

课程名称：信号安全与目标识别
signal security and recognition

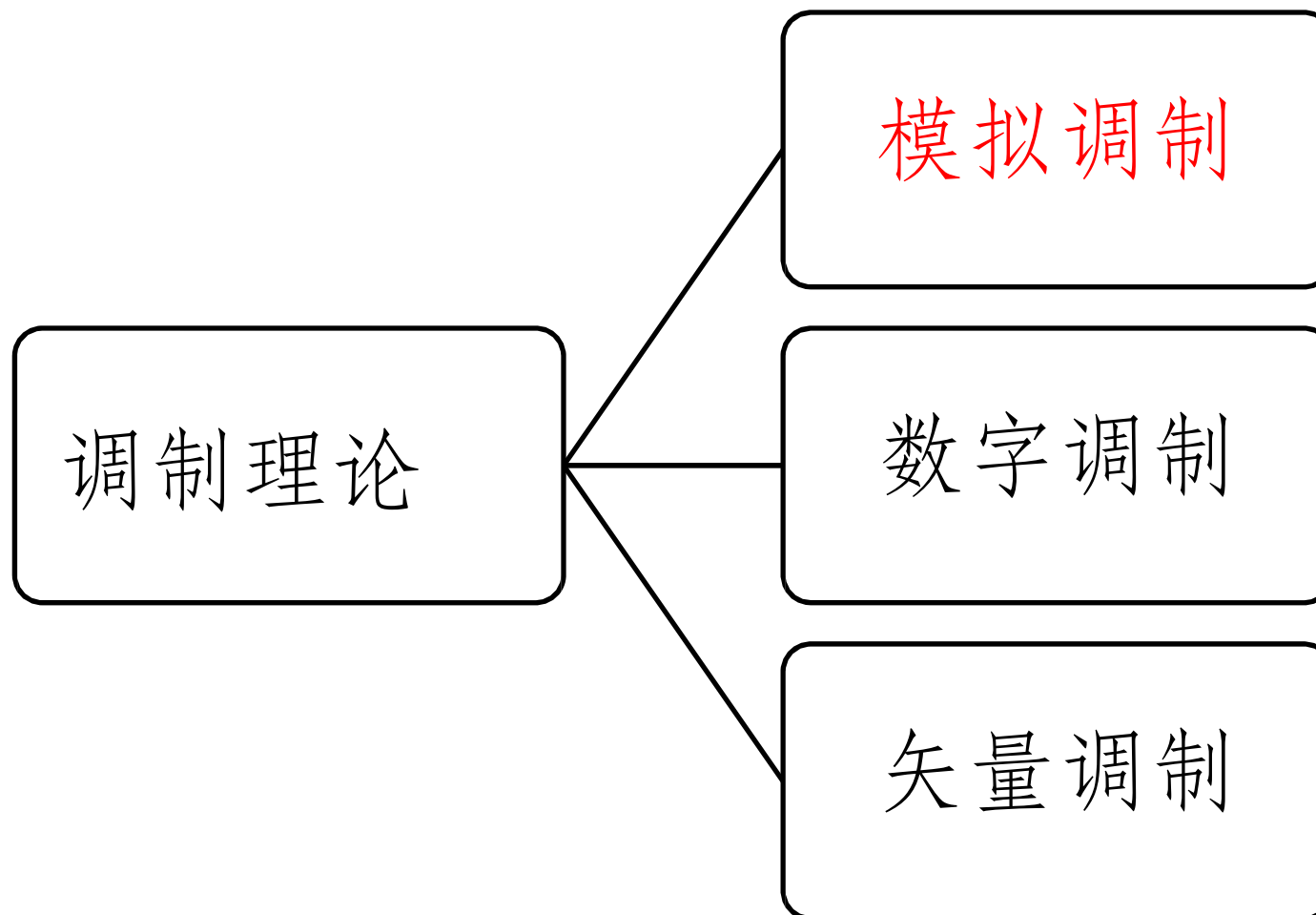
授课教师：黄伟庆、王思叶

课程名称：信号安全与目标识别
signal security and recognition

[第3次课]

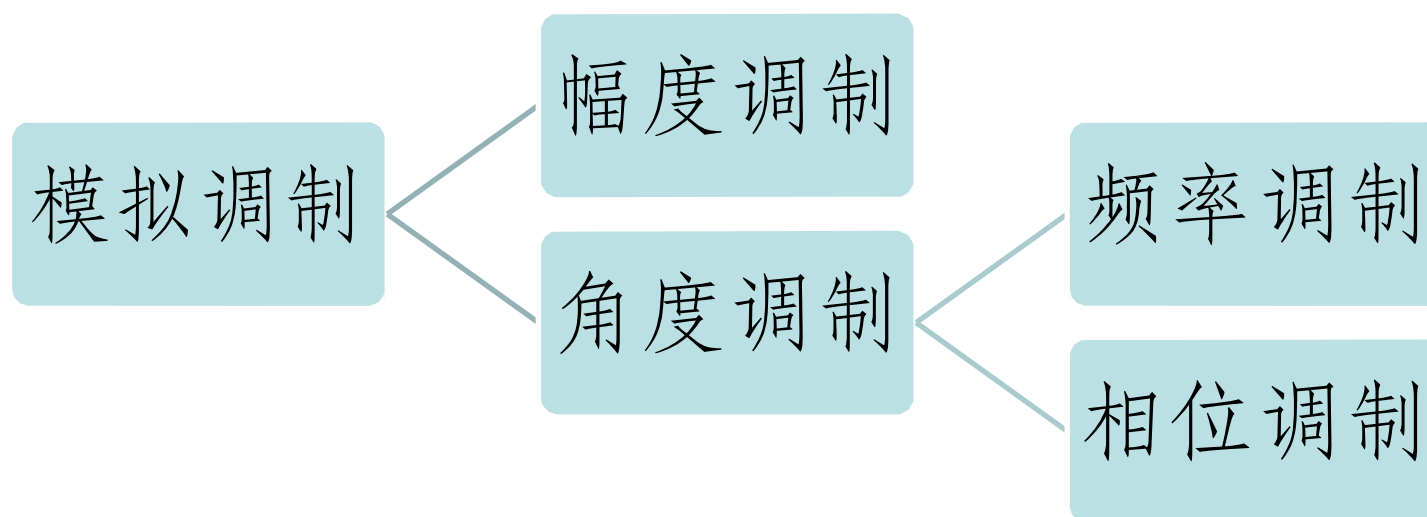
信号调制

授课教师：黄伟庆



信号调制——模拟调制

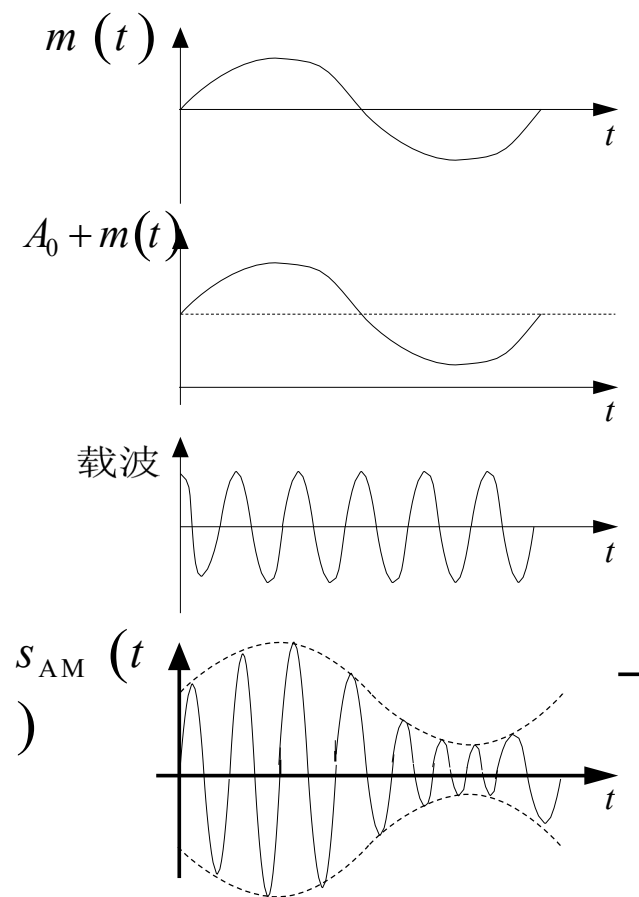
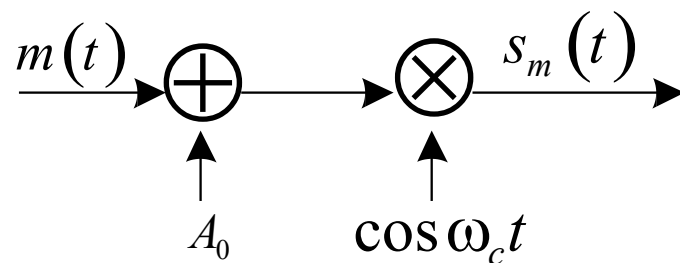
- 模拟调制
 - 直接对模拟信源进行调制；
 - 实现简单，且设备体积小；
 - 通信质量抗干扰性较强；
 - 占用信道宽；
 - 信源易恢复，保密性能差；
 - 应用领域：对讲机、无线麦克风、无线摄像头、无线窃听窃照；



信号调制——模拟调制

- 幅度调制(AM)

- 利用模拟信源控制电磁波幅度的变化;
- 建立模拟信源到载波幅度特征的映射;



信号调制——模拟调制

- 调幅 (**AM**)

- 时域表示式

$$s_{AM}(t) = [A_0 + m(t)] \cos \omega_c t = A_0 \cos \omega_c t + m(t) \cos \omega_c t$$

- 式中 $m(t)$ — 调制信号，均值为0；

- A_0 — 常数，表示叠加的直流分量。

- 频谱：若 $m(t)$ 为确知信号，则AM信号的频谱为

- $\cos(2\pi f_c t) \xrightarrow{F} \frac{1}{2} [\delta(f - f_c) + \delta(f + f_c)]$

F : 傅里
叶变换

- $m(t) \xrightarrow{F} M(f)$

$$S_{AM}(\omega) = \pi A_0 [\delta(\omega + \omega_c) + \delta(\omega - \omega_c)] + \frac{1}{2} [M(\omega + \omega_c) + M(\omega - \omega_c)]$$

信号调制——模拟调制

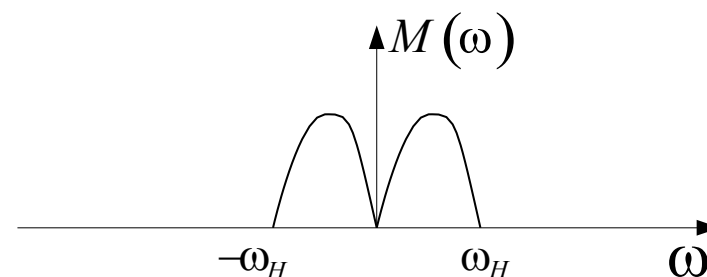
- 频谱图

- 由频谱可以看出，AM信号的频谱由三部分组成

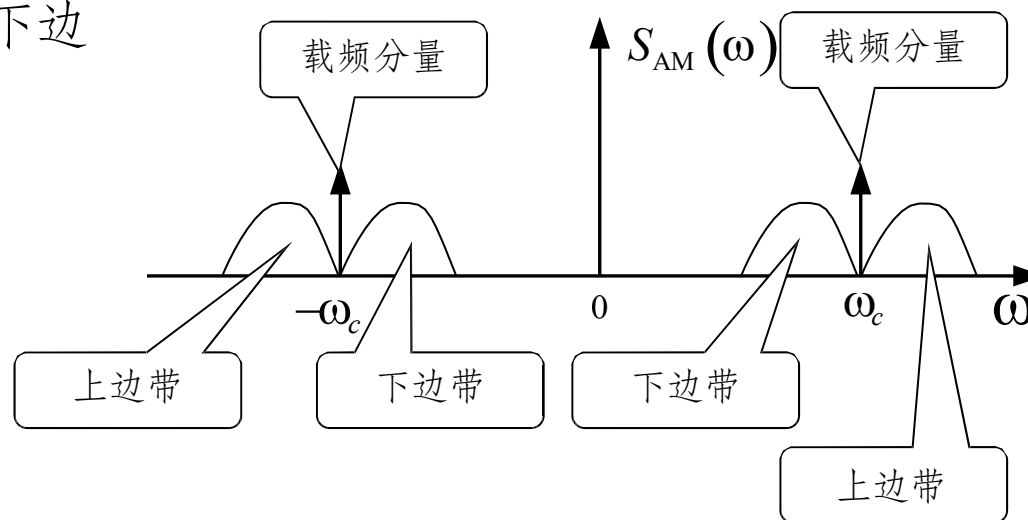
- ✓ 载频分量

- ✓ 上边带

- ✓ 下边带



- 上边带的频谱结构与原调制信号的频谱结构相同，下边带是上边带的镜像。



信号调制——模拟调制

• AM信号的特性

➤ 带宽：它是带有载波分量的双边带信号，带宽是基带信号带宽 f_H 的两倍：

$$B_{AM} = 2f_H$$

➤ 功率：AM信号的总功率包括载波功率和边带功率两部分。只有边带功率才与调制信号有关，载波分量并不携带信息。

当 $m(t)$ 为确知信号时，

$$\begin{aligned} P_{AM} &= \overline{s_{AM}^2(t)} = \overline{[A_0 + m(t)]^2 \cos^2 \omega_c t} \\ &= \overline{A_0^2 \cos^2 \omega_c t} + \overline{m^2(t) \cos^2 \omega_c t} + 2\overline{A_0 m(t) \cos^2 \omega_c t} \end{aligned}$$

若 $\overline{m(t)} = 0$

$$\text{则 } P_{AM} = \frac{A_0^2}{2} + \frac{\overline{m^2(t)}}{2} = P_c + P_s$$

式中 $P_c = A_0^2/2$ — 载波功率，

$P_s = \overline{m^2(t)}/2$ — 边带功率。

信号调制——模拟调制

- 双边带调制 (DSB)

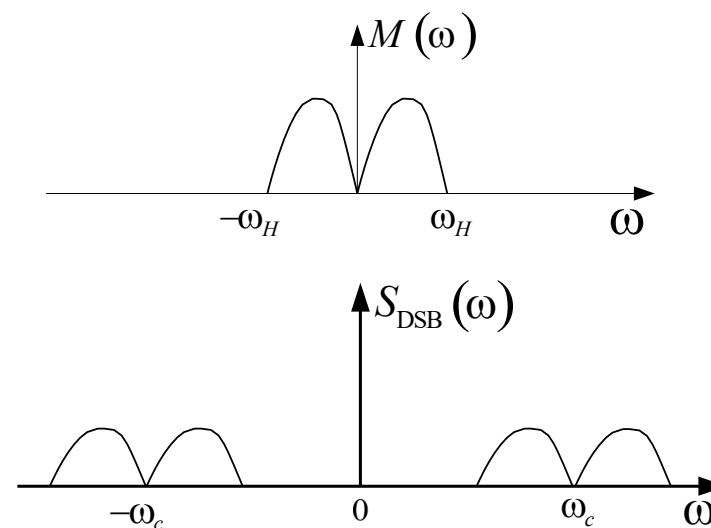
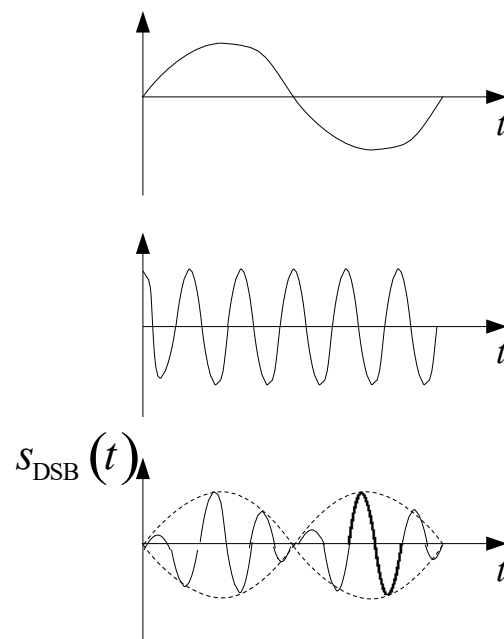
- 时域表示式：无直流分量 A_0

$$s_{DSB}(t) = m(t) \cos \omega_c t$$

- 频谱：无载频分量

$$S_{DSB}(\omega) = \frac{1}{2}[M(\omega + \omega_c) + M(\omega - \omega_c)]$$

- 曲线：



信号调制——模拟调制

- 调制效率：100%
- 优点：节省了载波功率
- 缺点：不能用包络检波(无法满足 $1+m(t)>0$)，需用相干检波，较复杂。

●单边带调制 (SSB)

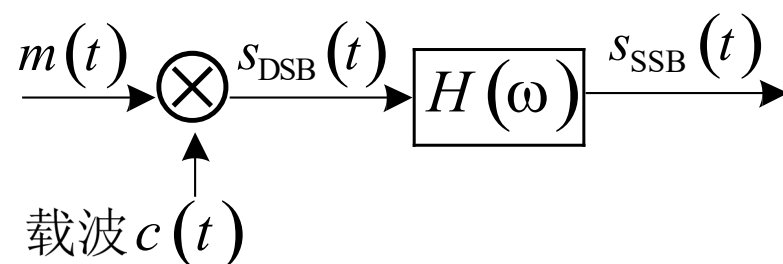
➤原理：

- ✓双边带信号两个边带中的任意一个都包含了调制信号频谱 $M(\omega)$ 的所有频谱成分，因此仅传输其中一个边带即可。这样既节省发送功率，还可节省一半传输频带，这种方式称为单边带调制。
- ✓产生SSB信号的方法：滤波法。

信号调制——模拟调制

●滤波法及SSB信号的频域表示

➤ 滤波法的原理方框图 — 用边带滤波器，滤除不要的边带：



➤ $H(\omega)$ 为单边带滤波器的传输函数，若它具有如下理想高通特性：

$$H(\omega) = H_{USB}(\omega) = \begin{cases} 1, & |\omega| > \omega_c \\ 0, & |\omega| \leq \omega_c \end{cases}$$

则可滤除下边带。

➤ 若具有如下理想低通特性：

$$H(\omega) = H_{LSB}(\omega) = \begin{cases} 1, & |\omega| < \omega_c \\ 0, & |\omega| \geq \omega_c \end{cases}$$

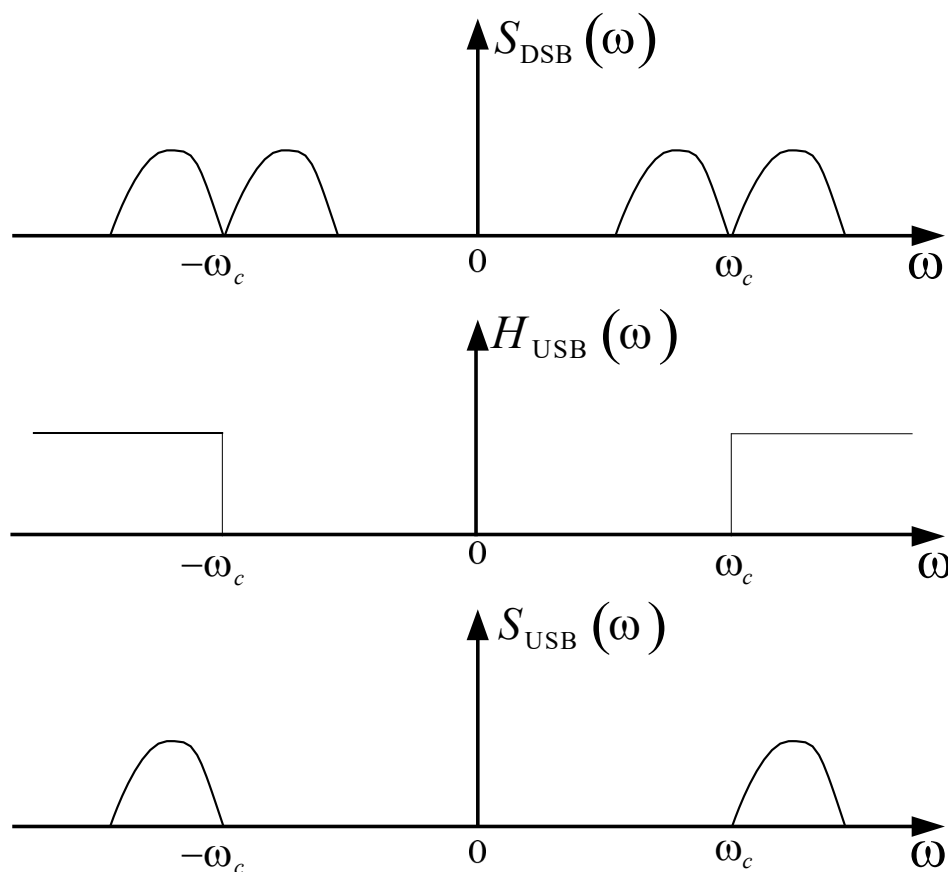
则可滤除上边带。

信号调制——模拟调制

➤ SSB信号的频谱

$$S_{SSB}(\omega) = S_{DSB}(\omega) \cdot H(\omega)$$

➤ 上边带频谱图:



信号调制——模拟调制

- SSB信号的时域表示

- 设单频调制信号为
- 载波为

$$m(t) = A_m \cos \omega_m t$$

$$c(t) = \cos \omega_c t$$

- 则DSB信号的时域表示式为

$$\begin{aligned} s_{DSB}(t) &= A_m \cos \omega_m t \cos \omega_c t \\ &= \frac{1}{2} A_m \cos(\omega_c + \omega_m)t + \frac{1}{2} A_m \cos(\omega_c - \omega_m)t \end{aligned}$$

- 若保留上边带，则有

$$s_{USB}(t) = \frac{1}{2} A_m \cos(\omega_c + \omega_m)t = \frac{1}{2} A_m \cos \omega_m t \cos \omega_c t - \frac{1}{2} A_m \sin \omega_m t \sin \omega_c t$$

- 若保留下边带，则有

$$s_{LSB}(t) = \frac{1}{2} A_m \cos(\omega_c - \omega_m)t = \frac{1}{2} A_m \cos \omega_m t \cos \omega_c t + \frac{1}{2} A_m \sin \omega_m t \sin \omega_c t$$

信号调制——模拟调制

●SSB信号的解调

- SSB信号的解调和DSB一样，不能采用简单的包络检波，因为SSB信号也是抑制载波的已调信号，它的包络不能直接反映调制信号的变化，所以仍需采用相干解调。

●SSB信号的性能

- SSB信号的实现比AM、DSB要复杂，但SSB调制方式在传输信息时，不仅可节省发射功率，而且它所占用的频带宽度比AM、DSB减少了一半。它目前已成为短波通信中一种重要的调制方式。

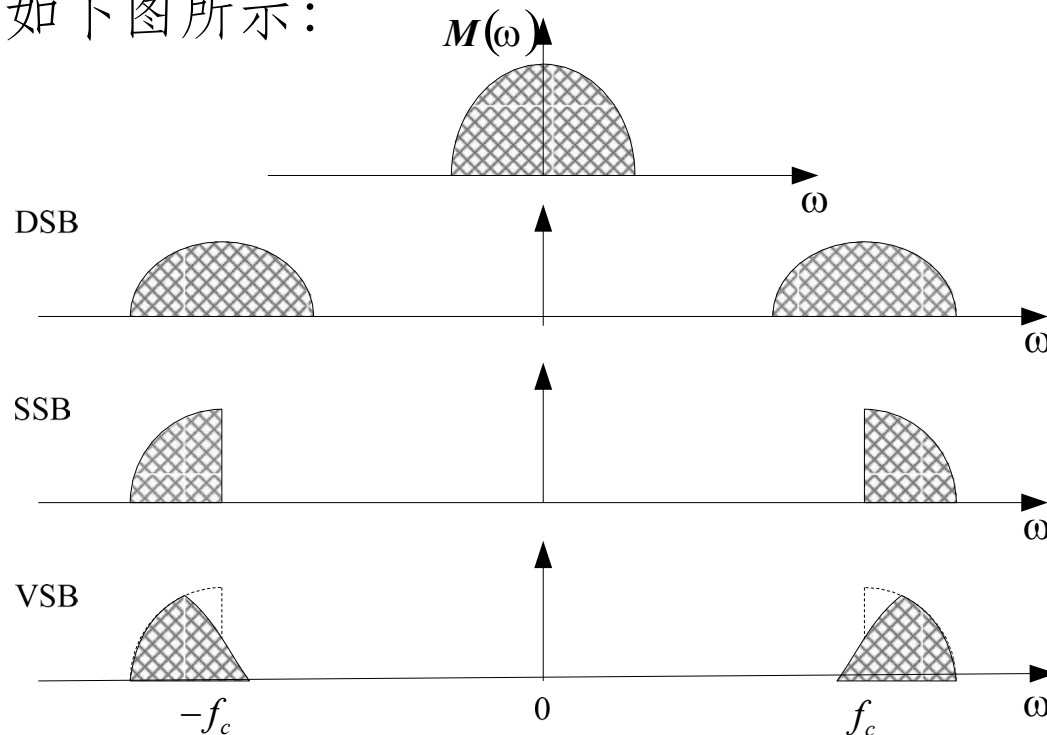
●但滤波器的实现是一个难点

- 滤波特性很难做到具有陡峭的截止特性；

信号调制——模拟调制

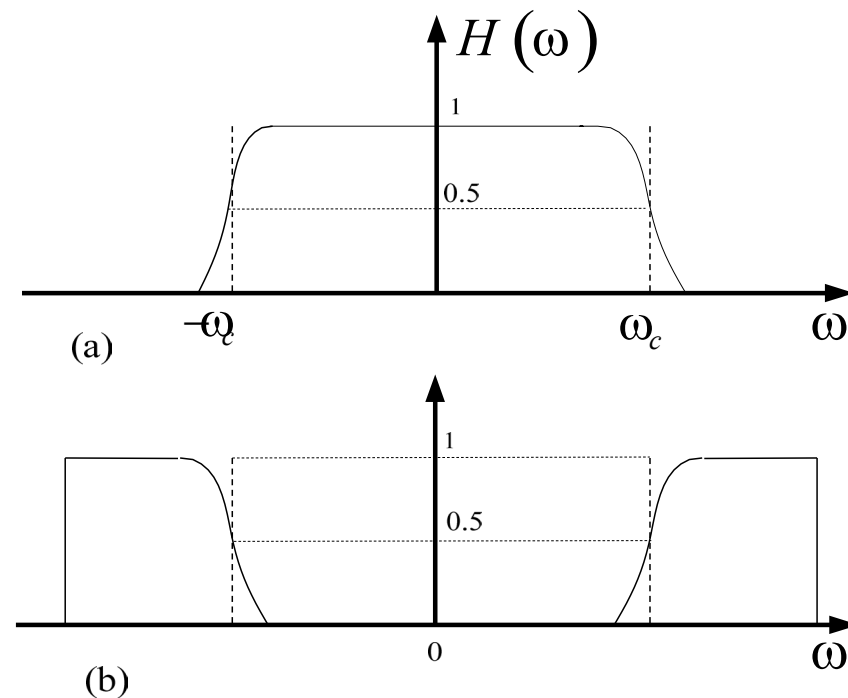
- 残留边带 (VSB) 调制

➤ 原理：残留边带调制是介于SSB与DSB之间的一种折中方式，它既克服了DSB信号占用频带宽的缺点，又解决了SSB信号实现中的困难。在这种调制方式中，不像SSB那样完全抑制DSB信号的一个边带，而是逐渐切割，使其残留一小部分，如下图所示：



信号调制——模拟调制

- 残留边带滤波器特性的两种形式
 - 残留“部分上边带”的滤波器特性：下图(a)
 - 残留“部分下边带”的滤波器特性：下图(b)



信号调制——模拟调制

- 非线性调制（角度调制）的原理
 - 角度调制：频率调制和相位调制的总称。
 - 频率调制简称调频(FM)，相位调制简称调相(PM)。
 - 这两种调制中，载波的幅度保持恒定，载波的瞬时频率和瞬时相位随时间变化。
 - 已调信号频谱不再是原调制信号频谱的线性搬移，而是频谱的非线性变换，会产生新的频率成分，故又称为非线性调制。
 - 与幅度调制技术相比，角度调制最突出的优势是其较高的抗噪声性能。

信号调制——模拟调制

- 角度调制的基本概念

- FM和PM信号的一般表达式

$$s_m(t) = A \cos[\omega_c t + \varphi(t)]$$

式中：

- ✓ A — 载波的恒定振幅；
- ✓ $[\omega_c t + \varphi(t)] = \theta(t)$ — 信号的瞬时相位；
- ✓ $\varphi(t)$ — 瞬时相位偏移；
- ✓ $d[\omega_c t + \varphi(t)]/dt = \omega(t)$ — 称为瞬时角频率；
- ✓ $d\varphi(t)/dt$ — 称为瞬时频偏。

信号调制——模拟调制

- 相位调制(PM): 瞬时相位偏移随调制信号作线性变化, 即

$$\varphi(t) = K_p m(t)$$

式中 K_p — 调相灵敏度, 含义是单位调制信号幅度引起PM信号的相位偏移量, 单位是rad/V。

将上式代入一般表达式

$$s_m(t) = A \cos[\omega_c t + \varphi(t)]$$

得到PM信号表达式

$$s_{PM}(t) = A \cos[\omega_c t + K_p m(t)]$$

信号调制——模拟调制

- 频率调制(FM): 瞬时频率偏移随调制信号成比例变化, 即

$$\frac{d\varphi(t)}{dt} = K_f m(t)$$

式中 K_f — 调频灵敏度, 单位是rad/s·V。

这时相位偏移为

$$\varphi(t) = K_f \int m(\tau) d\tau$$

将其代入一般表达式

$$s_m(t) = A \cos[\omega_c t + \varphi(t)]$$

得到FM信号表达式

$$s_{FM}(t) = A \cos[\omega_c t + K_f \int m(\tau) d\tau]$$

信号调制——模拟调制

- PM与FM的区别

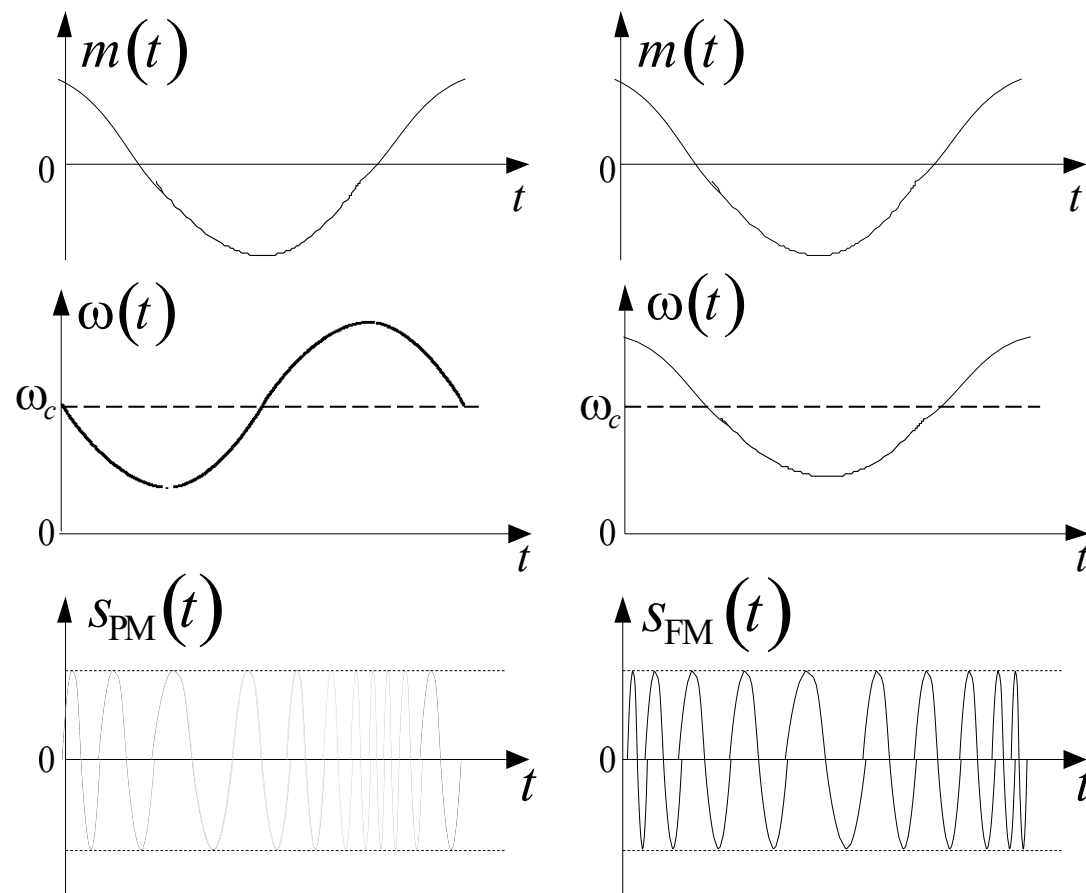
$$s_{PM}(t) = A \cos[\omega_c t + K_p m(t)]$$

$$s_{FM}(t) = A \cos[\omega_c t + K_f \int m(\tau) d\tau]$$

- 比较上两式可见，PM是相位偏移随调制信号 $m(t)$ 线性变化，FM是相位偏移随 $m(t)$ 的积分呈线性变化。
- 如果预先不知道调制信号 $m(t)$ 的具体形式，则无法判断已调信号是调相信号还是调频信号。

信号调制——模拟调制

- PM 信号和FM 信号波形



(a) PM 信号波形

(b) FM 信号波形

信号调制——模拟调制

• 5.5 各种模拟调制系统的比较

调制方式	传输带宽	S_o / N_o	设备复杂程度	主要应用
AM	$2f_m$	$\left(\frac{S_o}{N_o}\right)_{\text{AM}} = \frac{1}{3} \left(\frac{S_i}{n_0 f_m}\right)$	简单	中短波无线电广播
DSB	$2f_m$	$\left(\frac{S_o}{N_o}\right)_{\text{DSB}} = \left(\frac{S_i}{n_0 f_m}\right)$	中等	应用较少
SSB	f_m	$\left(\frac{S_o}{N_o}\right)_{\text{SSB}} = \left(\frac{S_i}{n_0 f_m}\right)$	复杂	短波无线电广播、话音频分复用、载波通信、数据传输
VSB	略大于 f_m	近似SSB	复杂	电视广播、数据传输
FM	$2(m_f + 1)f_m$	$\left(\frac{S_o}{N_o}\right)_{\text{FM}} = \frac{3}{2} m_f^2 \left(\frac{S_i}{n_0 f_m}\right)$	中等	超短波小功率电台（窄带FM）；调频立体声广播等高质量通信（宽带FM）

信号调制——模拟调制

一 频带利用率

SSB的带宽最窄，其频带利用率最高；**FM**占用的带宽随调频指数 m_f 的增大而增大，其频带利用率最低。可以说，**FM**是以牺牲有效性来换取可靠性的。因此， m_f 值的选择要从通信质量和带宽限制两方面考虑。对于高质量通信（高保真音乐广播，电视伴音、双向式固定或移动通信、卫星通信和蜂窝电话系统）采用**WBFM**， m_f 值选大些。对于一般通信，要考虑接收微弱信号，带宽窄些，噪声影响小，常选用 m_f 较小的调频方式。

信号调制——模拟调制

— 特点与应用

- **AM**: 优点是接收设备简单; 缺点是功率利用率低, 抗干扰能力差。主要用在中波和短波调幅广播。
- **DSB**调制: 优点是功率利用率高, 且带宽与**AM**相同, 但设备较复杂。应用较少, 一般用于点对点专用通信。
- **SSB**调制: 优点是功率利用率和频带利用率都较高, 抗干扰能力和抗选择性衰落能力均优于**AM**, 而带宽只有**AM**的一半; 缺点是发送和接收设备都复杂。**SSB**常用于频分多路复用系统中。
- **VSB**调制: 抗噪声性能和频带利用率与**SSB**相当。在电视广播、数传等系统中得到了广泛应用。
- **FM**: **FM**的抗干扰能力强, 广泛应用于长距离高质量的通信系统中。缺点是频带利用率低, 存在门限效应。

Q&A