



通信系统原理教程

第6讲 模拟调制系统之一

通信教研室 杨春萍

本讲内容

- 概述
- 线性调制
- 非线性调制

概述

- 模拟调制：用来自信源的基带模拟信号去调制某载波。
- 载波：确知的周期性波形 - 余弦波：

$$c(t) = A\cos(\omega_0 t + \varphi_0)$$

式中， A 为振幅；
 ω_0 为载波角频率；
 φ_0 为初始相位。



图3.1.1 调制器

- 定义：
 - 调制信号 $m(t)$ - 自信源来的信号
 - 已调信号 $s(t)$ - 调制后的载波称为已调信号
 - 调制器 - 进行调制的部件

□ 调制的目的：

- 频谱搬移 - 适应信道传输、合并多路信号
- 提高抗干扰性

□ 模拟调制的分类：

- 线性调制：调幅、单边带、双边带、残留边带...
- 非线性调制（角度调制）：频率调制、相位调制

返回

线性调制

- 基本概念
- 振幅调制 (AM)
- 双边带调制 (DSB)
- 单边带调制 (SSB)
- 残留边带调制 (VSB)



返回

3.2.0 基本概念

设载波为： $c(t) = A\cos\omega_0 t = A\cos 2\pi f_0 t$

调制信号为能量信号 $m(t)$ ，其频谱为 $M(f)$

载波： $c(t)$

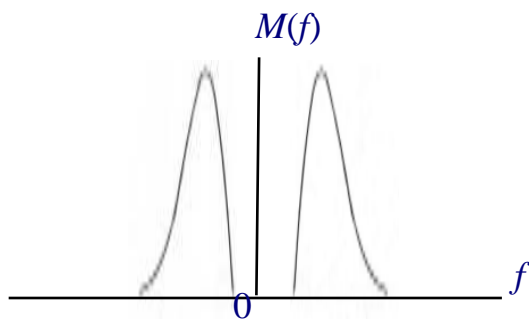
相乘结果： $s'(t)$

滤波输出： $s(t)$

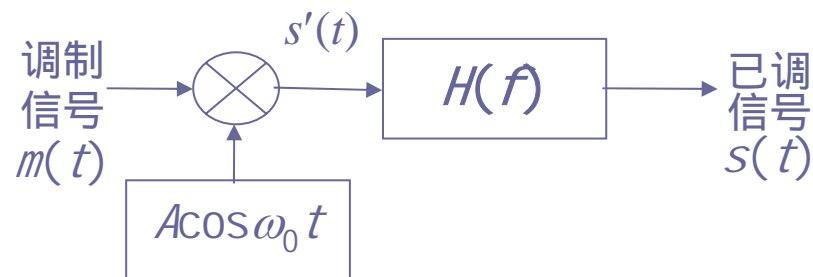
用“ \Leftrightarrow ”表示傅里叶变换：

$$m(t) \Leftrightarrow M(f)$$

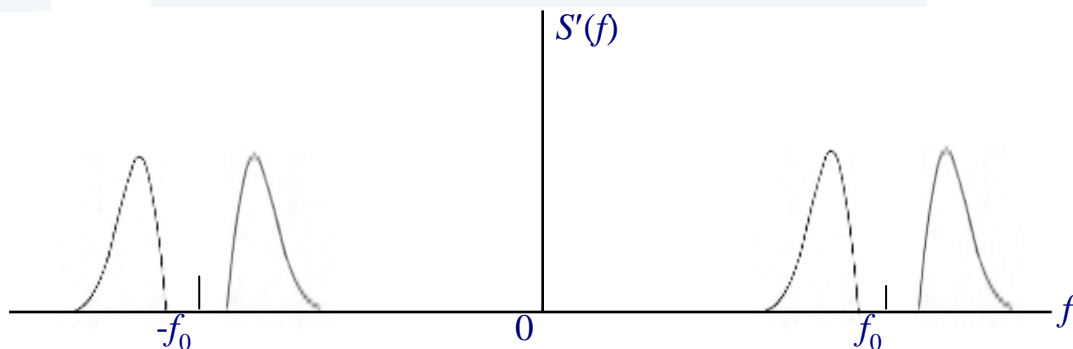
$$m(t)A\cos\omega_0 t \Leftrightarrow S'(f)$$



(a) 输入信号频谱密度



$$S'(f) = \frac{A}{2} [M(f - f_0) + M(f + f_0)]$$

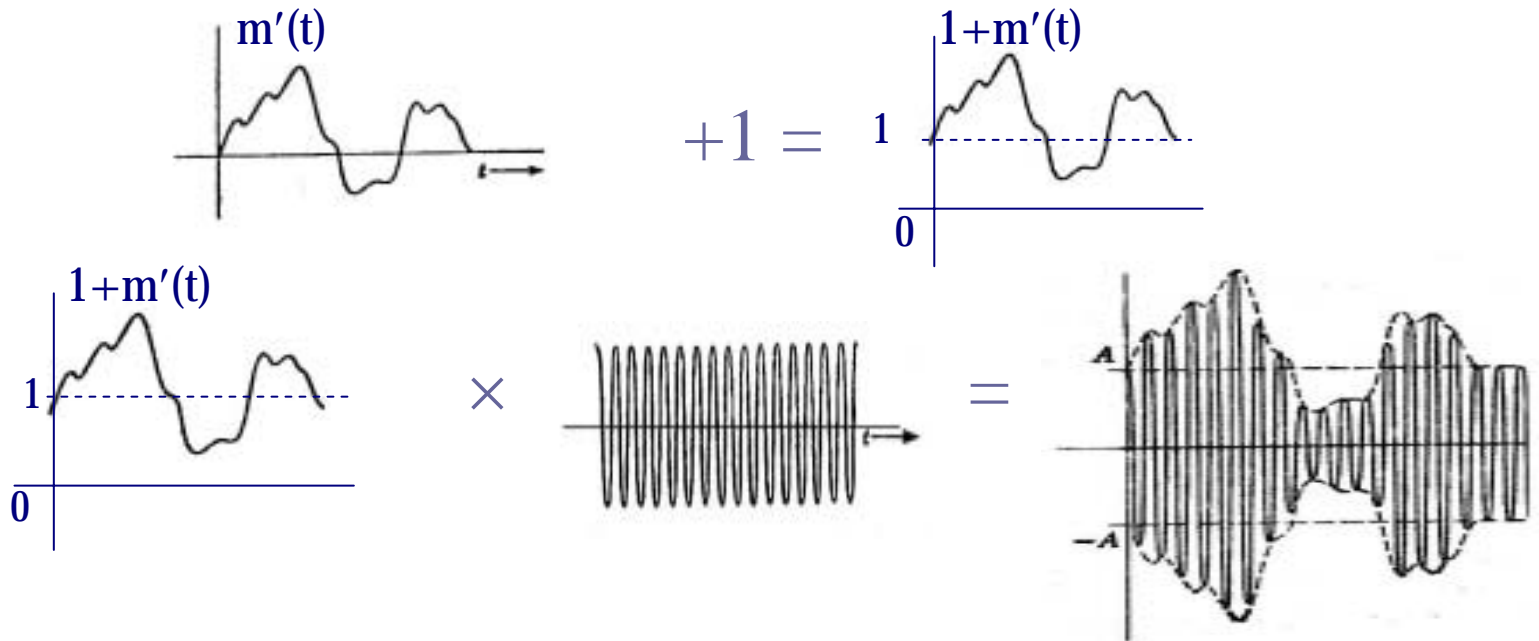


(b) 输出信号频谱密度

3.2.1 振幅调制 (AM)

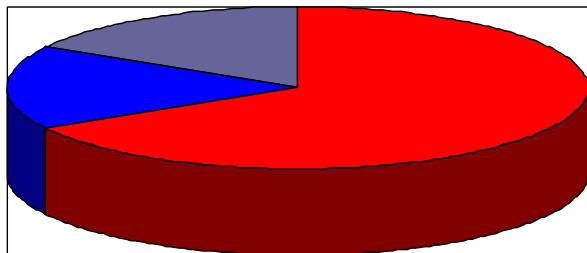
□ 基本原理

设: $m(t) = [1+m'(t)]$, $|m'(t)| \leq 1$, $m'(t)|_{\max} = m$ - 调幅度,
则有调幅信号: $s'(t) = [1+m'(t)]A\cos\omega_0 t$,
式中, $[1+m'(t)] \geq 0$, 即 $s'(t)$ 的包络是非负的。

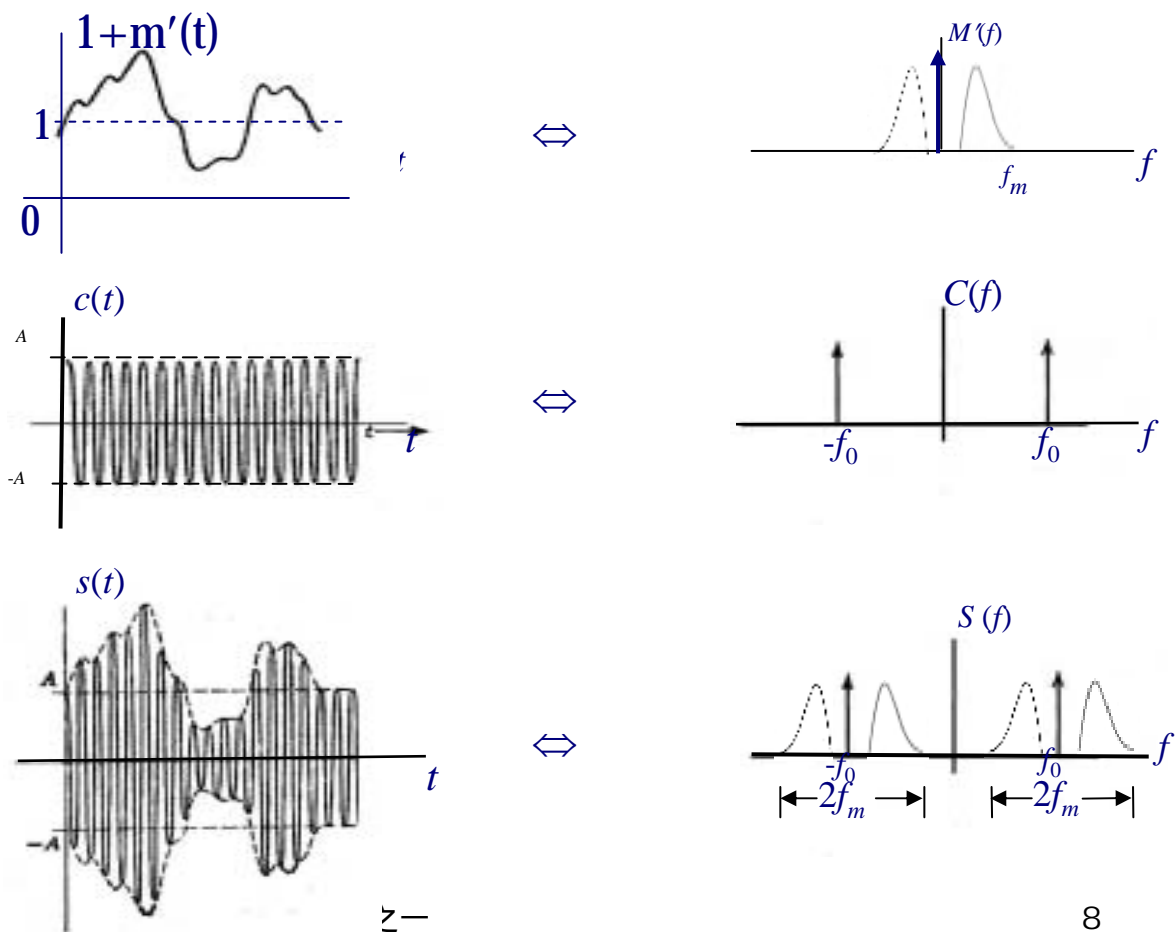


□ 频谱密度

- 含离散载频分量
- 当 $m'(t)$ 为余弦波，且 $m = 100\%$ 时，两边带功率之和 = 载波功率之半。

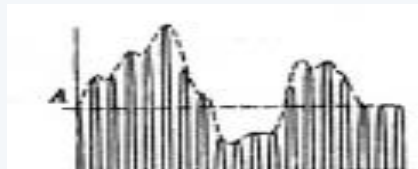
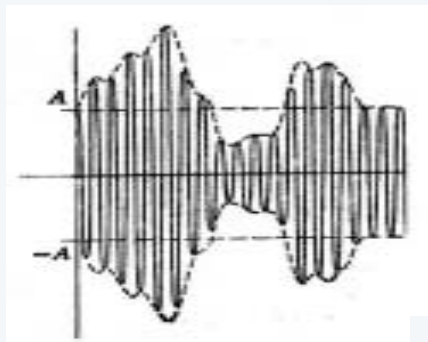


■ 载波功率 ■ 上边带功率 ■ 下边带功率

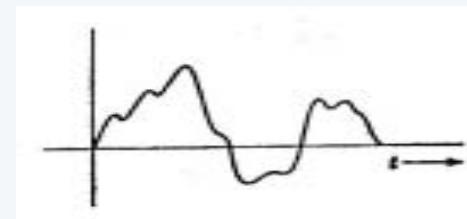


□ AM信号的接收：包络检波

■ 原理：



整流器



低通滤波器

图3.2.4 包络检波器解调调幅信号

■ 性能：设输入电压为

$$y(t) = \{[1 + m'(t)]A + n_c(t)\} \cos \omega_0 t - n_s(t) \sin \omega_0 t$$

式中， $n_c(t) \cos \omega_0 t - n_s(t) \sin \omega_0 t$

为检波器输入噪声电压

$$y(t) \text{ 的包络： } V_y(t) = \sqrt{\{[1 + m'(t)]A + n_c(t)\}^2 + n_s^2(t)}$$

$$\text{在大信噪比下： } V_y(t) \approx [1 + m'(t)]A + n_c(t)$$

检波后（已滤除直流分量）：

$$v(t) = m'(t)A + n_c(t)$$

输出信号噪声功率比：

$$r_0 = E[m'^2(t)A^2 / n_c^2(t)]$$

在检波前的信号噪声功率比等于

$$r_i = E\left\{\frac{1}{2}[1 + m'(t)]^2 A^2 / n^2(t)\right\}$$

检波前后信噪功率比之比为

$$\frac{r_0}{r_i} = E\left\{\frac{m'^2(t)A^2 / n_c^2(t)}{\frac{1}{2}[1 + m'(t)]^2 A^2 / n^2(t)}\right\} = E\left[\frac{2m'^2(t)}{[1 + m'(t)]^2}\right]$$

由于 $m'(t) \leq 1$ ，显然上式比值 r_0/r_i 小于1，检波后信噪比下降了。

3.2.2 双边带调制 (DSB)

- 原理：调制信号 $m(t)$ 没有直流分量时，得到DSB信号。
- 频谱：两个边带包含相同的信息。

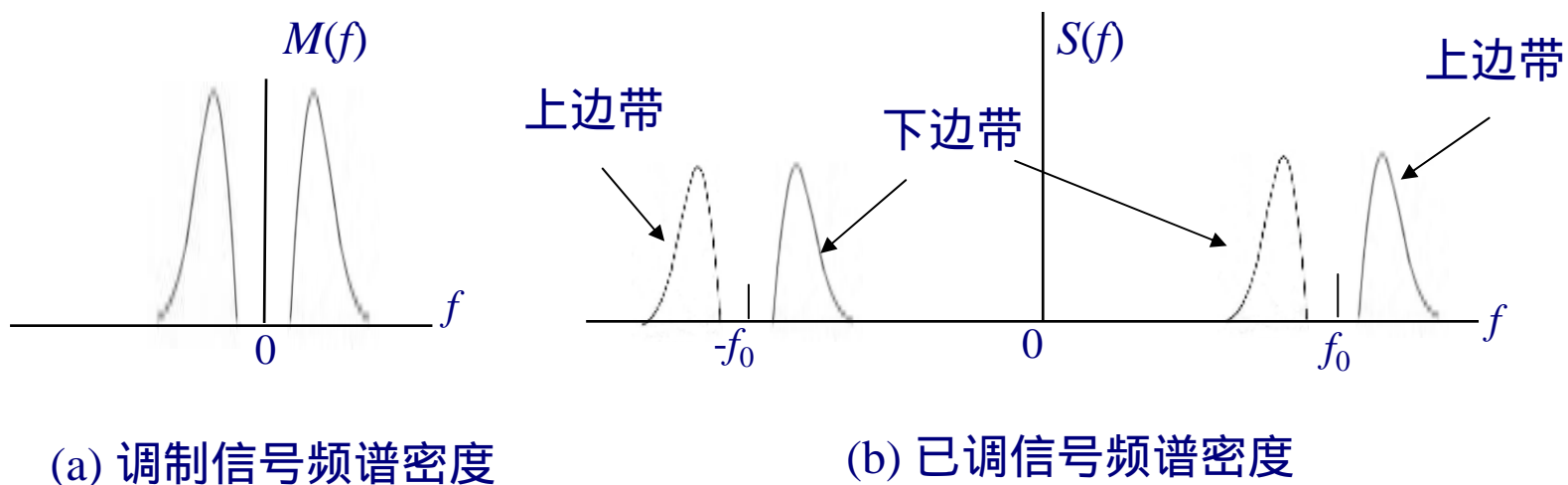


图3.2.5 双边带调制信号的频谱

□ 解调：需要本地载波

■ 设接收的DSB信号为

$$m'(t) \cos \omega_0 t$$

接收端的本地载波为

$$\cos[(\omega_0 + \Delta\omega)t + \varphi]$$

两者相乘后，得到

$$r'(t) = m'(t) \cos \omega_0 t \cos[(\omega_0 + \Delta\omega)t + \varphi]$$

$$= \frac{1}{2} m'(t) \{ \cos(\Delta\omega t + \varphi) + \cos[(2\omega_0 + \Delta\omega)t + \varphi] \}$$

低通滤波后，得到 $\frac{1}{2} m'(t) \cos(\Delta\omega t + \varphi)$

□ 仅当本地载波没有频率和相位误差时，输出信号才等于 $m'(t) / 2$ 。[和调制信号仅差一个常数因子]

□ 优缺点：DSB信号可以节省发送功率，但接收电路较为复杂

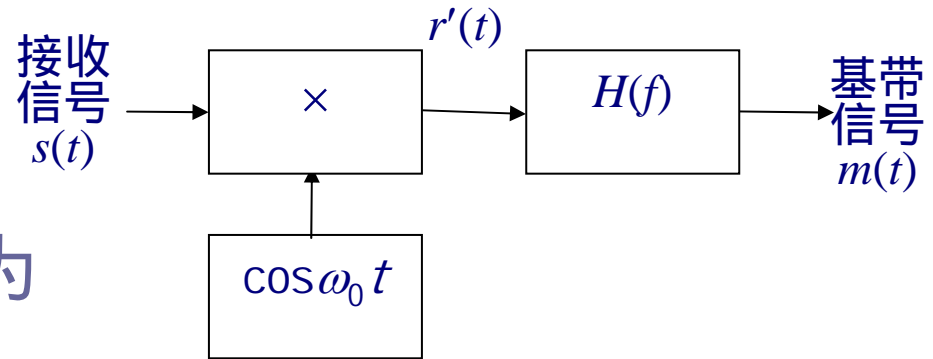


图3.2.6 双边带信号解调器原理方框图

3.2.3 单边带调制(SSB)

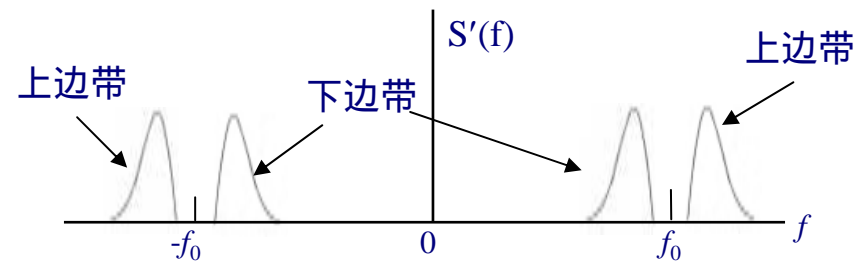
□ 原理：

- 两个边带包含相同的信息
- 只需传输一个边带：
上边带或下边带
- 要求 $m(t)$ 中无太低频率

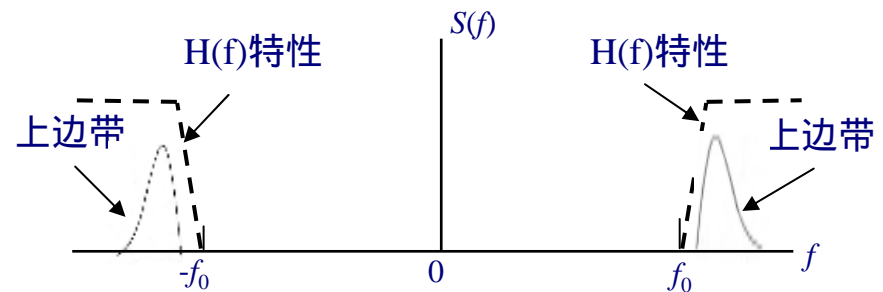
□ 解调：需要本地载波

- 由于 若 $z(t) = x(t) y(t)$,
则有 $Z(\omega) = X(\omega) * Y(\omega)$

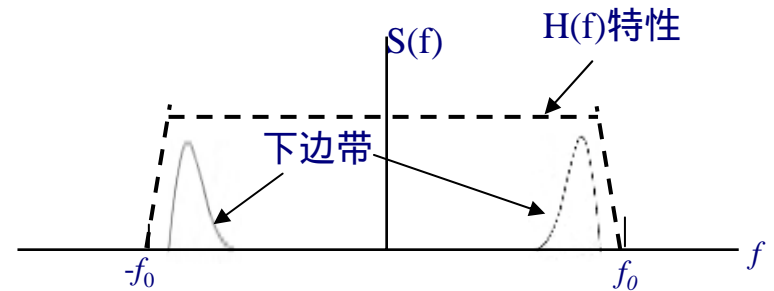
单边带信号解调时，
用载波 $\cos \omega_0 t$ 和接收信号相
乘，相当于在频域中载波频
谱和信号频谱相卷积。



(a) 滤波前信号频谱



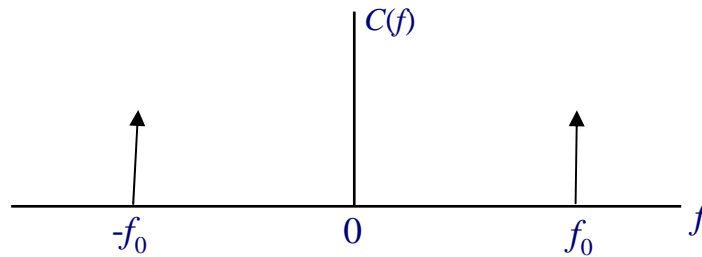
(b) 上边带滤波器特性和信号频谱



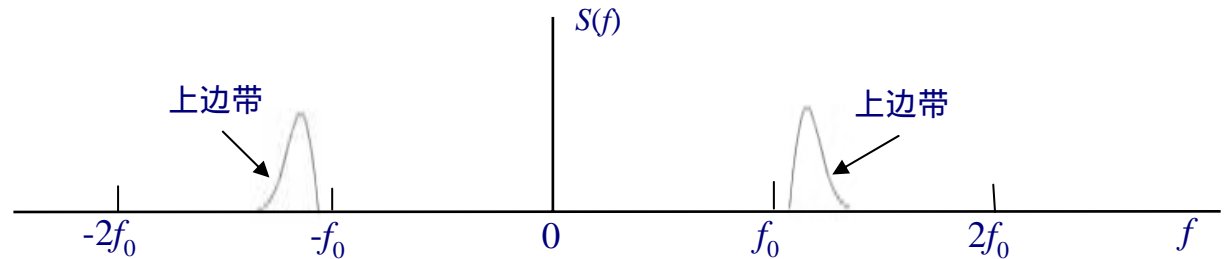
(c) 下边带滤波器特性和信号频谱

图3.2.7 单边带信号的频谱

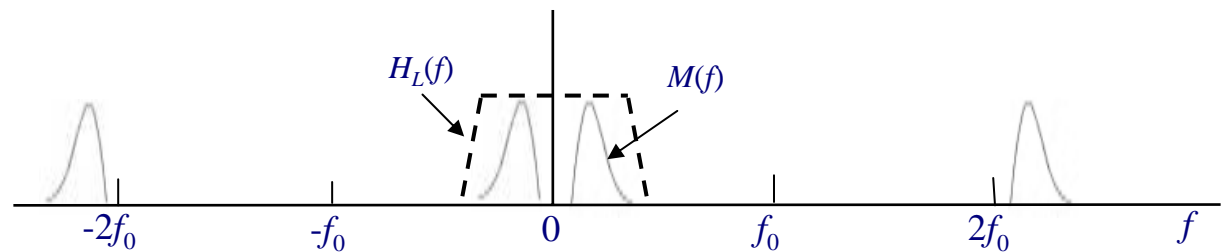
下图以上边带为例，示出用低通滤波器滤出解调后的信号。



(a) 载波频谱



(b) 上边带信号频谱



(c) 载波和上边带信号频谱的卷积结果

SSB优点：
比DSB信号
进一步节省
发送功率和
占用带宽。

图3.2.8 单边带信号的解调

3.2.4 残留边带(VSB)调制

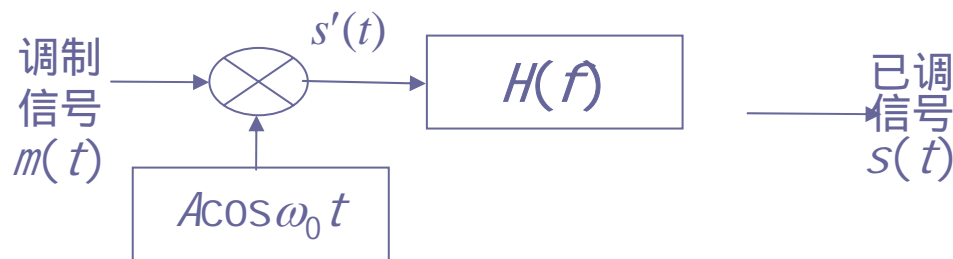
- VSB调制的优点：解调时不需要本地载波，容许调制信号含有直流
- 原理：VSB仍为线性调制。

调制信号和载波相乘后的频谱为

$$S'(f) = \frac{A}{2}[M(f - f_0) + M(f + f_0)]$$

设调制器的滤波器的传输函数为 $H(f)$ ，则滤波输出的已调信号为

$$S(f) = \frac{A}{2}[M(f - f_0) + M(f + f_0)]H(f)$$



现在，求出为了得到VSB信号， $H(f)$ 应满足的条件：

若仍用右图解调器，

则接收信号和本地载波相乘

后得到的 $r'(t)$ 的频谱为：

$$\frac{1}{2}[S(f + f_0) + S(f - f_0)]$$

将已调信号的频谱

$$S(f) = \frac{A}{2}[M(f - f_0) + M(f + f_0)]H(f)$$

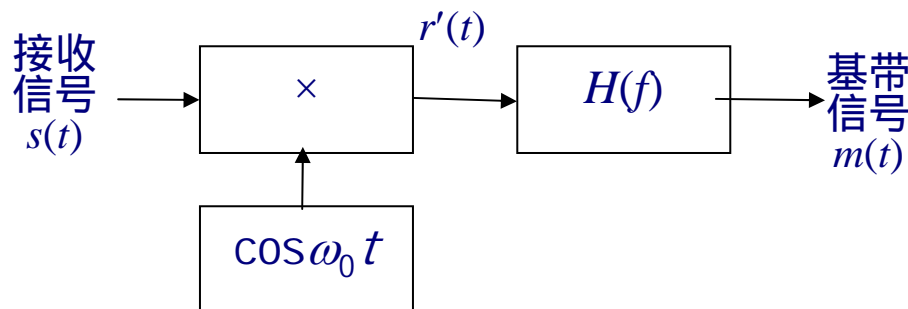
代入上式，得到 $r'(t)$ 的频谱为：

$$\frac{A}{4}\{[M(f + 2f_0) + M(f)]H(f + f_0) + [M(f - 2f_0) + M(f)]H(f - f_0)\}$$

上式中 $M(f + 2f_0)$ 和 $M(f - 2f_0)$ 两项可以由低通滤波器滤除，所

以得到滤波输出的解调信号的频谱密度为：

$$\frac{A}{4}M(f)[H(f + f_0) + H(f - f_0)]$$



为了无失真地传输，要求上式

$$\frac{A}{4}M(f)[H(f + f_0) + H(f - f_0)]$$

中

$$[H(f + f_0) + H(f - f_0)] = C$$

由于

$$M(f) = 0, \quad \text{当} |f| > f_m$$

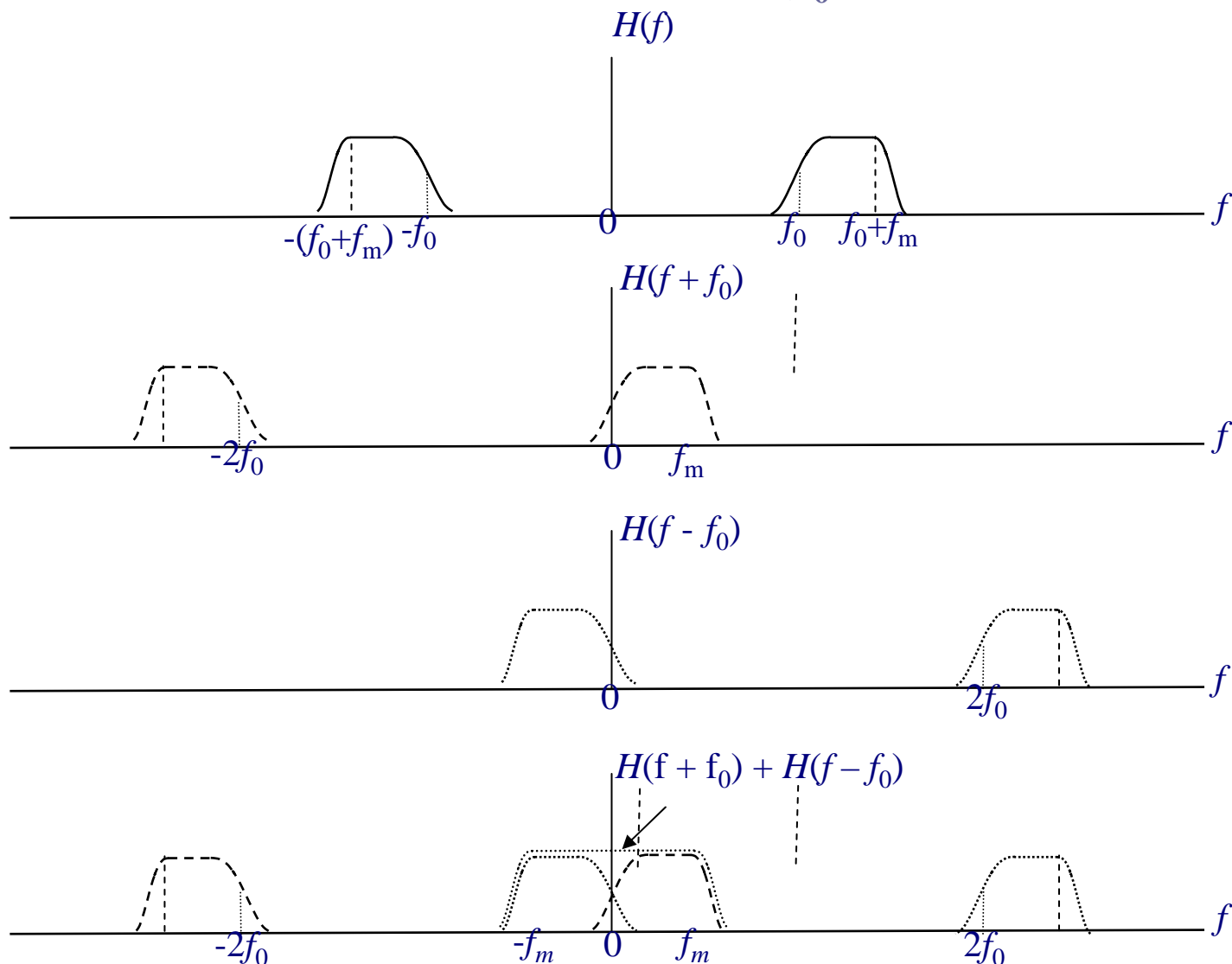
所以，上式可以写为

$$[H(f + f_0) + H(f - f_0)] = C, \quad |f| < f_m$$

上式即产生VSB信号的条件。

$$[H(f + f_0) + H(f - f_0)] = C, \quad |f| < f_m$$

上式要求：滤波器的截止特性对于 f_0 具有互补的对称性：



返回