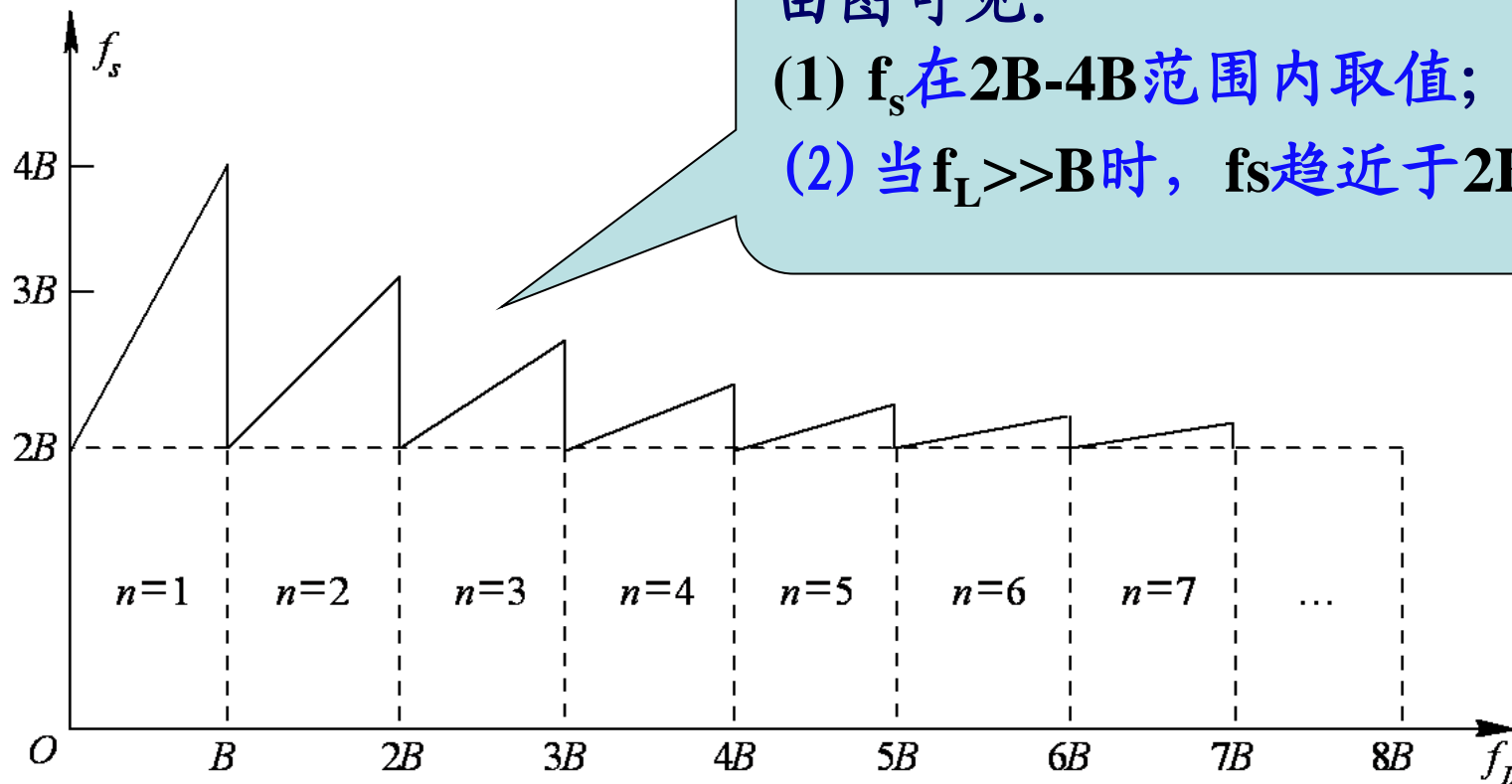
(2) 若最高频率 f_H 不为带宽的整数倍, 即 $f_H = nB + kB$, $0 < k < 1$, n 是小于 $f_H / B = n + k$ 的最大整数。

$$f_s = 2B \left(1 + \frac{k}{n} \right)$$





9.2.2 带通模拟信号的抽样定理



由图可见:

- (1) f_s 在 $2B$ - $4B$ 范围内取值;
- (2) 当 $f_L \gg B$ 时, f_s 趋近于 $2B$.



9.2.2 带通模拟信号的抽样定理

当模拟信号 $m(t)$ 是窄带信号, 即 $f_L \gg B$ 时, 能恢复出窄带信号 $m(t)$ 的最小抽样频率 $f_s \approx 2B$ 。

例题: 已知 $f_L = 100.5 \text{ MHz}$, $f_H = 100.9 \text{ MHz}$, 求 f_s 的值。

解:

$$B = f_H - f_L = 0.4 \text{ MHz}$$
$$f_H = nB + kB = 252B + 0.25B$$
$$f_s = 2B (1+k/n)$$
$$= 2 \times 0.4(1+0.25/252)$$
$$\approx 800.8 \text{ kHz}$$



9.3 模拟脉冲调制

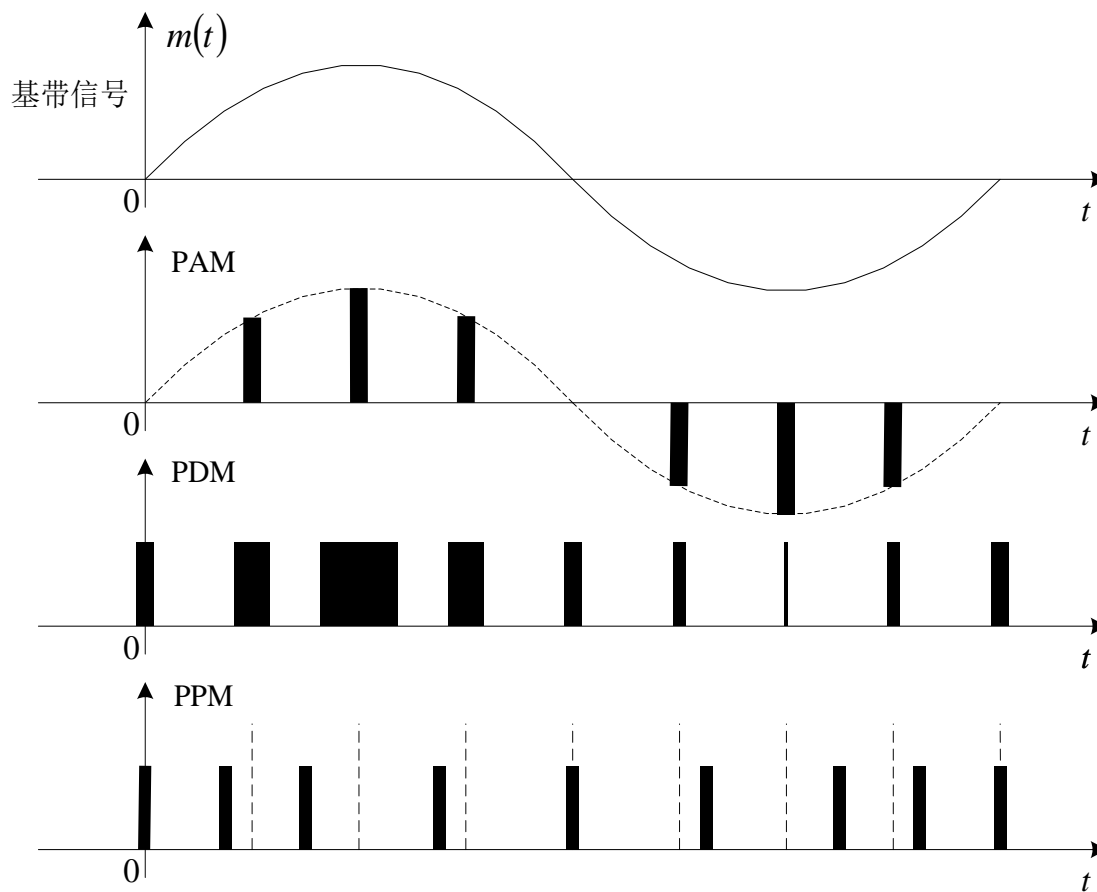
脉冲调制:以时间上离散的脉冲串作为载波, 用模拟基带信号 $m(t)$ 去控制脉冲串的某参数, 使其按 $m(t)$ 的规律变化的调制方式。

- 模拟脉冲调制的种类
 - 脉冲振幅调制 (PAM)
 - 脉冲宽度调制 (PDM)
 - 脉冲位置调制 (PPM)



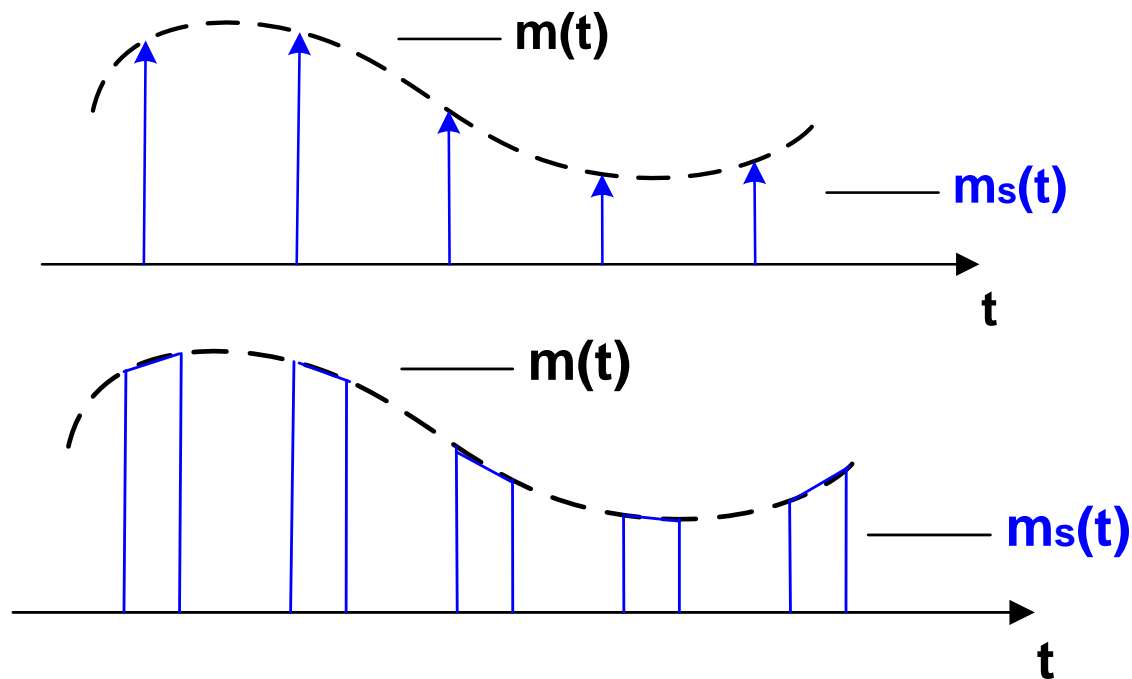
9.3 模拟脉冲调制

□ 模拟脉冲调制波形





实际抽样



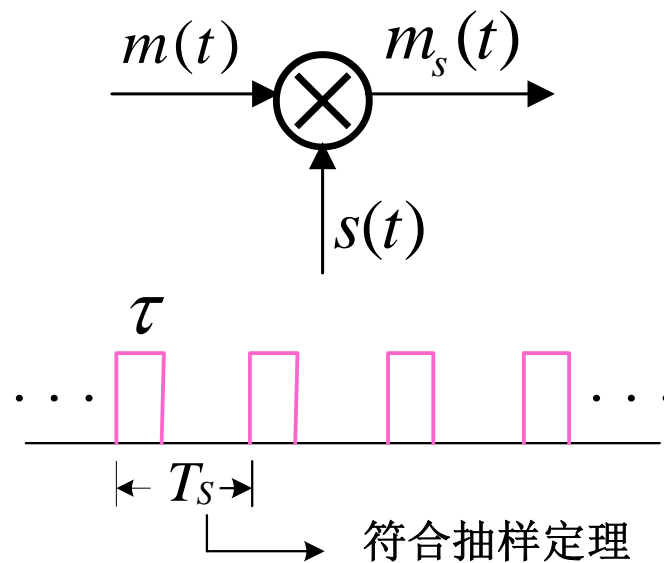
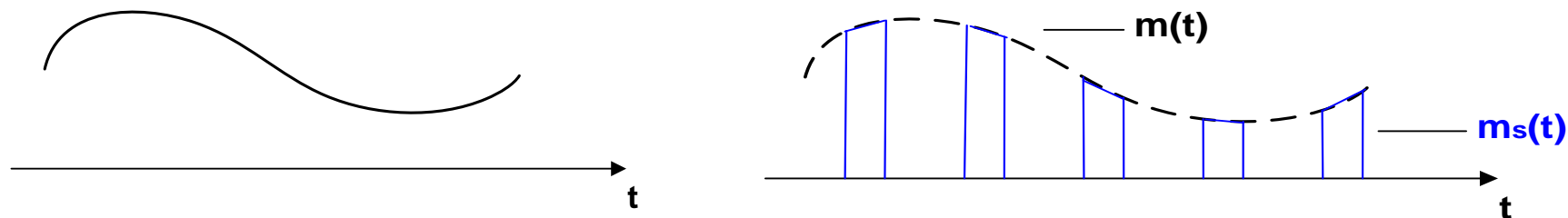
- 理论上，抽样过程 = 周期单位冲激脉冲×模拟信号；
- 实际上，抽样过程 = 周期性单位窄脉冲×模拟信号；

脉冲振幅调制 (PAM) 是脉冲载波的幅度随基带信号变化的一种调制方式。



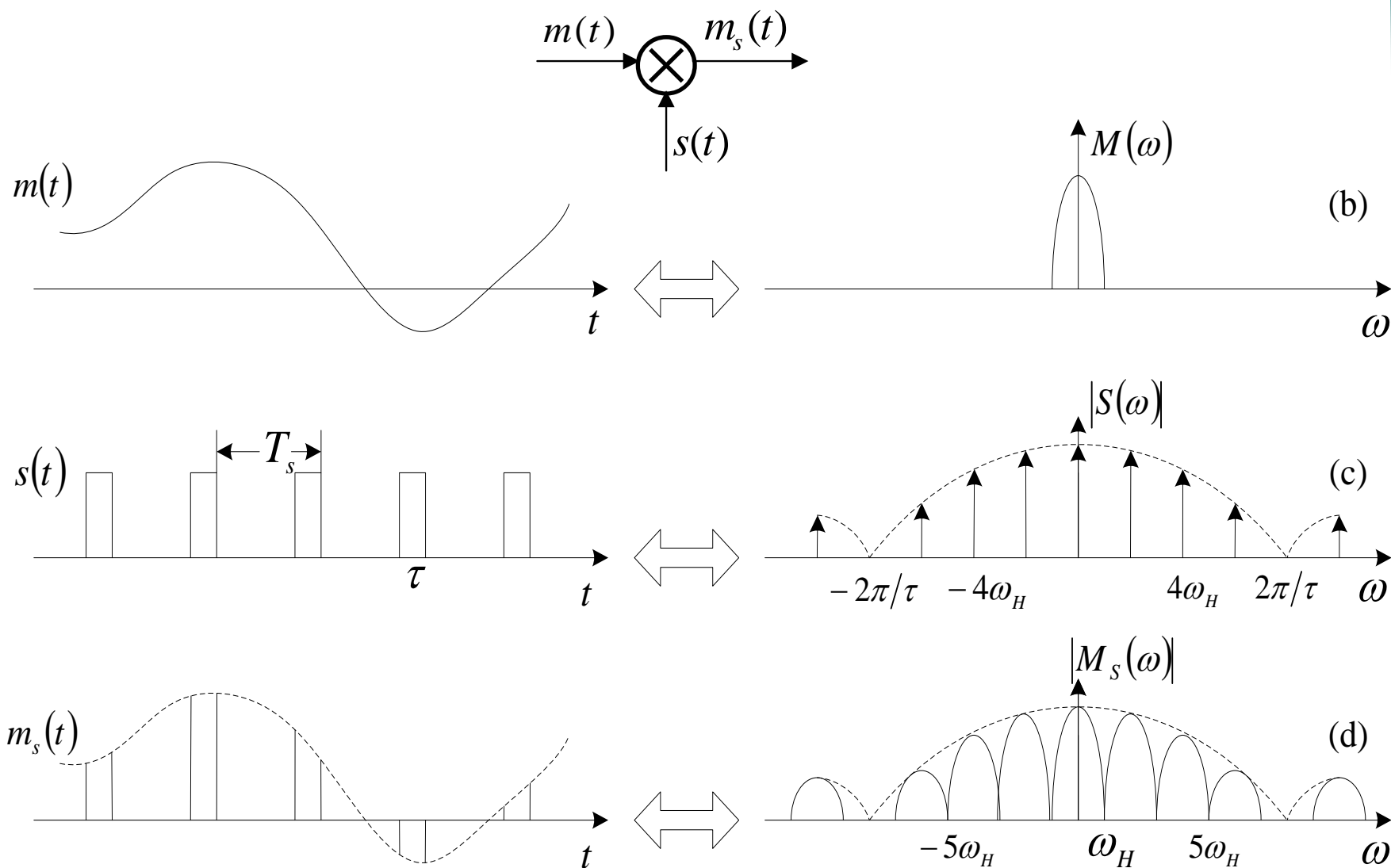
脉冲振幅调制 • 自然抽样

1) 自然抽样的脉冲调幅





脉冲振幅调制 • 自然抽样





脉冲振幅调制 • 自然抽样

自然抽样与理想抽样不同之处是：

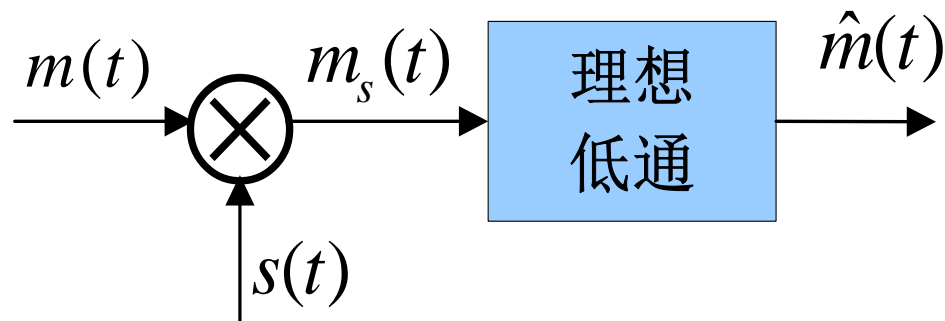
理想抽样的频谱被常数 $1/T$ 加权，因而信号带宽为无穷大；而自然抽样频谱的包络按Sa函数随频率增高而下降，因而带宽是有限的，且带宽与脉宽 τ 有关。

τ 越大，带宽越小，这有利于信号的传输，但 τ 增大会导致时分复用的路数减小，显然 τ 的大小要兼顾带宽和复用路数这两个互相矛盾的要求。



脉冲振幅调制 • 自然抽样

自然抽样的脉冲调幅信号解调原理如下图所示：





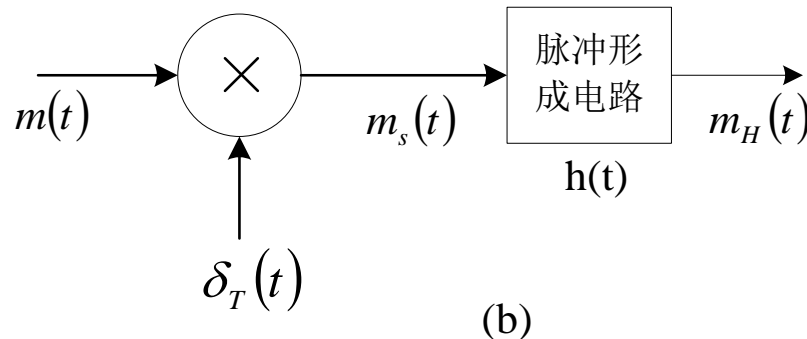
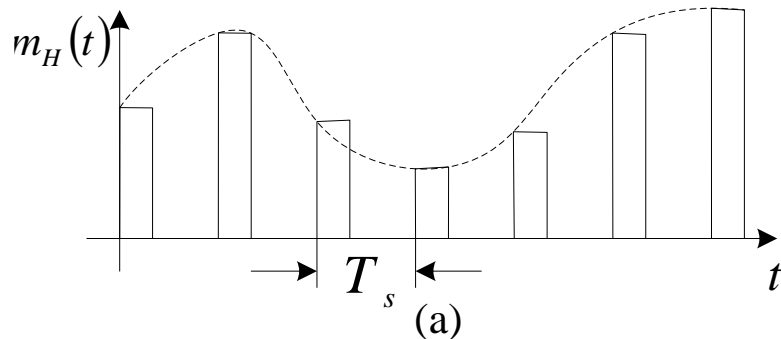
脉冲振幅调制 • 自然抽样

- 自然抽样容易实现，但有时不能满足需要。
 - 需要对抽样的样值进行编码时，要求在编码期间样值保持不变。
- **平顶抽样：**在抽样脉冲期间，样值幅度保持不变。
 - 理论分析
 - 先进行理想抽样，再用一个冲激响应为矩形函数的网络对样值进行保持。
 - 实际实现
 - 窄脉冲自然抽样 + 平顶保持电路



脉冲振幅调制 • 平顶抽样

2) 平顶抽样的PAM



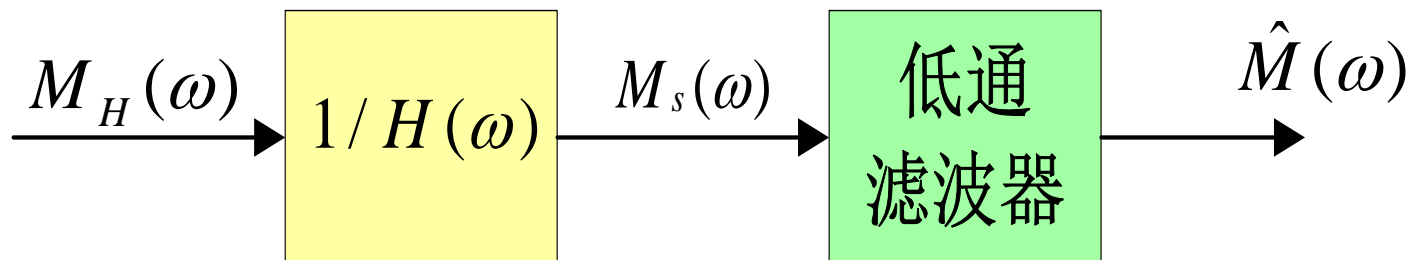
设脉冲形成电路的传输函数为 $H(\omega)$ ，其输出信号频谱应为 $M_H(\omega)$ ：

$$\begin{aligned} M_H(\omega) &= M_S(\omega) \cdot H(\omega) \\ &= \frac{1}{T_s} H(\omega) \cdot \sum_{n=-\infty}^{\infty} M(\omega - 2n\omega_H) = \frac{1}{T_s} \sum_{n=-\infty}^{\infty} H(\omega) M(\omega - 2n\omega_H) \end{aligned}$$

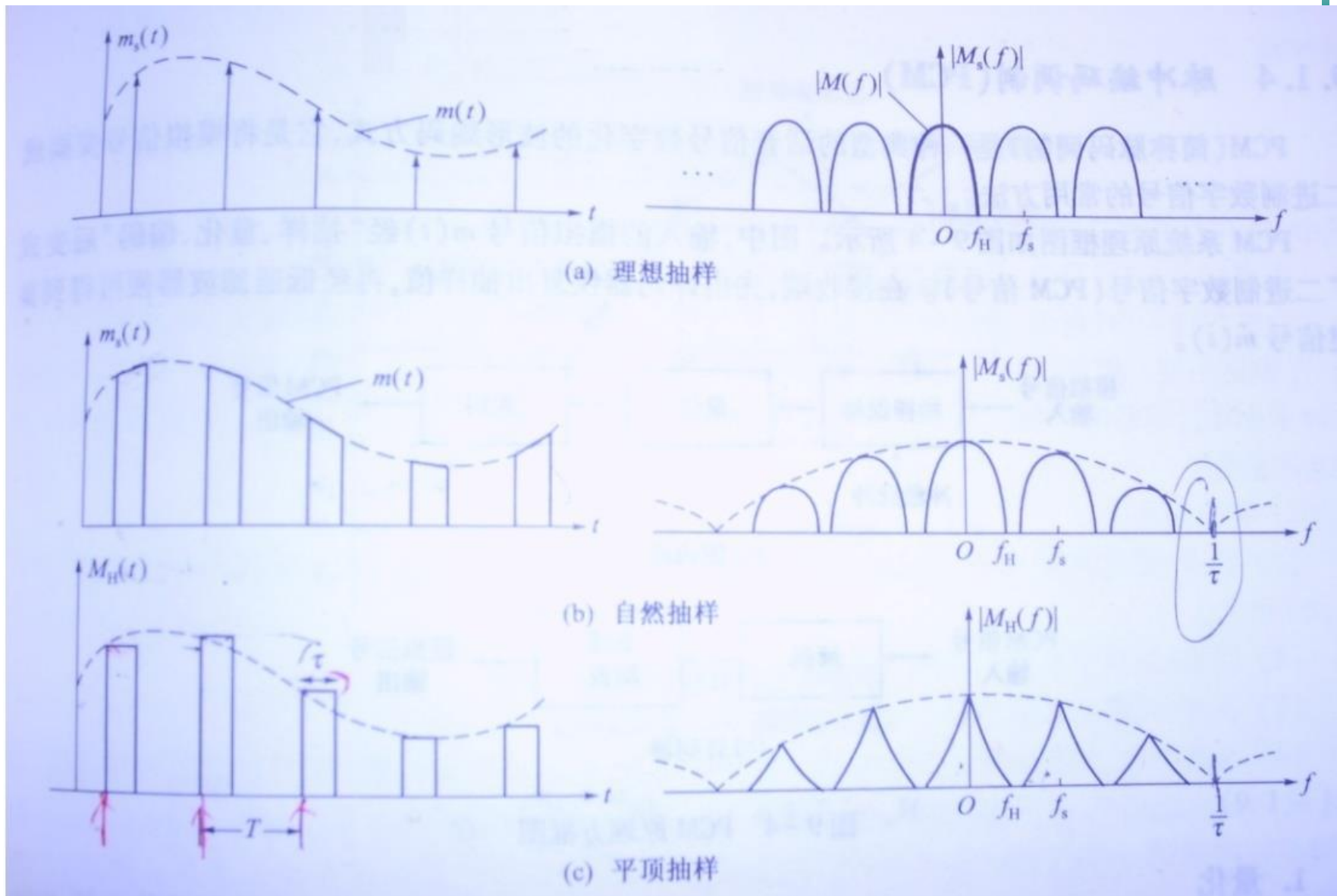


脉冲振幅调制 • 平顶抽样

平顶抽样PAM信号的解调原理框图如下图所示：



$$\hat{M}(\omega) = \left[\frac{1}{H(\omega)} \cdot M_H(\omega) \right] \cdot H_L(\omega) = \frac{1}{T_s} M(\omega)$$





脉冲振幅调制

小结

幅度连续

→ 抽样

幅度连续

时间连续

→

时间离散

