通信系统原理教程

第7讲 模拟调制系统之二

通信教研室　杨春萍

本讲内容

- 概述
- 线性调制
- 非线性调制

非线性调制

3.3.1 基本原理

- 频率的概念：严格地说，只有无限长的恒定振幅和恒定相位的正弦波形才具有单一频率。载波被调制后，不再仅有单一频率。
- “瞬时频率”的概念：设一个载波可以表示为

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

式中，φ_0为载波的初始相位；

$\varphi(t) = \omega_0 t + \varphi_0$ 为载波的瞬时相位；

$\omega_0 = \mathrm{d}\varphi(t)/\mathrm{d}t$ 为载波的角频率。

现定义瞬时频率：

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

上式可以改写为：

$$\varphi(t) = \int \omega_i(t)dt + \varphi_0$$

□角度调制的定义：

由下式可见，$c(t)=A\cos\varphi(t)=A\cos(\omega_0 t+\varphi_0)$

$\varphi(t)$是载波的相位。若使它随调制信号$m(t)$以某种方式变化，则称其为角度调制。

- 相位调制的定义：若使相位$\varphi(t)$随$m(t)$线性变化，即令

$$\varphi(t)=\omega_0 t+\varphi_0+km(t)$$

则称为相位调制。这时，已调信号的表示式为

$$s_p(t)=A\cos[\omega_0 t+\varphi_0+km(t)]$$

此已调载波的瞬时频率为：

$$\omega_i(\mathrm{t})=\omega_0+k_p\frac{d}{dt}m(t)$$

上式表示，在相位调制中瞬时频率随调制信号的导函数线性地变化。

- 频率调制的定义：若使瞬时频率直接随调制信号线性地变化，则称为频率调制。这时，瞬时角频率为 $\omega_i(t) = \omega_0 + k_f m(t)$

  及瞬时相位为

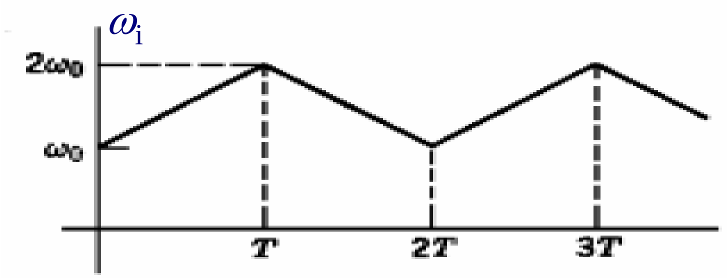
$$\varphi(t) = \int \omega_i(t)dt + \varphi_0 = \omega_0 t + k_f \int m(t)dt + \varphi_0$$

  这时，已调信号的表示式为：

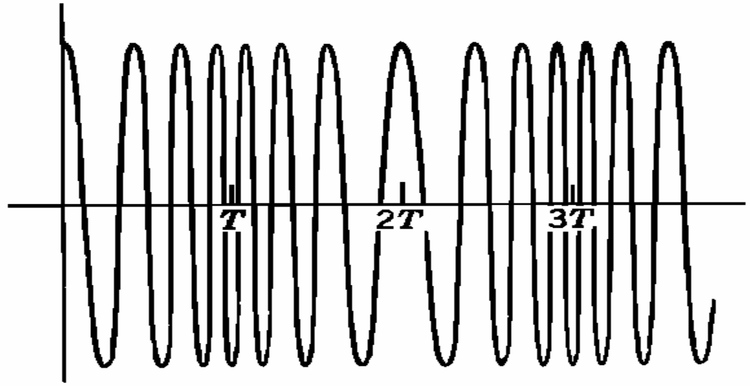
$$s_f(t) = A\cos[\omega_0 t + \varphi_0 + k_f \int m(t)dt]$$

  上式表明，载波相位随调制信号的积分线性地变化 。
- 相位调制和频率调制的比较：
  - 在相位调制中载波相位$\varphi(t)$随调制信号***m(t)***线性地变化，而在频率调制中载波相位$\varphi(t)$随调制信号***m(t)***的积分线性地变化。
  - 若将***m(t)***先积分，再对载波进行相位调制，即得到频率调制信号。类似地，若将***m(t)***先微分，再对载波进行频率调制，就得到相位调制信号。
  - 仅从已调信号波形上看无法区分二者。

■ 角度调制的波形



(a)



(b)

角度调制波形

- 若$m(t)$作直线变化，则已调信号就是频率调制信号。
- 若$m(t)$是随 t^2变化，则已调信号就是相位调制信号

3.3.2 已调信号的频谱和带宽

设：调制信号***m(t)***是一个余弦波，

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

用其对载波作频率调制，则载波的瞬时角频率为

$$\omega_i(t) = \omega_0 + k_f m(t) = \omega_0 + k_f \cos\omega_m t$$

上式中，$k_f = \Delta\omega$ 一为最大频移

- 已调信号表示式：

$$s_f(t) = A\cos[\omega_0 t + k_f \int \cos \omega_m t dt] = A\cos[\omega_0 t + (\Delta\omega / \omega_m)\sin \omega_m t]$$

式中，$\Delta\omega / \omega_m = \Delta f / f_m$为最大频率偏移和基带信号频率之比，称为调制指数$m_f$，即有：

$$m_f = \frac{\Delta f}{f_m} = \frac{\Delta \omega}{\omega_m} = \frac{k_f}{\omega_m}$$

$$s_f(t) = A\cos[\omega_0 t + k_f \int \cos\omega_m t dt] = A\cos[\omega_0 t + (\Delta\omega/\omega_m)\sin\omega_m t]$$

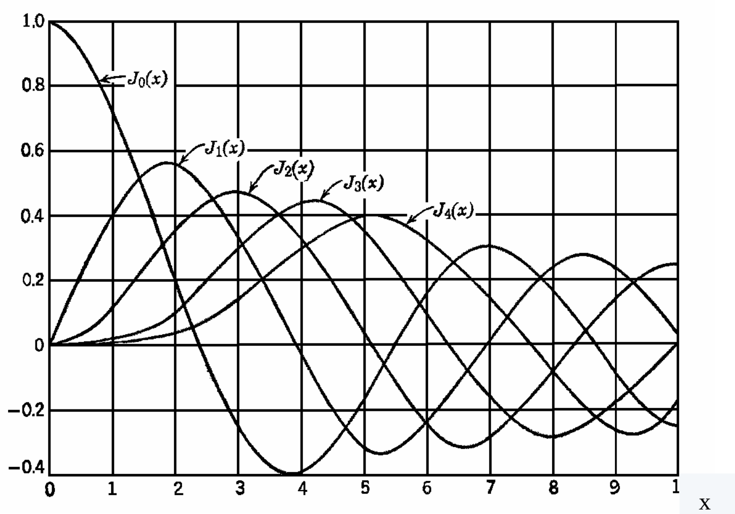
是一个含有正弦函数的余弦函数，它的展开式为：

$$\begin{aligned} s_f(t) = A\{ & J_0(m_f)\cos\omega_0 t + J_1(m_f)[\cos(\omega_0+\omega_m)t - \cos(\omega_0-\omega_m)t] \\ & + J_2(m_f)[\cos(\omega_0+2\omega_m)t + \cos(\omega_0-2\omega_m)t] \\ & + J_3(m_f)[\cos(\omega_0+3\omega_m)t - \cos(\omega_0-3\omega_m)t] + \cdots\} \end{aligned}$$

式中，$J_n(m_f)$为第一类n阶贝塞尔函数，它具有如下性质：

$J_n(m_f) = J_{-n}(m_f)$ 当n为偶数时

$J_n(m_f) = -J_{-n}(m_f)$ 当n为奇数时



故上式可以改写为：

$$s_f(t) = A\sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(m_f)\cos(\omega_0 + n\omega_m)t$$

— 已调信号最终表示式

- 频谱特点：
  - 边频成对
  - 大部分功率集中在有限带宽内
  - 当调制指数m_f<<1 时带宽*B*基本等于$2\omega_m$ – 称为窄带调频：

$$B \approx 2\omega_m$$

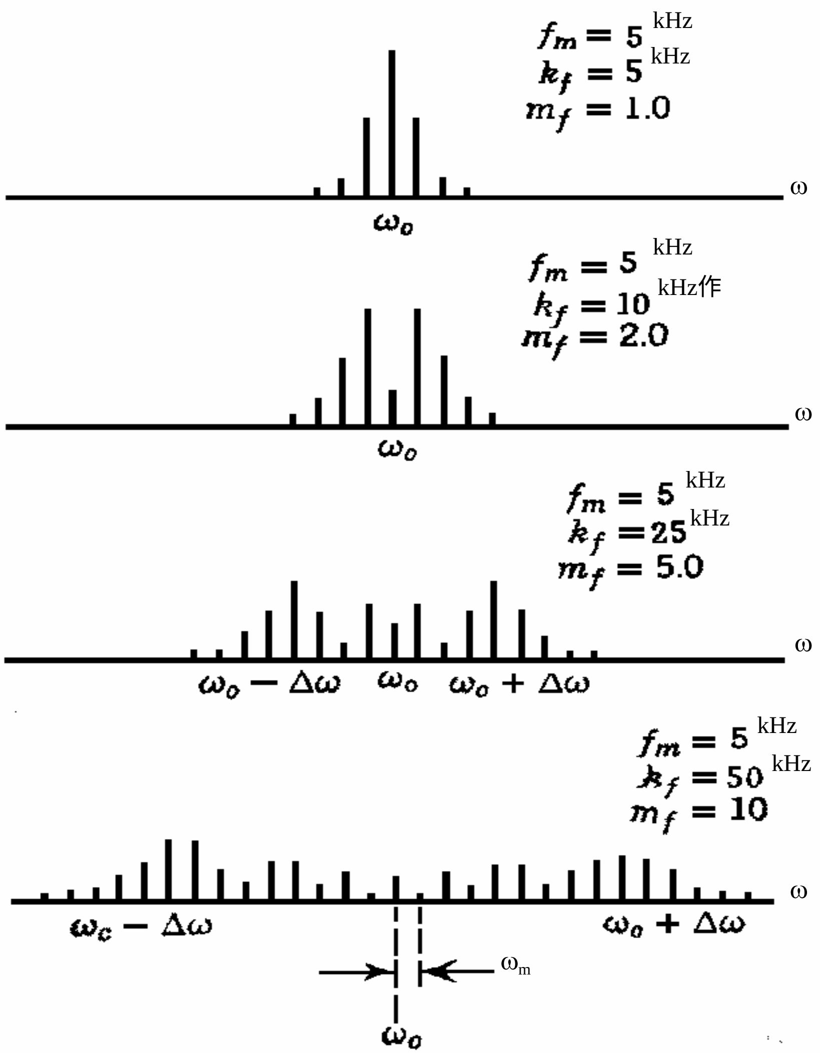
  - 当m_f > 1 时，带宽*B*：

$$B \approx 2(\Delta\omega + \omega_m)$$
$$\approx 2(\Delta f + f_m)$$

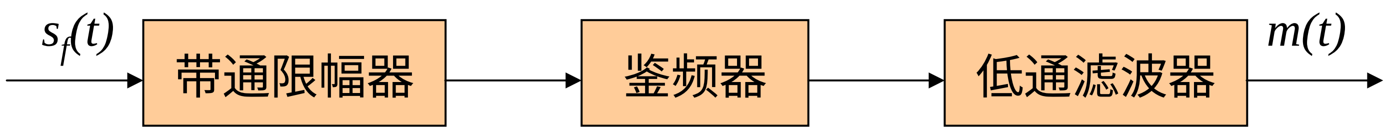
式中，

Δf – 调制频移，

f_m – 调制信号频率。



3.3.3 角度调制信号的接收



FM信号的解调方框图

返回