

# 第5章 振幅调制与解调

---

## 5.1 概述

## 5.2 调幅信号的分析

## 5.3 调幅波产生原理的理论分析

## 5.4 普通调幅波的产生电路

## 5.5 普通调幅波的解调电路

## 5.6 抑制载波调幅波的产生和解调电路

## 5.1 概述

---

### 1. 调制的目的（必要性）：

可实现有效地发射，可实现有效地接收。

（1）语言、文字、图象、数据都是低频信号，所占的频宽又往往相互重叠，无法采用直接向空间辐射电磁波的方法。

举例：语音信号：20Hz——20KHz，波长( $\lambda = \frac{c}{f}$ )

1500Km-15Km，而发送、接收的天线的尺寸不能短于  $\frac{\lambda}{4}$ ，所以无法实现。

只有当天线尺寸与电信号波长可比拟时，电信号才能以电磁波形式有效地被辐射

---

(2) 各电台都用同样的频率发射，在空间会形成干扰，接收端无法收到想要接收的信号。

为了使各个电台发射的信号不混淆，需要将低频信号搬到不同的高频段。

(3) 多路复用

## 2. 概念:

**调制:** 用被传送的低频信号去控制高频载波的参数  $A \cos(\omega_c t + \varphi)$ , 使之随低频信号的变化而变化。  
——将低频信号搬到高段。

**解调:** 反过程, 将低频信号从高频载波上搬移下来。

### 3. 实质： 频谱的搬移（非线性过程）。

载波被调制后将产生新的频率分量，并占有一定的频带宽度。

### 4. 分类和方式

按载波的不同 { 脉冲调制  
正弦调制

按调制信号的形式 { 模拟调制  
数字调制

正弦波 调制——幅度调制、频率调制、相位调制。

（调幅的抗干扰性最弱，但最易实现）

---

## 5. 系统（装置）

调制器（发信端）  
调解器（收信端）

} 由非线性元件组成  
（二极管、工作在非线性区的三极管）

# 第5章 振幅调制与解调

---

5.1 概述

5.2 调幅信号的分析

5.3 调幅波产生原理的理论分析

5.4 普通调幅波的产生电路

5.5 普通调幅波的解调电路

5.6 抑制载波调幅波的产生和解调电路

## 5.2 调幅信号的分析

---

{  
AM  
DSB  
SSB

### 5.2.1. 普通调幅波（AM波）

#### 1. 数学表达式、波形

假定调制信号是简谐振荡，

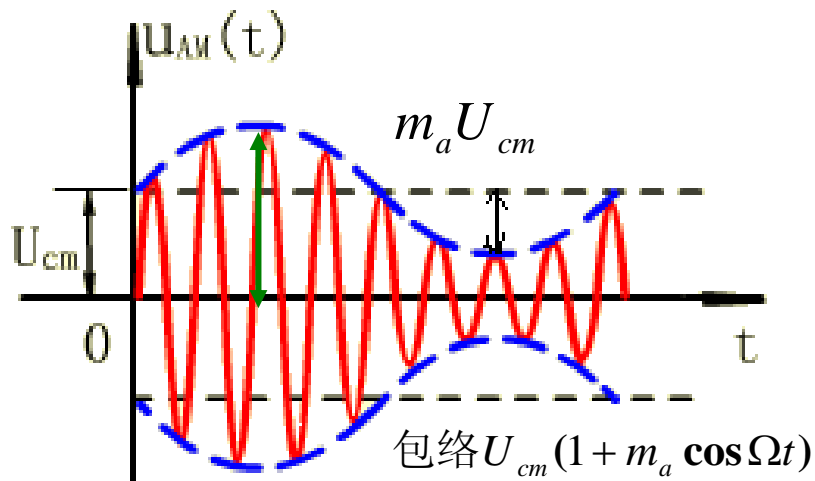
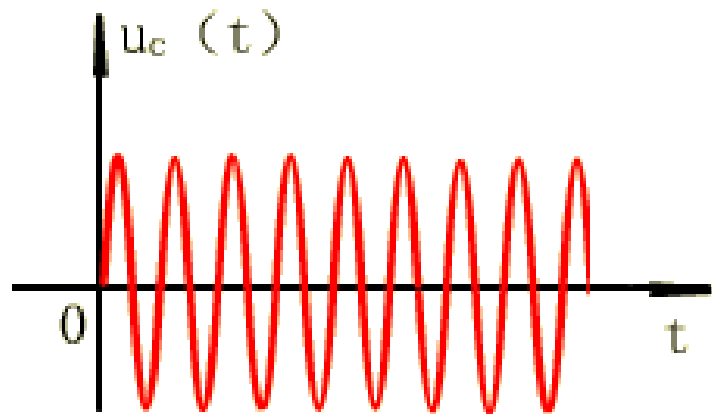
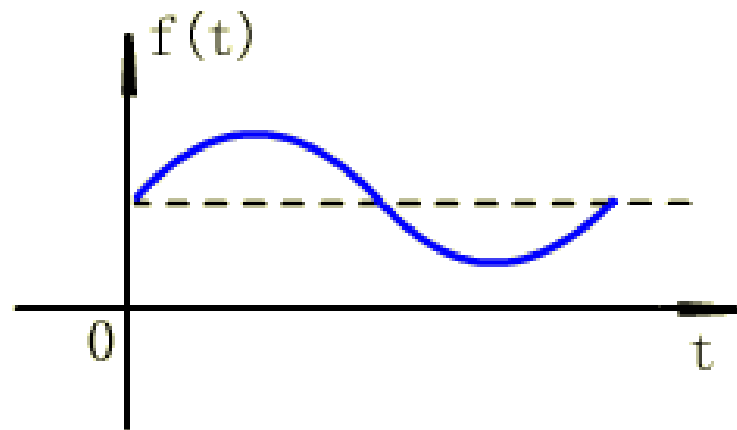
$$\begin{aligned} u_{AM}(t) &= (U_{cm} + kU_{\Omega m} \cos \Omega t) \cos \omega_c t \\ &= U_{cm} (1 + m_a \cos \Omega t) \cos \omega_c t \end{aligned}$$

$m_a$  为调幅度



## 2. 调幅度

表征载波的振幅受调制信号控制的强弱程度。



$$m_a = k \frac{U_{\Omega m}}{U_{cm}} \quad m_a \leq 1$$

$$m_a = \frac{U_{AM \max} - U_{AM \min}}{U_{AM \max} + U_{AM \min}}$$

峰值:  $U_{AM \max} = U_{cm}(1 + m_a)$

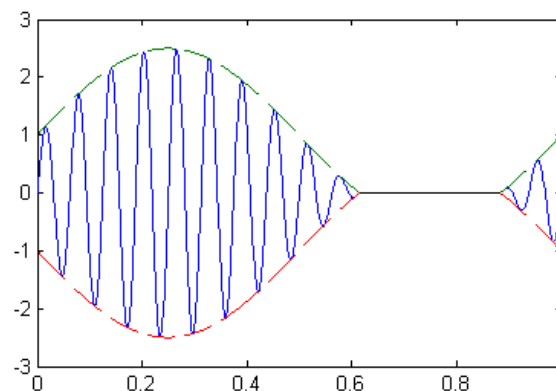
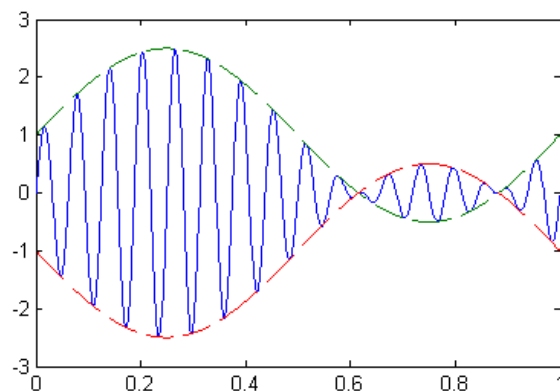
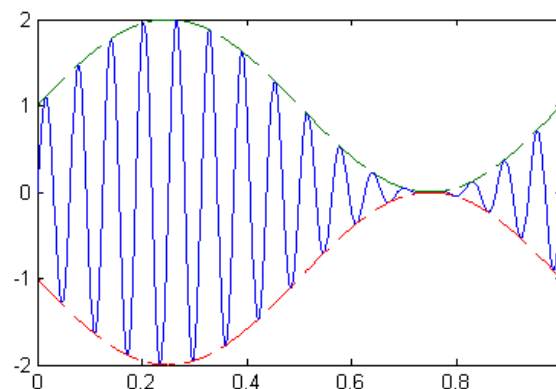
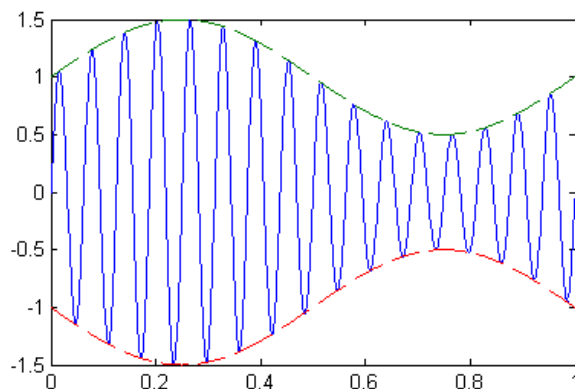
谷值:  $U_{AM \min} = U_{cm}(1 - m_a)$

## 举例

如 $m_a > 1$ ，已调波包络将产生失真，称为过量调幅，应避免。

给定调幅波表达式，画出 $m_a=0.5, 1, 1.5$ 时波形图。

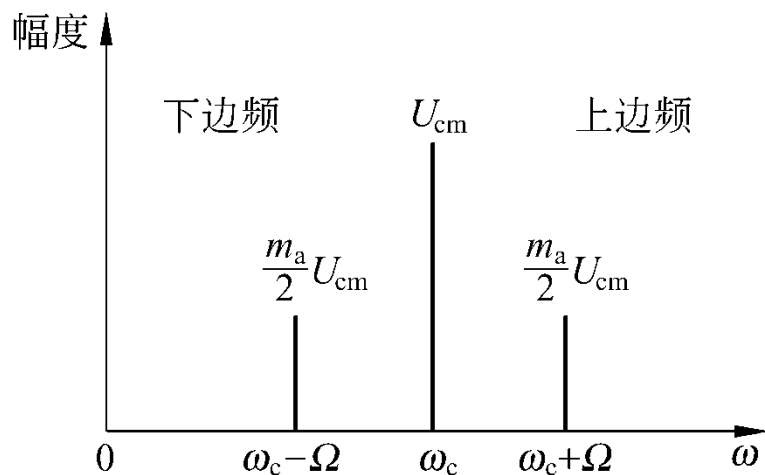
$$u_{AM}(t) = (1 + m_a \cos \Omega t) \cos \omega_c t$$



### 3. 频谱关系:

已调波:

$$u_{AM}(t) = U_{cm} \cos \omega_c t + \frac{1}{2} m_a U_{cm} \cos(\omega_c + \Omega)t + \frac{1}{2} m_a U_{cm} \cos(\omega_c - \Omega)t$$



包含3个频率成分:

上边频:  $\omega_c + \Omega$

下边频:  $\omega_c - \Omega$

$$B_{AM} = 2F$$

两点结论:

- 1) 调制的过程是实现**频谱线性搬移**的过程;
- 2) 载频仍保持调制前的频率和幅度, 因此它没有反映调制信号信息, **只有两个边带携带了调制信号的信息。**

## 4. 非余弦调制信号

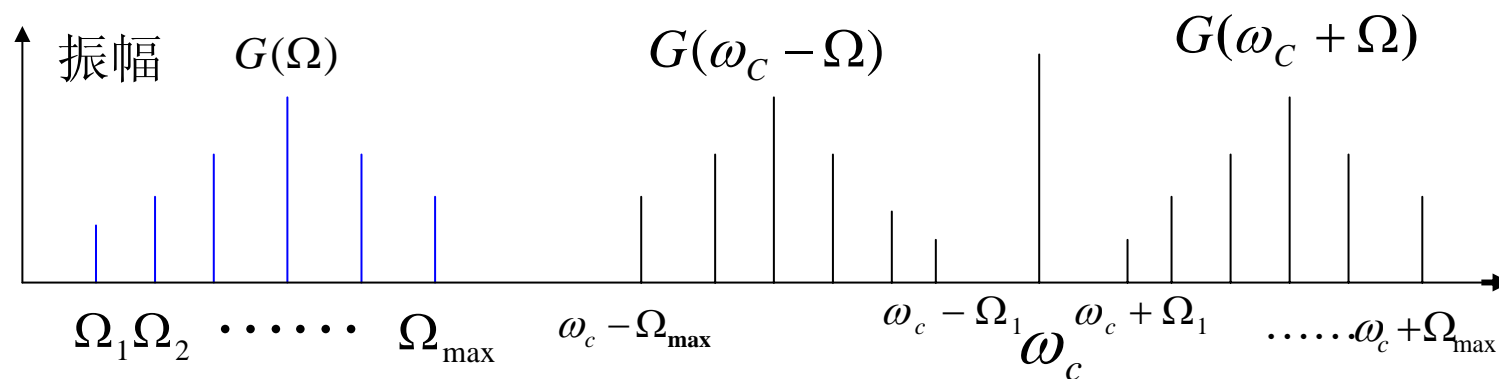
对于非余弦调制信号，可以利用付氏级数分解为许多余弦分量，即包含许多不同的调制频率。

$$u_{\Omega}(t) = U_1 \cos \Omega_1 t + U_2 \cos \Omega_2 t + U_3 \cos \Omega_3 t + \dots$$

已调波

$$u_0(t) = U_{cm} (1 + m_{a_1} \cos \Omega_1 t + m_{a_2} \cos \Omega_2 t + m_{a_3} \cos \Omega_3 t + \dots) \cos \omega_c t$$

$G(\Omega)$  表示调制信号  $u_{\Omega}(t)$  的频谱



$$B_{AM} = 2\Omega_{\max} \text{ 或 } 2F_{\max}$$

## 5. 功率关系:

---

$$u_{AM}(t) = U_{cm} \cos \omega_c t + \frac{1}{2} m_a U_{cm} \cos(\omega_c + \Omega)t + \frac{1}{2} m_a U_{cm} \cos(\omega_c - \Omega)t$$

将该调幅波作用在电阻R上, 电阻R所吸收的功率为各项正弦分量单独作用时的分量之和, 包括三部分:

载波分量 (平均) 功率: 
$$P_c = \frac{1}{2} \frac{U_{cm}^2}{R}$$

上边频分量功率: 
$$P_1 = \frac{1}{2} \frac{\left(\frac{1}{2} m_a U_{cm}\right)^2}{R} = \frac{1}{8} \frac{m_a^2 U_{cm}^2}{R} = \frac{1}{4} m_a^2 P_c$$

下边频分量功率: 
$$P_2 = \frac{1}{4} m_a^2 P_c$$

调幅波的平均输出总功率为: 
$$P_\Sigma = P_c + P_1 + P_2 = P_c \left(1 + \frac{1}{2} m_a^2\right)$$

---

(1) 未调幅时,  $m_a = 0$ ,  $P_\Sigma = P_c$ ; 随着  $m_a$  的增加, 调幅波的平均功率增加, 增加的是两个边频分量的功率  $\frac{1}{2}m_a^2 P_c$ 。

(2) 载波本身并不包含信号, 但它的功率却占整个调幅波功率的绝大部分。

$$\text{例如: } m_a = 100\%, P_c = \frac{2}{3} P_\Sigma; \quad m_a = 50\%, P_c = \frac{8}{9} P_\Sigma$$

所以调幅波中实际有用的信号的功率是很小的。即普通调幅发射机的效率低, 能量利用不合理。

目前, **AM调制**主要用于中、短无线电广播系统中。这种调制最容易实现, 而且解调电路也很简单, 但由于其抗干扰能力弱, 能量浪费, 其他通信系统中很少采用。

## 5.2.2 抑制载波双频带调幅 DSB

---

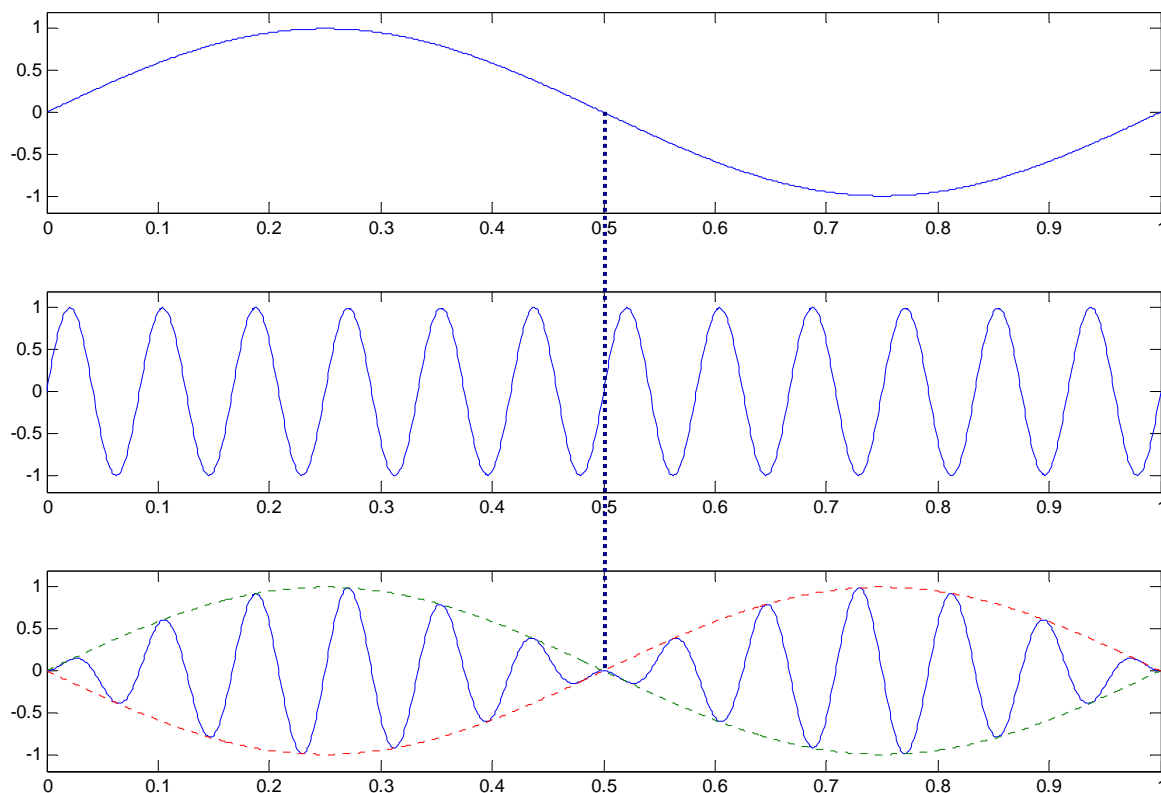
调幅波所要传送的信息是包含在两个边带内，载波本身并不包含任何信息。为了节省发射功率，就可以**仅传送上、下边带而抑制载波**。

数学表达式：

$$\begin{aligned} u_{DSB} &= Au_{\Omega}(t)u_c(t) = AU_{\Omega m}U_{cm} \cos \Omega t \cos \omega_c t \\ &= \frac{1}{2}AU_{\Omega m}U_{cm} [\cos(\omega_c + \Omega)t + \cos(\omega_c - \Omega)t] \end{aligned}$$

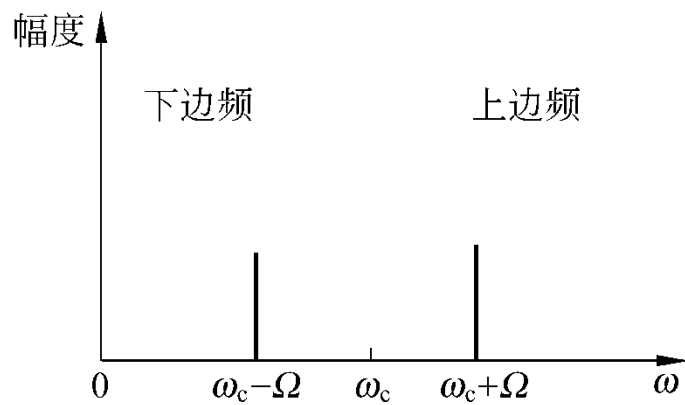
## 波形特点:

- 1) 上下包络不再反映调制信号的变化形状;
- 2) 在调制信号为零的两旁, 已调波的相位发生 $180^\circ$  突变。





频谱:



带宽:

$$B_{DSB} = 2F_{\max}$$

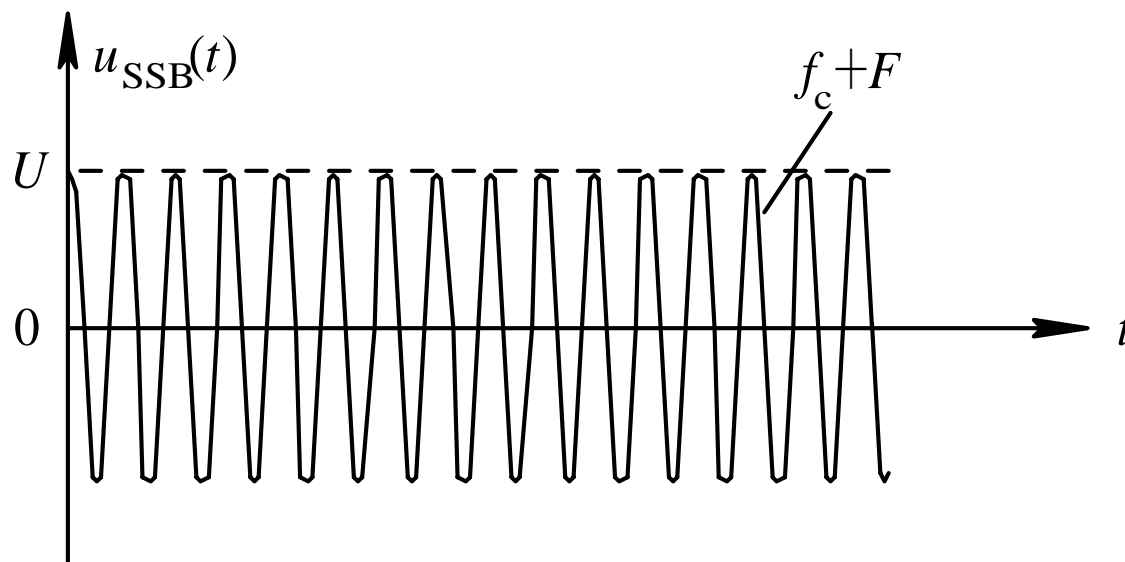
或  $2\Omega_{\max}$

### 5.2.3 单边带调制 SSB

上下边带包含相同的信息，所以获得载波被抑制的双边带后，可进一步抑制一个边带，只让另一个边带发送出去。

$$u_{SSB}(t) = U_{om} \cos(\omega_c + \Omega)t \text{ 或 } u_{SSB}(t) = U_{om} \cos(\omega_c - \Omega)t$$

波形：



## 优点:

---

1° 采用单边带制, 可节约一半的频带,  $B_{SSB} = F$ 。  
即在同一个波段内, 所容纳的频道数目可增加一倍, 大大提高波段的利用率。

2° AM波中载波功率占整个调幅波功率的绝大部分, 却不包含要传送的信息; 单边带仅传送携带信息的一个边带功率, 大大节省了发送功率。

$$P_{AM} = P_c \left(1 + \frac{1}{2} m_a^2\right) \quad P_{SSB} = \frac{1}{4} m_a^2 P_c$$

3° 不同频率的波在传送的过程中会产生不同的衰减, 使接收端收到的信号不稳定——选择性衰减。

单边带不含有载波频率, 不会产生由于载波衰落造成的波形失真。

缺点：

对设备的要求高，尤其是解调技术实现起来难度很大。  
(要先恢复原来的载波)。

彩色广播电视系统中，图象信号的传输采用的是以残留边带调制 (VSB) ——介于AM和SSB调制之间，保留一个完整的边带，另一个也残留了一小部分。

《通信原理》中讲述。

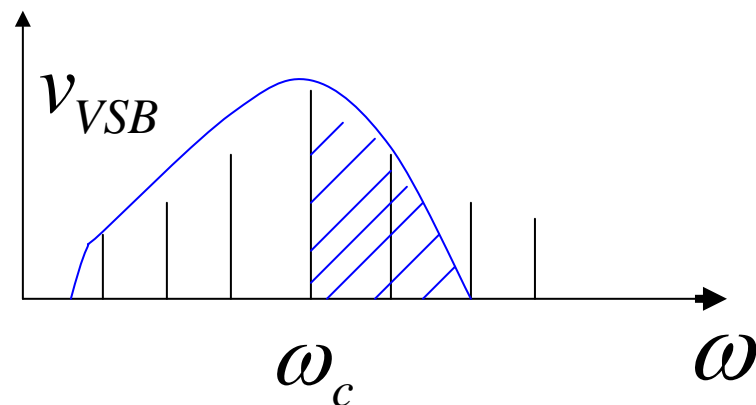
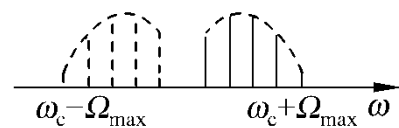
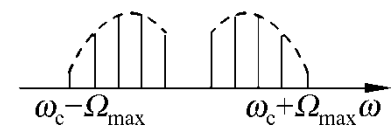
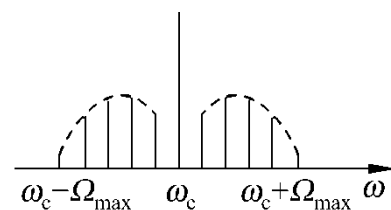
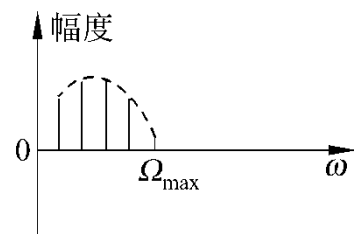
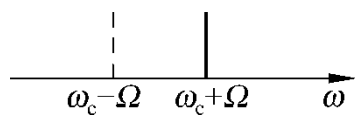
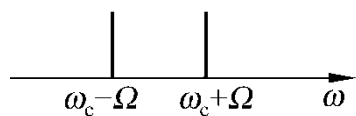
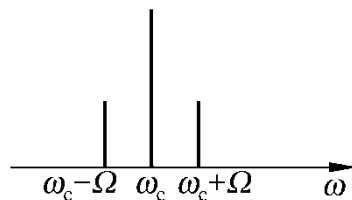
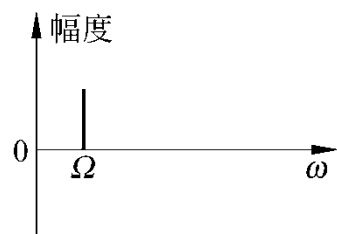
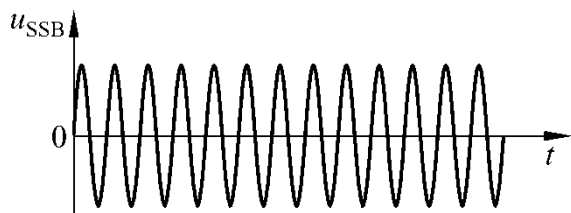
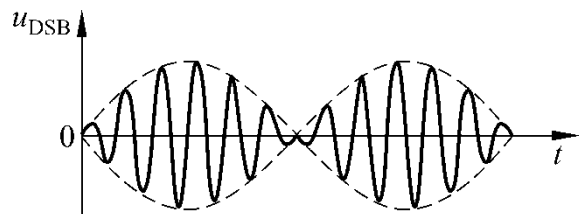
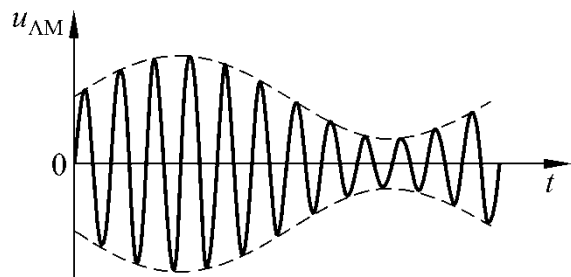
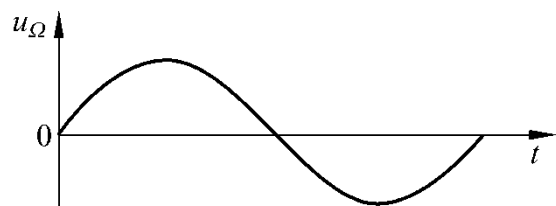
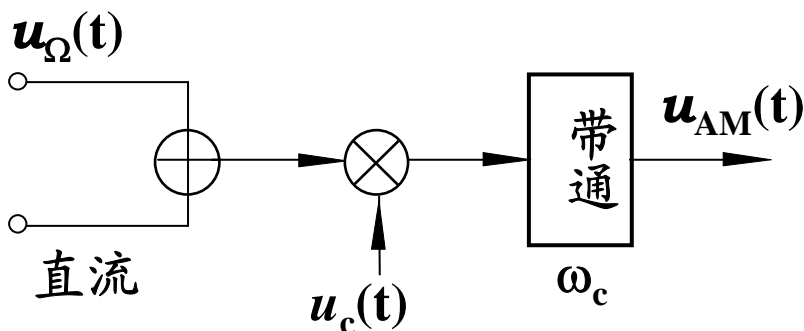


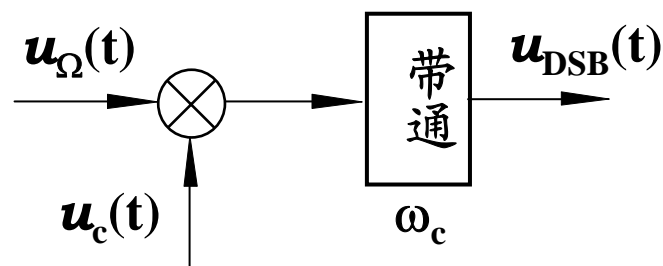
表5-1 三种调幅波时域、频域波形



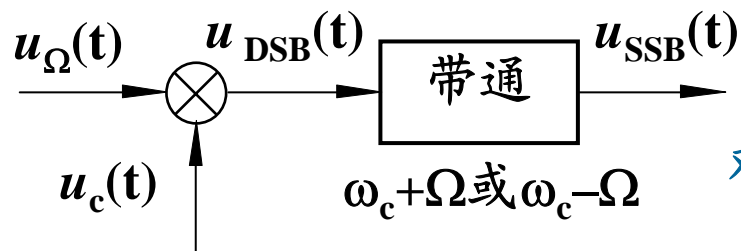
## 5.2.4 实现调幅的方框图



(a) 普通调幅波实现框图



(b) 抑制载波的双边带调幅波实现框图



(c) 单边带调幅波实现框图

对带通滤波器的BPF的要求高  
(因为两个边带相距比较近)

# 第5章 振幅调制与解调

---

5.1 概述

5.2 调幅信号的分析

5.3 调幅波产生原理的理论分析

5.4 普通调幅波的产生电路

5.5 普通调幅波的解调电路

5.6 抑制载波调幅波的产生和解调电路

## 5.3 调幅波产生原理的理论分析

---

该节相关内容插在5.5及5.6节中，例如：

5.5中，小信号平方律检波用幂级数分析法；

5.6中，大信号调幅的数学分析用开关函数近似分析法。



# 第5章 振幅调制与解调

---

5.1 概述

5.2 调幅信号的分析

5.3 调幅波产生原理的理论分析

5.4 普通调幅波的产生电路

5.5 普通调幅波的解调电路

5.6 抑制载波调幅波的产生和解调电路

## 5.4 普通调幅波的产生电路

---

### 1. 叠加波 $\neq$ 调幅波

调幅波的共同之处是在调幅前后 产生了新的频率分量，因此需要用 非线性器件 来完成频率变换。

### 2. 调幅的方法

1) 二、三极管      2) 大、小信号

3) 高、低电平调幅

---

振幅调制的方法按功率电平的高低分为两种：  
高电平调幅和低电平调幅

- 高电平调幅

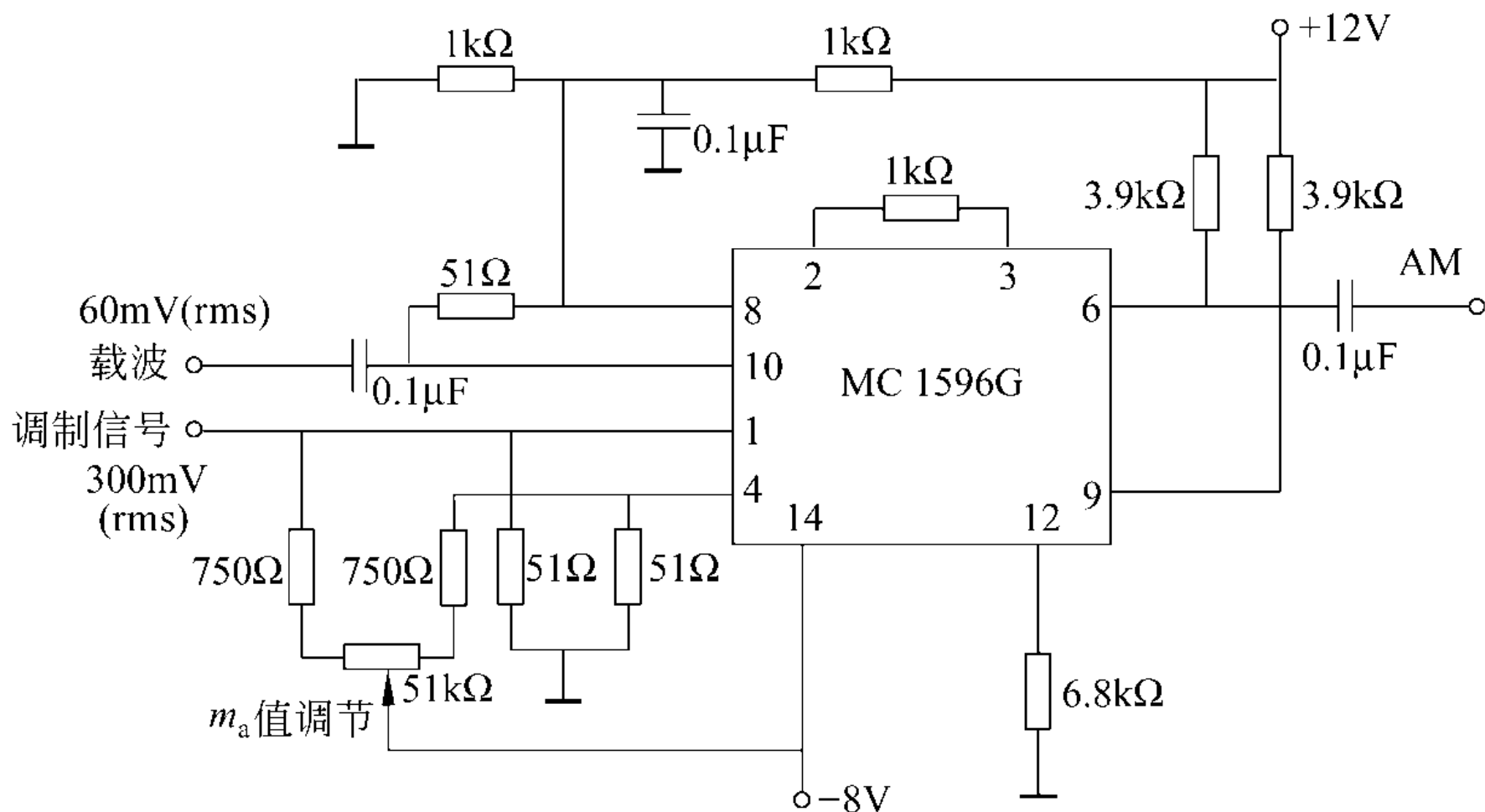
通常是在丙类放大器中进行，属于这一类型的调制方法有集电极调幅和基极调幅。

高电平调幅是在发射机的最后一级，能直接产生达到输出功率要求的已调波。

- 低电平调幅是在低电平级进行的，调制功率小，通常要经过功率放大，达到所需要的发射功率电平。

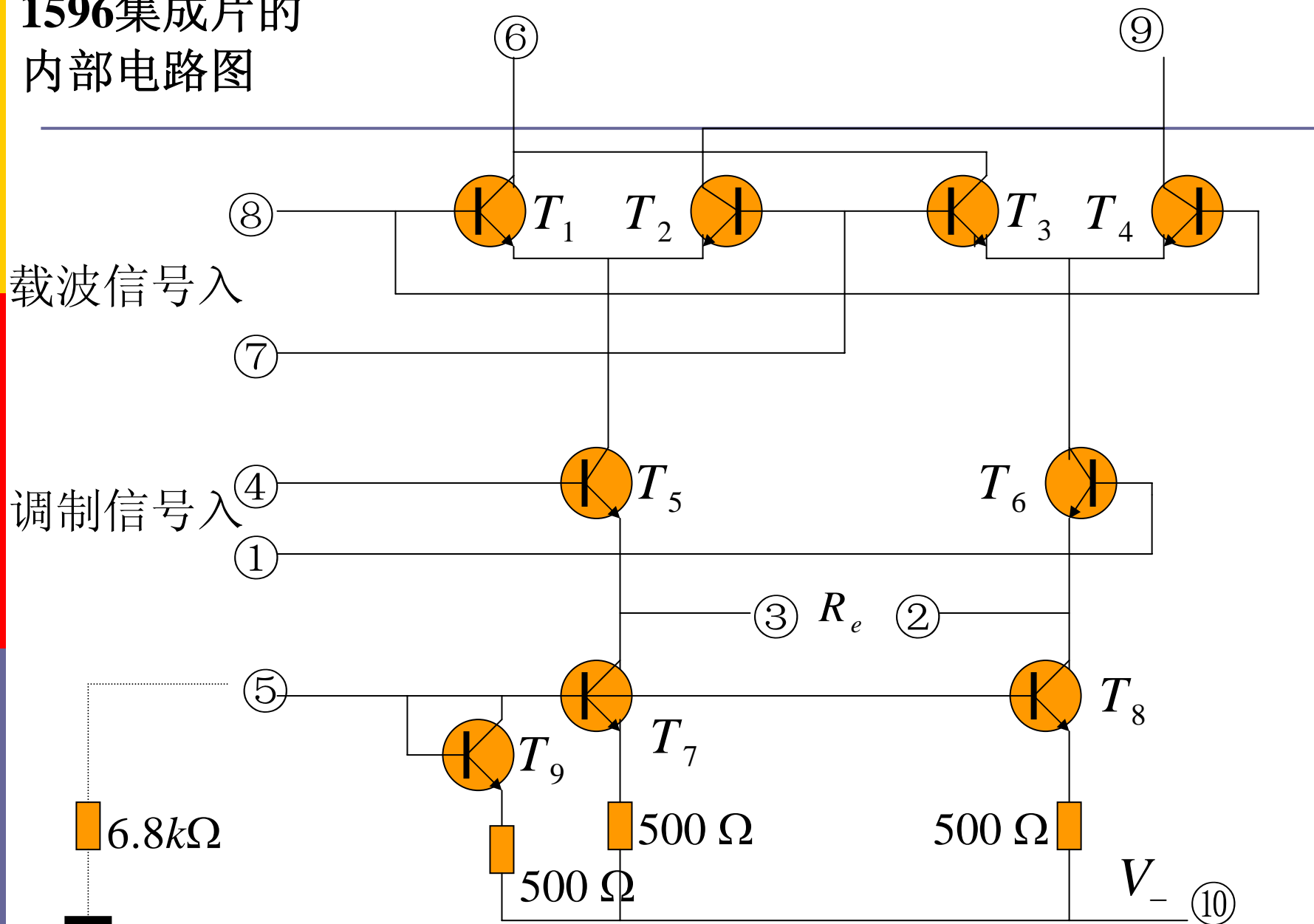
利用模拟乘法器产生调幅波的电路就是低电平调幅电路。

## 5.4.1 低电平调幅电路 — 模拟乘法器电路



与DSB信号调制电路比较

# 1596集成片的 内部电路图



---

(1) 在 $u_1$ 、 $u_2$ 小信号时，输出信号

$$u_0 = Ku_1u_2$$

(2) 输入信号较大时，模拟乘法器起限幅作用，同时仍起着两个信号相乘的非线性变换作用，但输出中包含较多的谐波分量。

$$(\omega_c \pm \Omega, \omega_c \pm 3\Omega, \omega_c \pm 5\Omega \cdots)$$

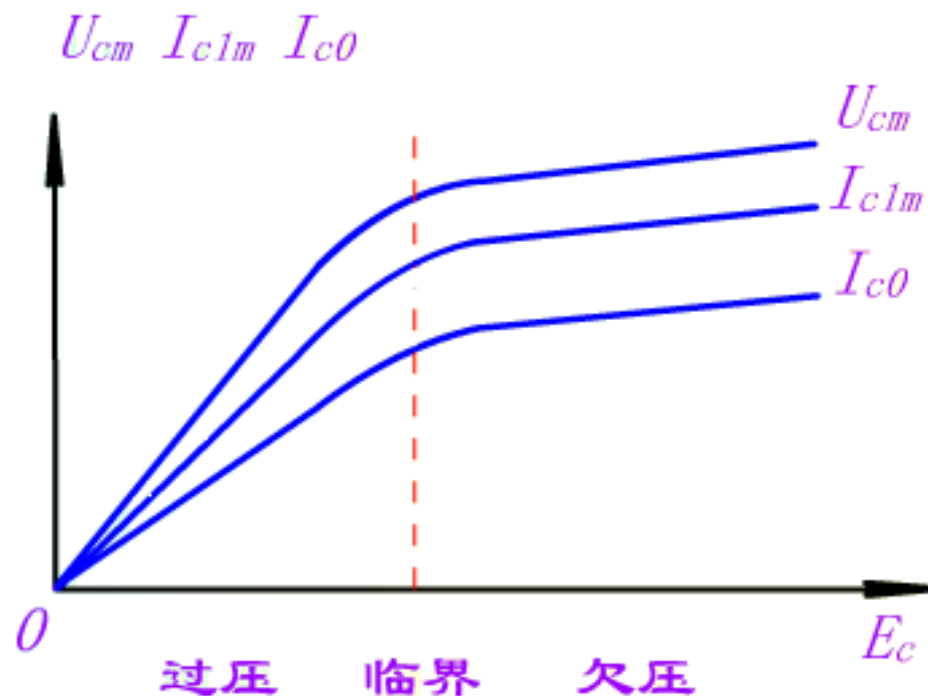
可在其后接带通滤波器，滤除高次谐波。

## 5.4.2 高电平调幅电路

---

- 基极调幅时，放大器应工作在欠压状态；  
(图5-11)
- 集电极调幅时，放大器应工作在过压状态。  
(图5-16)

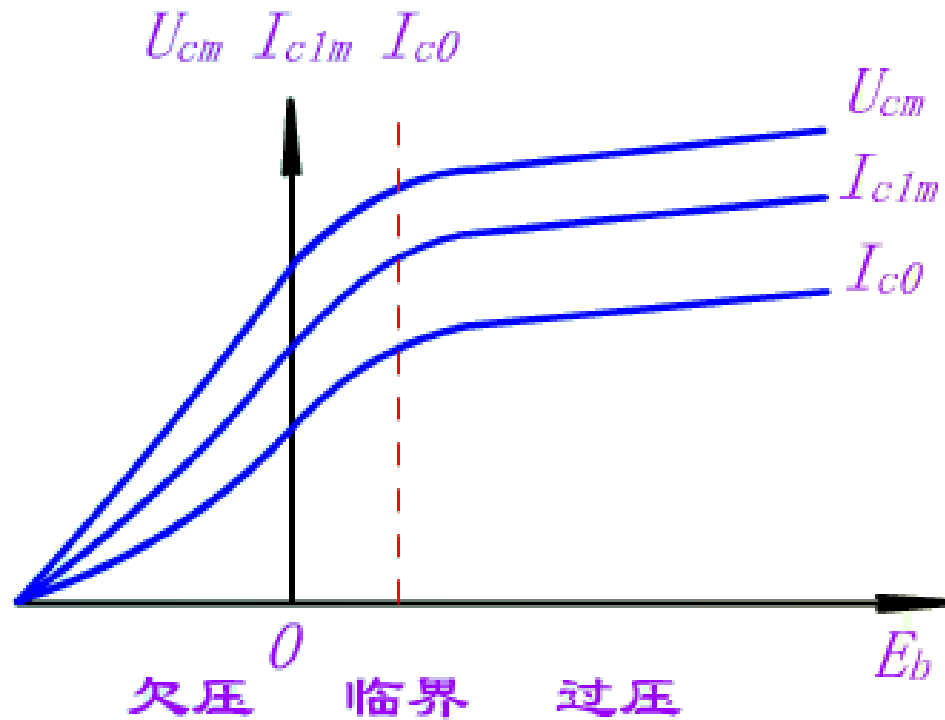
由图可见，只有在过压状态 $E_c$ 对 $U_{cm}$ 才有较大的控制作用。



所以集电极调幅应工作在过压状态。



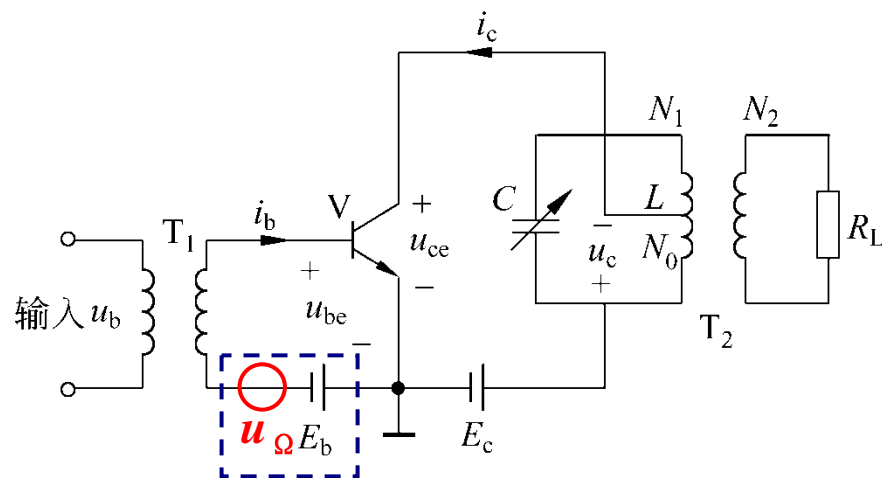
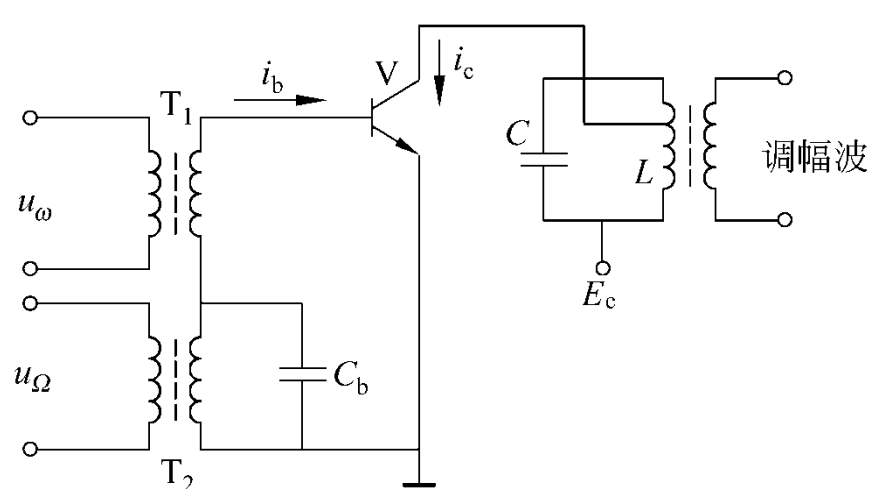
由此可见，在欠压区， $U_{cm}$  ( $I_{c1m}$ ) 随  $E_b$  呈线性变化关系， $E_b$  对  $U_{cm}$  有较强的控制作用，这是基极调幅的原理。



所以基极调幅应工作在欠压区。

# 大信号基极调幅电路

## 1. 电路



## 2. 基本工作原理

思路：——  $u_\Omega$  相当于一个缓慢变化的偏压，使  $i_{c\max}$  按调制信号的大小而变化，从而引起基波电流振幅  $I_{c1m}$  的变化，最后使得输出回路两端电压也跟随  $u_\Omega$  变化。

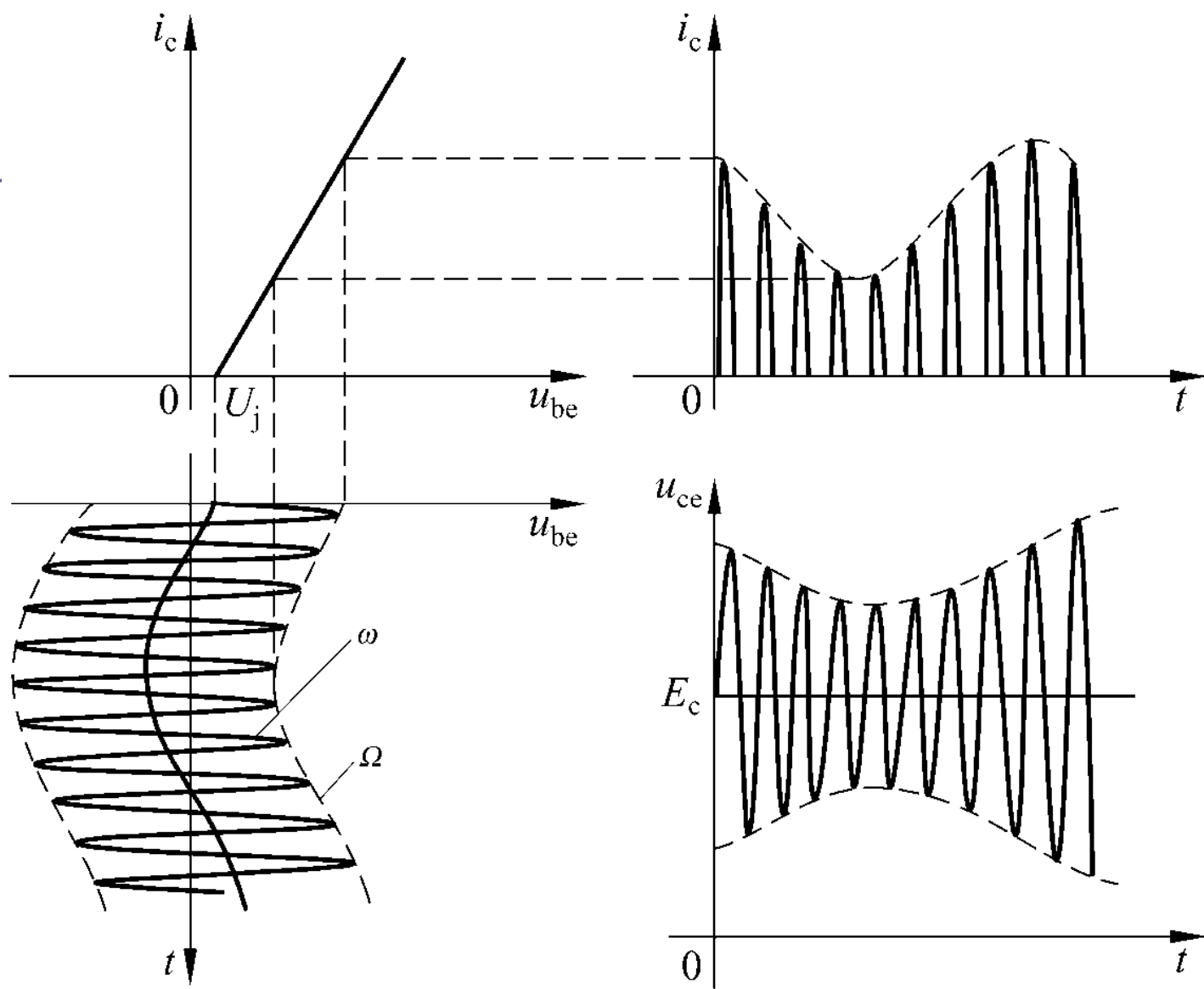


图5-10 基极调幅波形图

### 3. 设计要求

---

#### (1) 关于放大器的工作状态

**欠压状态**，设计时应使放大器最大工作点（调幅波幅值最大处）处于临界状态。

#### (2) 晶体管的选择

放大器的工作状态随调制信号而变化，应根据最困难条件选管子。

$$I_{CM} \geq (I_{cmax})_{max}$$

$$BV_{ceo} \geq 2E_c$$

$P_{CM} \geq (P_C)_c$ ——载波状态（传送语言或音乐信息的休止时间）集电极损耗功率

---

(4) 对激励的要求

(5) 对放大器的要求

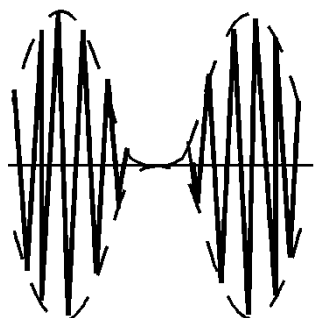
## (5) 优缺点

优点：①所需调制信号功率很小；②电路比较简单。

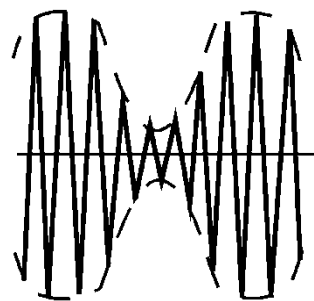
缺点：工作在欠压状态，集电极效率很低。

## (6) 失真波形

两种：波谷变平、波腹变平



波谷变平



波腹变平

产生波谷变平的原因：

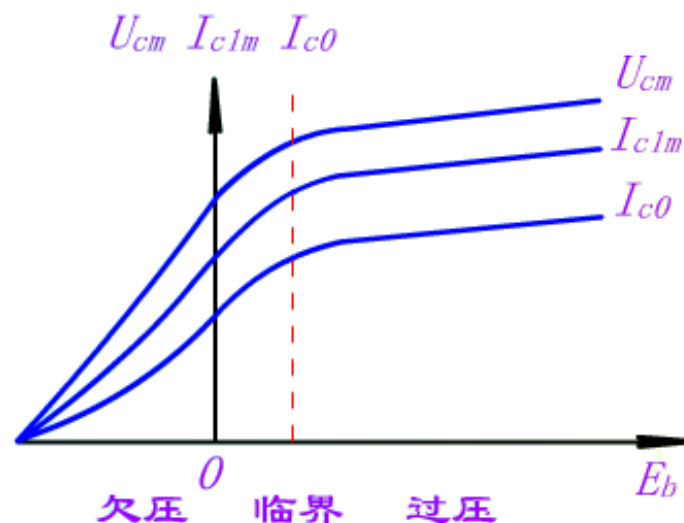
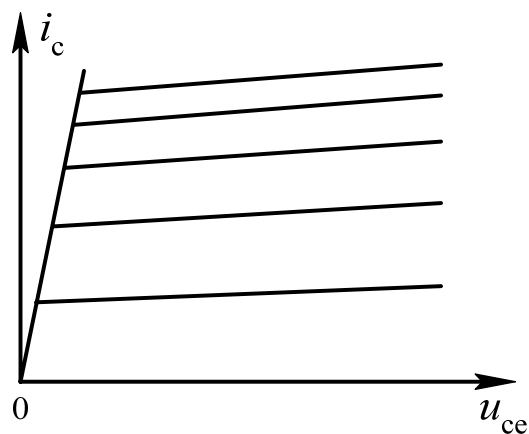
过调（即反偏压 $U_{\Omega m}$ 过大）或激励电压 $U_{\omega m}$ 过小，造成管子在波谷处截止。

## 产生波腹变平的原因：

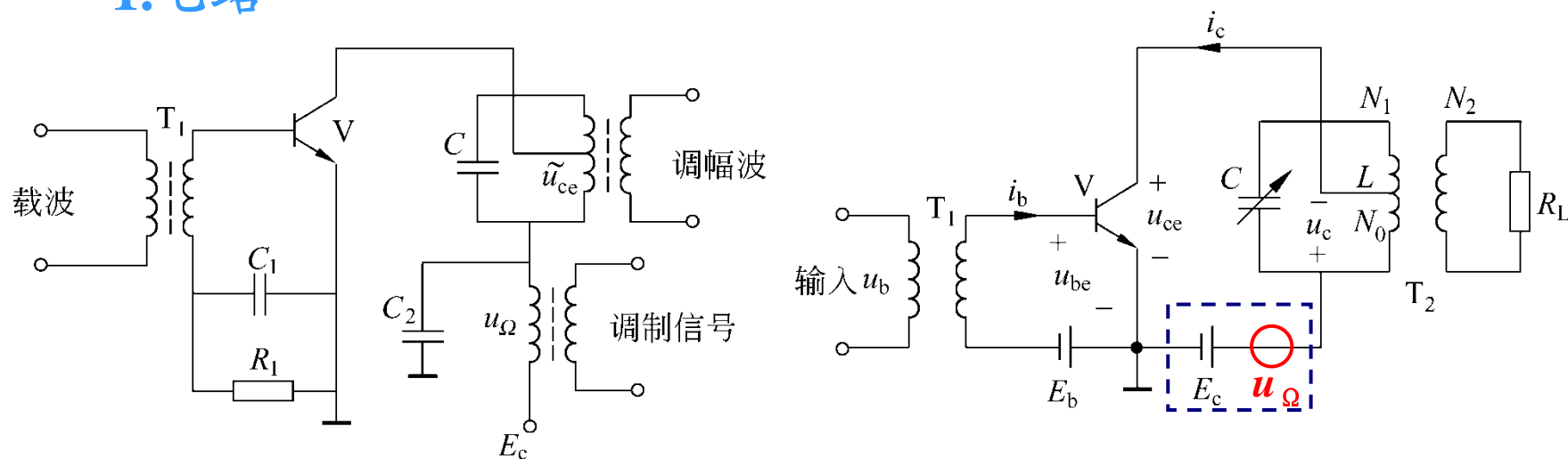
①放大器工作在过压状态。激励过强或阻抗匹配不当都可能造成此现象；

②激励功率不够或激励信号源内阻过大，造成波腹处的基波脉冲增长不上去；

③管子在大电流下输出特性不好，造成波腹处集电极电流脉冲增长不上去。



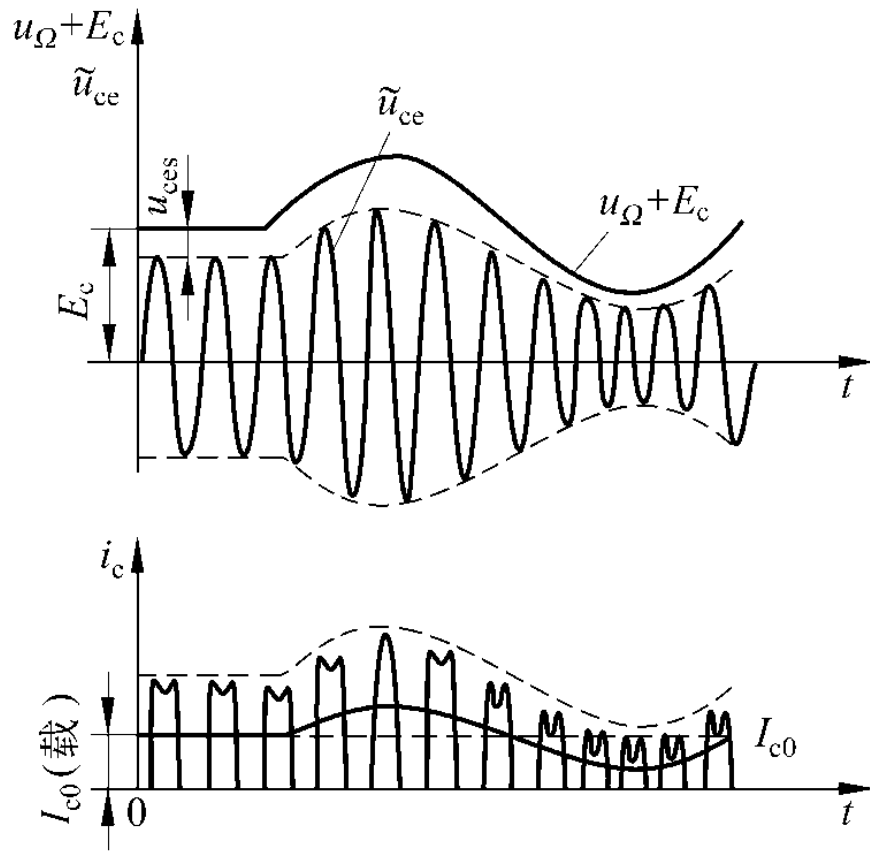
## 1. 电路



电路特点: 1)  $E_{cc}=E_c+u_\Omega$ , 综合电源电压;  
2)  $R_1$ 、 $C_1$ 是基极自给偏压环节。



## 2.基本工作原理（着重理解各点波形）



由于放大器在载波状态工作在过压状态， $i_c$ 脉冲中心下凹。  
 $E_{cc}$ 愈小，过压愈深，脉冲下凹愈甚。  
一般是当 $E_{cc}$ 最大时，将放大器调整到临界状态， $i_c$ 脉冲不下凹。

### 3. 设计要点

#### (1) 放大器的工作状态

最大工作点设计在临界状态，其余时间都处于过压状态。

#### (2) 晶体管的选择

$$I_{CM} \geq (I_{cmax})_{max}$$

$$BV_{ceo} \geq 4E_c$$

$$P_{CM} \geq (P_C)_{av}$$

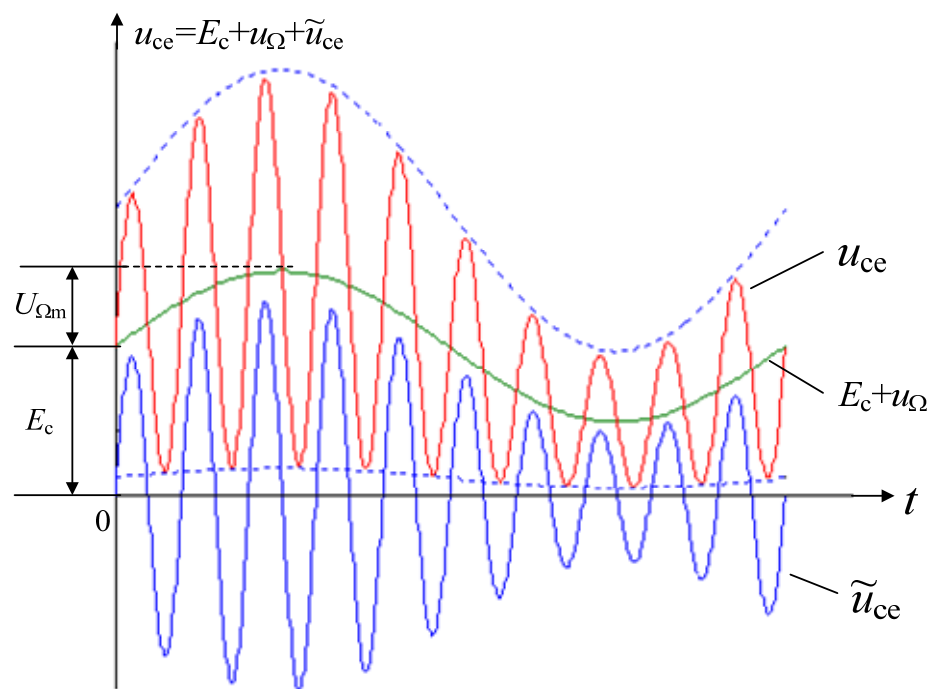


图5-18 集电极瞬时电压波形

### (3) 对激励的要求

为保证过压工作，激励的强度应满足最大工作点工作在临界状态。

如果激励不足，则产生波腹变平的失真。

### (4) 对调制信号的要求

为了获得 $m_a=1$ 的深度调幅， $U_{\Omega m} \approx E_c$ 。

$U_{\Omega m}$ 过小则调制不深，过大则产生过调失真。

集电极调幅的过调失真波形：

