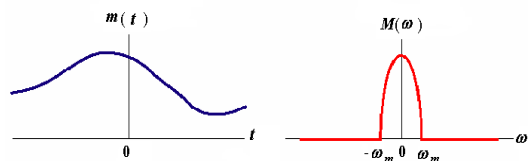


§ 4.2 振幅调制

- 连续时间信号的模拟调制常以正弦波为载波对信号进行调制
- 信号一般可调制在载波(carrier)的振幅、频率(或相位)上
- 被调制的信号 $m(t)$ 一般被视为有限频带的信号
- 信号 $m(t)$ 的频谱记为 $M(\omega)$, 最高频率设为 ω_m



- 载波信号 $c(t)$ 的频率 ω_c 一般远大于 ω_m ($\omega_c \gg \omega_m$)

53

1

- 调制后的信号一般为一窄带信号
- 任一窄带信号 $x(t)$ 可以表示为低通信号 $x_c(t)$ 和 $x_s(t)$ 的函数：

$$x(t) = x_c(t) \cos \omega_c t + x_s(t) \sin \omega_c t$$

$$= \sqrt{x_c^2(t) + x_s^2(t)} \left[\frac{x_c(t)}{\sqrt{x_c^2(t) + x_s^2(t)}} \cos \omega_c t + \frac{x_s(t)}{\sqrt{x_c^2(t) + x_s^2(t)}} \sin \omega_c t \right]$$

$$= \alpha(t) \cos[\omega_c t + \phi(t)]$$

其中 $\alpha(t) = \sqrt{x_c^2(t) + x_s^2(t)}$, $\phi(t) = -\tan^{-1} \frac{x_s(t)}{x_c(t)}$

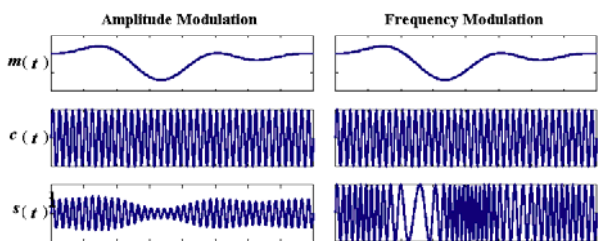
53

2

• 两类调制方式

- 振幅调制：信号 $m(t)$ 调制在 $\alpha(t)$ 上, $\phi(t)$ 为常数
- 角调制(频率调制、相位调制)：信号 $m(t)$ 调制在 $\phi(t)$ 上, $\alpha(t)$ 为常数

$$x(t) = \underbrace{\alpha(t)}_{\text{AM}} \cos \left(\omega_c t + \underbrace{\phi(t)}_{\text{PM or FM}} \right)$$

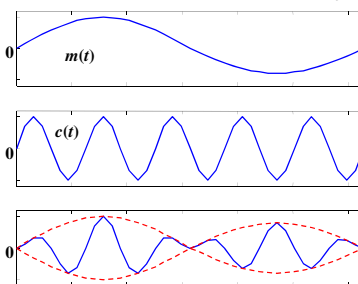


一、双边带(DSB)调制

1、DSB调制的定义

- DSB调制：将被调制信号 $m(t)$ 和载波信号 $c(t)$ 相乘

$$s(t) = m(t) \times c(t) = m(t) \cos \omega_c t$$



53

4

- DSB调制信号 $s(t)$ 的包络与被调信号 $m(t)$ 的绝对值成正比

2、DSB调制信号的频谱和带宽

$$s(t) = m(t) \cos \omega_c t \Rightarrow$$

$$S(\omega) = \frac{1}{2\pi} \{M(\omega) * [F(\cos \omega_c t)]\}$$

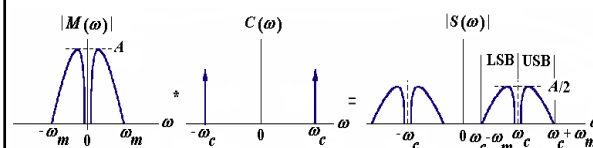
$$= \frac{1}{2\pi} \{M(\omega) * \pi[\delta(\omega + \omega_c) + \delta(\omega - \omega_c)]\}$$

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

$$= \frac{1}{2} M(\omega + \omega_c) + \frac{1}{2} M(\omega - \omega_c)$$

53

5



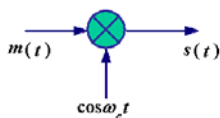
- DSB调制信号包含两个边带：
 - 位于 $|\omega| > \omega_c$ 的部分称为上边带(Upper Side Band, USB)
 - 位于 $|\omega| < \omega_c$ 的部分称为下边带(Lower Side Band, LSB)
- DSB调制信号的上下边带对称
- DSB调制信号的带宽为 $2\omega_m$
- DSB调制信号没有载频分量, 严格来说称为载波抑制双边带信号(DSB-SC)

53

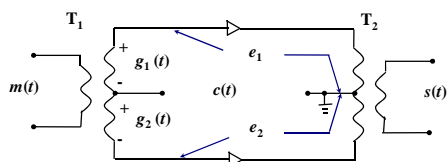
6

3、DSB信号的调制

- 被调信号 $m(t)$ 与载波信号 $c(t)$ 相乘



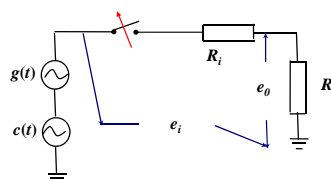
- 可通过平衡调制器实现
- 平衡调制器：使两信号相乘，且因对称性平衡掉载波频率项



53

7

- T_1 为低频变压器， T_2 为高频变压器 (且起高频带通滤波作用)
- 二极管导通与否取决于 $c(t)$ 的极性 (条件： $c(t)$ 足够大)
- $c(t) > 0$ ，二极管导通，内阻为 R_i (负载设为 R_L)
- $c(t) < 0$ ，二极管截止
- 平衡调制器的单边等效电路为：



- 加在二极管上的电压为：

$$e_i(t) = c(t) + g(t) = A \cos \omega_c t + g(t)$$

53

8

- 输出电压为：

$$e_o(t) = \begin{cases} \frac{R_L}{R_i + R_L} e_i(t) = K e_i(t) & A \cos \omega_c t > 0 \\ 0 & A \cos \omega_c t < 0 \end{cases}$$

$$= [A \cos \omega_c t + g(t)] P(t)$$

其中 $P(t)$ 为周期开关信号：

$$P(t) = \begin{cases} K \frac{T}{4} - nT < t < \frac{T}{4} + nT, & T = \frac{2\pi}{\omega_c} \\ 0 & \text{else} \end{cases}$$

- $P(t)$ 可以用傅里叶级数表示：

$$P(t) = K \left[\frac{1}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} Sa \left[\frac{(2n+1)\pi}{2} \right] \cos(2n+1)\omega_c t \right]$$

53

9

- 平衡调制器上半部分的输出电压为：

$$e_{o1}(t) = K \left\{ \frac{1}{2} [A \cos \omega_c t + g_1(t)] + \frac{2}{\pi} \cos \omega_c t [A \cos \omega_c t + g_1(t)] \right. \\ \left. + \phi(t) [A \cos \omega_c t + g_1(t)] \right\} = K \left[\frac{1}{2} A \cos \omega_c t + \frac{1}{2} g_1(t) \right. \\ \left. + \frac{2}{\pi} A \cos^2 \omega_c t + \frac{2}{\pi} g_1(t) \cos \omega_c t + \phi_1(t) + \phi_2(t) \right]$$

其中 $\phi(t) = \sum_{n=1}^{\infty} Sa \left[\frac{(2n+1)\pi}{2} \right] \cos(2n+1)\omega_c t$

$$\phi_1(t) = A \cos \omega_c t \phi(t) = \sum_{n=1}^{\infty} Sa \left[\frac{(2n+1)\pi}{2} \right] A \cos \omega_c t \cos(2n+1)\omega_c t$$

$$\phi_2(t) = g_1(t) \phi(t) = \sum_{n=1}^{\infty} Sa \left[\frac{(2n+1)\pi}{2} \right] g_1(t) \cos(2n+1)\omega_c t$$

53

10

- 对于平衡调制器的下半部分，其输入电压为：

$$e_{i2}(t) = c(t) + g_2(t) = A \cos \omega_c t - g_1(t)$$

- 类似地，其输出电压为：

$$e_{o2}(t) = K \left[\frac{1}{2} A \cos \omega_c t - \frac{1}{2} g_1(t) + \frac{2}{\pi} A \cos^2 \omega_c t \right. \\ \left. - \frac{2}{\pi} g_1(t) \cos \omega_c t + \phi_1(t) - \phi_2(t) \right]$$

- 变压器 T_2 的初级输入为：

$$e_{o1}(t) - e_{o2}(t) = K \left[g_1(t) + \frac{4}{\pi} g_1(t) \cos \omega_c t + 2\phi_2(t) \right]$$

- 变压器 T_1 的作用： $g_1(t) = m(t)$

53

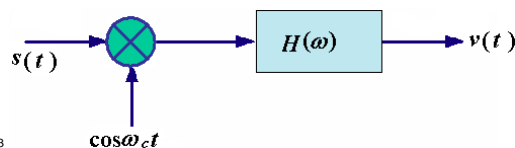
11

- $\phi_2(t)$ 各分量的频率均远大于 ω_c
- 变压器 T_2 起带通滤波作用，只取出 ω_c 附近的分量

$$e_o(t) = K \cdot \frac{4}{\pi} m(t) \cos \omega_c t = k \cdot m(t) \cos \omega_c t$$

4、DSB信号的解调

- DSB调制信号的包络与 $|m(t)|$ 成正比，不与 $m(t)$ 成正比
- 不能用包络检波的方法进行解调
- 需用相干解调的方法：本地振荡器产生一个频率和相位与载波一致的信号与接收信号相乘，再用低通滤波取出调制信号



53

12

- 设接收的调制信号为： $s(t) = m(t) \cos(\omega_c t + \theta_c)$
- 本地产生的信号为： $c_0(t) = \cos(\omega_0 t + \theta_0)$

$$r(t) = s(t) \cos(\omega_0 t + \theta_0) = m(t) \cos(\omega_c t + \theta_c) \cos(\omega_0 t + \theta_0)$$

$$= \frac{1}{2} m(t) \cos[(\omega_c - \omega_0)t + \theta_c - \theta_0] + \frac{1}{2} m(t) \cos[(\omega_c + \omega_0)t + \theta_c + \theta_0]$$

- 若本地产生的信号的频率和相位与载波信号相同：
 $\omega_c = \omega_0, \theta_c = \theta_0$
 $\Rightarrow r(t) = \frac{1}{2} m(t) + \frac{1}{2} m(t) \cos(2\omega_c t + 2\theta_c)$
- 经过低通滤波，得到：
 $v(t) \propto m(t)$

53

13

- 观察一下频谱的变化

$$s(t) = m(t) \cos \omega_c t \Rightarrow S(\omega) = \frac{1}{2} [M(\omega + \omega_c) + M(\omega - \omega_c)]$$

53

14

$$r(t) = s(t) \cos \omega_c t = [m(t) \cos \omega_c t] \cos \omega_c t$$

$$R(\omega) = \frac{1}{2\pi} S(\omega) * \pi[\delta(\omega + \omega_c) + \delta(\omega - \omega_c)] = \frac{1}{2} S(\omega + \omega_c) + \frac{1}{2} S(\omega - \omega_c)$$

$$= \frac{1}{4} M(\omega) + \frac{1}{4} M(\omega + 2\omega_c) + \frac{1}{4} M(\omega - 2\omega_c)$$

$$+ \frac{1}{4} M(\omega) = \frac{1}{2} M(\omega) + \frac{1}{4} M(\omega + 2\omega_c) + \frac{1}{4} M(\omega - 2\omega_c)$$

$$\therefore V(\omega) = R(\omega)H(\omega) = M(\omega)$$

53

15

53

16

- 解调中仍可用平衡调制器，只是 T_1 为高频变压器(传输DSB调制信号)， T_2 为低频变压器(起低通滤波作用)
- 当本地信号和载波存在频率误差和/或相位误差：
 $\Delta\omega = \omega_0 - \omega_c, \Delta\theta = \theta_0 - \theta_c$
- 解调(相乘、低通滤波)后的信号为：
 $v(t) = m(t) \cos(\Delta\omega t + \Delta\theta)$
 无法准确恢复信号 $m(t)$
- 相干解调对本地振荡信号的频率和相位有严格要求
- 方法：各种频率稳定系统/DSB信号中传输一定载波分量作为导频，以产生本地振荡信号
- DSB调制不是一种实用的通信制式(带宽、解调)

53

17

二、常规双边带调制(Amplitude Modulation, AM)

- AM是无线电广播所采用的振幅调制方式

1、AM定义

- AM：使已调信号 $s(t)$ 的包络随被调信号 $m(t)$ 变化

$$s(t) = A[1 + K_m m(t)]c(t) = A[1 + K_m m(t)] \cos \omega_c t$$

其中常数 $K_m > 0$ 称为调幅指数

- 为保证已调信号 $s(t)$ 的包络随被调信号 $m(t)$ 变化，应有：
 $[1 + K_m m(t)] \geq 0 \rightarrow K_m [m(t)_{\min} |m(t) < 0|] \leq 1$
 if $[m(t)_{\min} |m(t) < 0|] \geq [m(t)_{\max} |m(t) > 0|]$
 then $K_m |m(t)|_{\max} \leq 1$

53

18

• 上述条件不满足，已调信号包络与被调信号不同：**过调制**

53 19

2、AM调制信号的频谱和带宽

$$s(t) = A[1 + K_m m(t)] \cos \omega_c t = A \cos \omega_c t + AK_m m(t) \cos \omega_c t$$

$$\therefore S(\omega) = \pi A \delta(\omega - \omega_c) + \pi A \delta(\omega + \omega_c) + \frac{1}{2} AK_m M(\omega - \omega_c) + \frac{1}{2} AK_m M(\omega + \omega_c)$$

• AM信号的频谱比DSB信号多一个载波频率项
• AM信号的带宽为 $2\omega_m$

20

3、AM调制信号的功率分配问题

• AM信号可以写成：

$$s(t) = A \cos \omega_c t + AK_m m(t) \cos \omega_c t = A \cos \omega_c t + f(t) \cos \omega_c t$$

其中 $AK_m m(t) = f(t)$ 且满足 $A + f(t) \geq 0$

• AM信号的平均功率(信号平方的时间平均)为：

$$P = \overline{s^2(t)} = \overline{[A + f(t)]^2 \cos^2 \omega_c t}$$

$$= A^2 \overline{\cos^2 \omega_c t} + \overline{f^2(t) \cos^2 \omega_c t} + 2A \overline{f(t) \cos^2 \omega_c t}$$

• 假设 $f(t)$ 没有直流分量： $\overline{f(t)} = 0$

$$\overline{\cos^2 \omega_c t} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \overline{\cos 2\omega_c t}, \quad \overline{\cos 2\omega_c t} = 0$$

$$\therefore P = \frac{1}{2} A^2 + \frac{1}{2} \overline{f^2(t)} = P_c + P_{SB}$$

53 21

• 功率利用率 η ：边带功率 P_{SB} 与平均功率 P 之比

$$\eta = \frac{P_{SB}}{P} = \frac{P_{SB}}{P_c + P_{SB}}$$

• 当被调信号为单频信号时： $m(t) = A_m \cos \omega_m t$

• 若实现百分之百的调制： $K_m A_m = 1$

$$s(t) = A \cos \omega_c t + AK_m m(t) \cos \omega_c t = A \cos \omega_c t + f(t) \cos \omega_c t$$

$$f(t) = AK_m A_m \cos \omega_m t = A \cos \omega_m t$$

$$f(t) \cos \omega_c t = \frac{1}{2} A \cos(\omega_c - \omega_m)t + \frac{1}{2} A \cos(\omega_c + \omega_m)t$$

$$\therefore P_c = \frac{1}{2} A^2, \quad P_{SB} = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{2} A\right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{1}{2} A\right)^2 = \frac{1}{4} A^2$$

53 22

$$\Rightarrow \eta = \frac{P_{SB}}{P} = \frac{P_{SB}}{P_c + P_{SB}} = \frac{A^2/4}{A^2/2 + A^2/4} = \frac{1}{3}$$

载波功率占了2/3

• 若调制指数取得很小，如： $K_m A_m = 1/3$

$$s(t) = A \cos \omega_c t + AK_m m(t) \cos \omega_c t = A \cos \omega_c t + f(t) \cos \omega_c t$$

$$f(t) = AK_m A_m \cos \omega_m t = \frac{1}{3} A \cos \omega_m t$$

$$f(t) \cos \omega_c t = \frac{1}{6} A \cos(\omega_c - \omega_m)t + \frac{1}{6} A \cos(\omega_c + \omega_m)t$$

$$\therefore P_c = \frac{1}{2} A^2, \quad P_{SB} = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{6} A\right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{1}{6} A\right)^2 = \frac{1}{36} A^2$$

53 23

$$\Rightarrow \eta = \frac{P_{SB}}{P} = \frac{P_{SB}}{P_c + P_{SB}} = \frac{A^2/36}{A^2/2 + A^2/36} \approx 0.053$$

载波功率约占95%

4、AM信号的调制

• 被调信号 $m(t)$ 加上一个固定电平，再进行DSB调制

53 24

- 实际上常用非线性器件来调制
- 对DSB调制的平衡调制器只取单边电路：

- 前面推导已得出：

$$e(t) = K \left[\frac{1}{2} A \cos \omega_c t + \frac{1}{2} m(t) + \frac{2}{\pi} A \cos^2 \omega_c t + \frac{2}{\pi} m(t) \cos \omega_c t + \phi_1(t) + \phi_2(t) \right]$$

53 25

- 取出 ω_c 周围的频率成份(带通滤波器)：

$$s(t) = \frac{1}{2} A \cos \omega_c t + \frac{2}{\pi} m(t) \cos \omega_c t$$

- 广播发射机框图

53 26

5、AM信号的解调

- 通过包络检波器进行解调

- RC电路的时间常数应满足： $\omega_c \gg \frac{1}{RC} \gg \omega_m$

53 27

- AM广播接收机框图

53 28

三、单边带(SSB)调制

- AM和DSB均发射信号的上、下边带
- SSB调制：只发送信号的一个边带 → 信号频带宽度减小一半
- SSB调制可用于有线长途载波通信和远距离短波通信

1、SSB调制的频谱和带宽

53 29

- 设被调信号 $m(t)$ 的频谱为 $M(\omega)$ ，它对 ω 共轭对称
- 将 $M(\omega)$ 的 $\omega > 0$ 部分记为 $M_+(\omega)$ ， $\omega < 0$ 部分记为 $M_-(\omega)$

$$M(\omega) = \begin{cases} M_+(\omega) = M(\omega)U(\omega) & 0 < \omega \leq \omega_m \\ M_-(\omega) = M(\omega)U(-\omega) & -\omega_m \leq \omega < 0 \end{cases}$$

- 上边带调制： $S_U(\omega) = M_+(\omega - \omega_c) + M_-(\omega + \omega_c)$
- 下边带调制： $S_L(\omega) = M_-(\omega - \omega_c) + M_+(\omega + \omega_c)$
- SSB调制信号的频谱带宽为 ω_m

2、SSB调制信号的时域表达式

$$\begin{aligned} S_U(\omega) &= M_+(\omega - \omega_c) + M_-(\omega + \omega_c) \\ &= M_+(\omega) * \delta(\omega - \omega_c) + M_-(\omega) * \delta(\omega + \omega_c) \\ &= [M(\omega)U(\omega)] * \delta(\omega - \omega_c) + [M(\omega)U(-\omega)] * \delta(\omega + \omega_c) \end{aligned}$$

53 30

$$\begin{aligned} \because U(\omega) &\stackrel{F}{\longleftrightarrow} \frac{1}{2} \delta(t) - \frac{1}{j2\pi t} \\ S_U(\omega) &= [M(\omega)U(\omega)] * \delta(\omega - \omega_c) + [M(\omega)U(-\omega)] * \delta(\omega + \omega_c) \Rightarrow \\ s_U(t) &= \left\{ m(t) * \left[\frac{1}{2} \delta(t) - \frac{1}{j2\pi t} \right] \right\} \cdot e^{j\omega_c t} + \left\{ m(t) * \left[\frac{1}{2} \delta(t) + \frac{1}{j2\pi t} \right] \right\} \cdot e^{-j\omega_c t} \\ &= \frac{1}{2} m(t) [e^{j\omega_c t} + e^{-j\omega_c t}] - \left[m(t) * \frac{1}{j2\pi t} \right] [e^{j\omega_c t} - e^{-j\omega_c t}] \\ &= m(t) \cos \omega_c t - \left[m(t) * \frac{1}{\pi t} \right] \sin \omega_c t \\ &= m(t) \cos \omega_c t - \hat{m}(t) \sin \omega_c t \\ m(t) &\stackrel{H}{\longleftrightarrow} \hat{m}(t) \end{aligned}$$

53 31

• 类似地，对下边带信号，有：

$$s_L(t) = m(t) \cos \omega_c t + \hat{m}(t) \sin \omega_c t$$

3、SSB的调制方法

方法一：采用带通滤波器

$$H(\omega) = \begin{cases} 1 & \omega_c \leq |\omega| \leq \omega_c + \omega_m \\ 0 & \text{else} \end{cases}$$

53 32

采用带通滤波器实现SSB调制的谱分析

$$s(t) = m(t) \cdot \cos \omega_c t$$

$$S(\omega) = \frac{1}{2} [M(\omega + \omega_c) + M(\omega - \omega_c)] \quad S_U(\omega) = S(\omega) \cdot H(\omega)$$

53

• 带通滤波器法要求H(omega)的截止特性十分陡峭，很难实现
• 实际滤波器存在过渡带，常采用多次频移及多次滤波的方法

方法二：利用希尔伯特(Hilbert)变换

53 34

利用希尔伯特变换实现SSB调制的谱分析

$$s_1(t) = m(t) \cos \omega_c t \Rightarrow S_1(\omega) = \frac{1}{2} [M(\omega + \omega_c) + M(\omega - \omega_c)]$$

$$M_{\hat{m}}(\omega) = M(\omega)H(\omega) = -j \text{Sgn}(\omega)M(\omega)$$

$$S_2(\omega) = F[\hat{m}(t) \sin \omega_c t] = \frac{1}{2j} [M_{\hat{m}}(\omega - \omega_c) - M_{\hat{m}}(\omega + \omega_c)]$$

$$= \frac{1}{2j} \{-j[\text{Sgn}(\omega - \omega_c)M(\omega - \omega_c) - \text{Sgn}(\omega + \omega_c)M(\omega + \omega_c)]\}$$

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

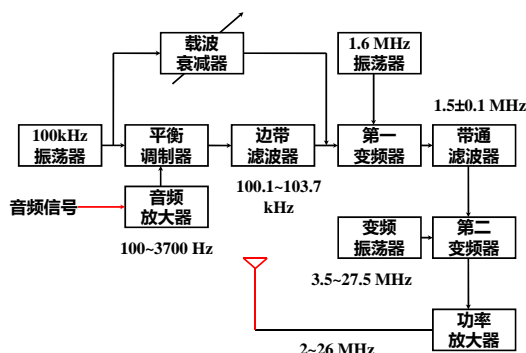
$$\therefore S_1(\omega) + S_2(\omega) = S_L(\omega)$$

53 35

利用希尔伯特变换SSB调制的频谱

53 36

滤波器法产生SSB信号的发射机框图



53

37

4. SSB信号的解调

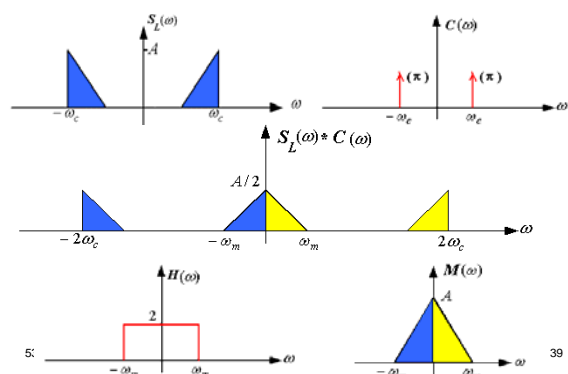
- 与DSB信号的解调一样，采用相干解调的方法：接收信号与本地相干振荡信号相乘，再用低通滤波取出被调信号

$$\begin{aligned}
 s_{U/L}(t) &= m(t) \cos \omega_c t \pm \hat{m}(t) \sin \omega_c t \\
 s_{U/L}(t) \cos \omega_c t &= m(t) \cos^2 \omega_c t \pm \hat{m}(t) \sin \omega_c t \cos \omega_c t \\
 &= \frac{1}{2} m(t) (1 + \cos 2\omega_c t) \pm \frac{1}{2} \hat{m}(t) \sin 2\omega_c t \\
 &= \frac{1}{2} m(t) + \frac{1}{2} [m(t) \cos 2\omega_c t \pm \hat{m}(t) \sin 2\omega_c t] \\
 \text{LPF} &\rightarrow m(t)
 \end{aligned}$$

53

38

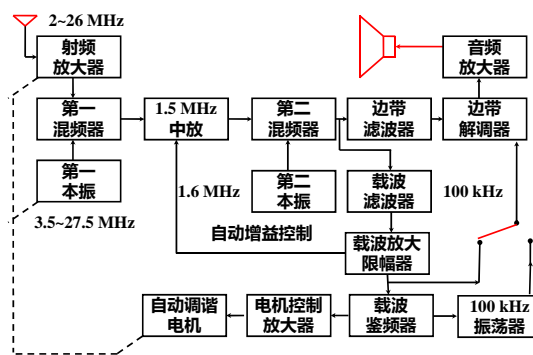
SSB信号解调的频谱



53

39

单边带接收机框图



53

40

- 还可采用载波重插入技术：先加入足够大的载波信号，再用包络检波法来解调

$$\begin{aligned}
 s_{U/L}(t) &= m(t) \cos \omega_c t \pm \hat{m}(t) \sin \omega_c t \\
 s_{U/L}(t) + A \cos \omega_c t &= A \cos \omega_c t + [m(t) \cos \omega_c t \pm \hat{m}(t) \sin \omega_c t] \\
 &= [A + m(t)] \cos \omega_c t \pm \hat{m}(t) \sin \omega_c t
 \end{aligned}$$

插入载波后信号的包络为：

$$\begin{aligned}
 e(t) &= \sqrt{[A + m(t)]^2 + [\hat{m}(t)]^2} \\
 \because A &\gg |m(t)|_{\max}, A \gg |\hat{m}(t)|_{\max} \\
 e(t) &\approx \sqrt{[A + m(t)]^2} = A + m(t)
 \end{aligned}$$

53

41

四、残留边带(VSB)调制

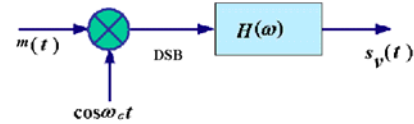
- 滤波器法产生SSB信号要求有陡峭截止特性的边带滤波器，实现相当困难
- 折衷方法：残留边带调制

1. VSB的定义和调制方法

- VSB调制：不像SSB调制那样完全抑制DSB的一个边带，而是使一个边带逐渐截止，另一个边带仍残留一小部分
- 调制方法：先产生DSB信号，再通过残留边带滤波器，得到VSB信号

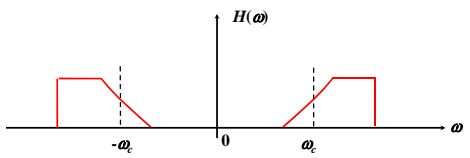
53

42



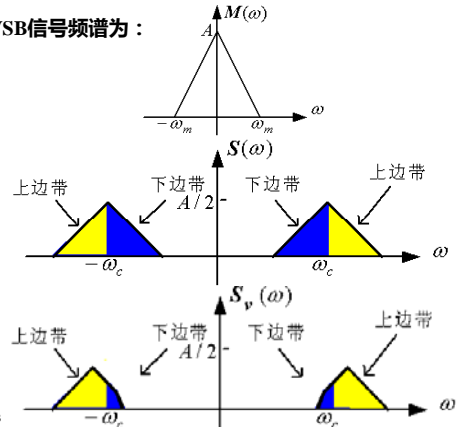
2、VSB信号的频谱和带宽

- 残留下边带时，滤波器传递函数为：



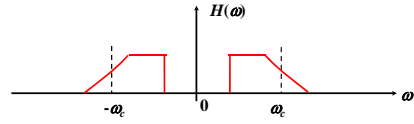
53 43

- VSB信号频谱为：

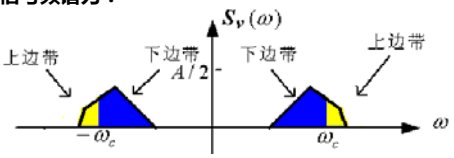


53 44

- 残留上边带时，滤波器传递函数为：



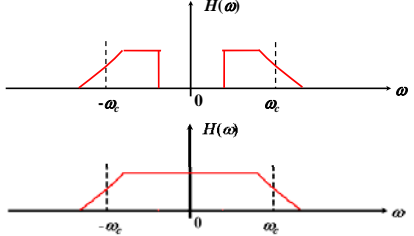
- VSB信号频谱为：



- VSB信号的带宽只比SSB略宽，通常为1.1~1.25*omega_m

53 45

- 残留上边带时，滤波器传递函数还可以为：



3、残留边带滤波器H(omega)的特性

$$\because m(t) \xleftrightarrow{F} M(\omega) \quad s_{DSB}(t) = m(t) \cos \omega_c t$$

53 46

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

$$\Rightarrow S_v(\omega) = \frac{1}{2}[M(\omega + \omega_c) + M(\omega - \omega_c)]H(\omega)$$

$$e_d(t) = s_v(t) \cos \omega_c t \Rightarrow E_d(\omega) = \frac{1}{2}[S_v(\omega + \omega_c) + S_v(\omega - \omega_c)]$$

$$= \frac{1}{2} \left\{ \frac{1}{2}[M(\omega + 2\omega_c) + M(\omega)]H(\omega + \omega_c) + \frac{1}{2}[M(\omega) + M(\omega - 2\omega_c)]H(\omega - \omega_c) \right\}$$

- 低通滤波器将滤除M(omega+2*omega_c)和M(omega-2*omega_c)：

$$e_0(t) \xleftrightarrow{F} E_0(\omega) = \frac{1}{4} M(\omega) [H(\omega + \omega_c) + H(\omega - \omega_c)]$$

53 47

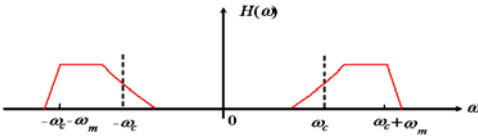
- 若要求VSB信号解调无失真 $E_0(\omega) = k M(\omega)$ 残留边带滤波器的传递函数应满足：

$$H(\omega + \omega_c) + H(\omega - \omega_c) = k \quad (\text{const.})$$

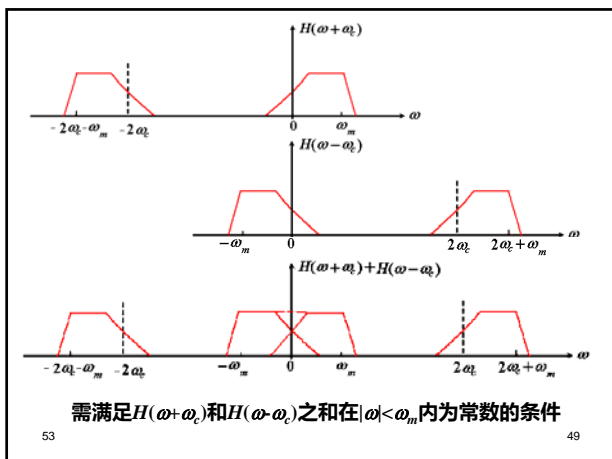
$$\because M(\omega) = 0, \quad |\omega| > \omega_m$$

$$\therefore H(\omega + \omega_c) + H(\omega - \omega_c) = k \quad |\omega| \leq \omega_m$$

- 以残留下边带为例：



53 48



- 条件：滤波器的截止特性关于载频具有互补的对称性

- 满足互补对称特性的滤波器传递函数的形状很多
- 其中应用最多的为直线滚降和余弦滚降
- 对于上边带残留的情况，类似有：

- 对于上边带残留的情况，当残留边带滤波器取为：

$\rightarrow H(\omega) = H_1(\omega) + H_2(\omega)$

4、VSB信号的解调

- 只有残留滤波器截止特性满足上述条件，可用相干解调

- 还可采用加入足够大的载波信号，再用包络检波法来解调
- SSB信号可视为VSB信号的特例(残留边带为0)