



廣東工業大學
Guangdong University of Technology

广东工业大学

第六章 振幅调制与解调电路

信息工程学院

李志忠

目录

6.1 概论

6.2 低电平调幅电路

6.3 高电平调幅电路

6.4 单边带信号的产生

6.5 包络检波器

◆ 6.3 高电平调幅电路

一、集电极调幅电路

1. 集电极调幅原理电路

具有下列特点：

①集电极回路调谐在 ω_c ，带宽略大于 2Ω

②丙类放大器工作于过压状态。

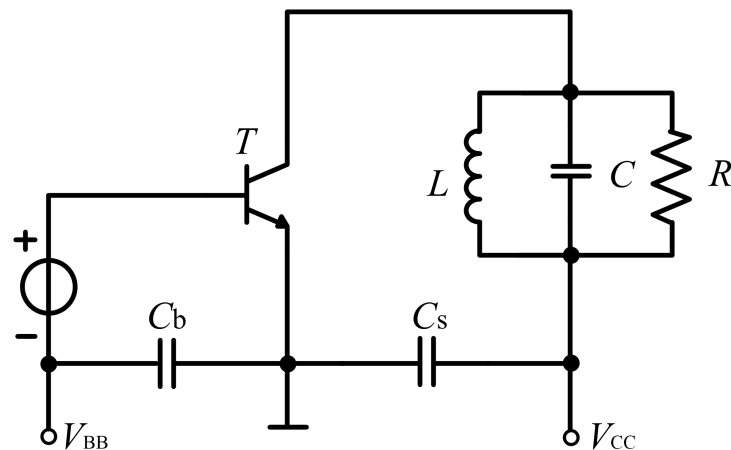
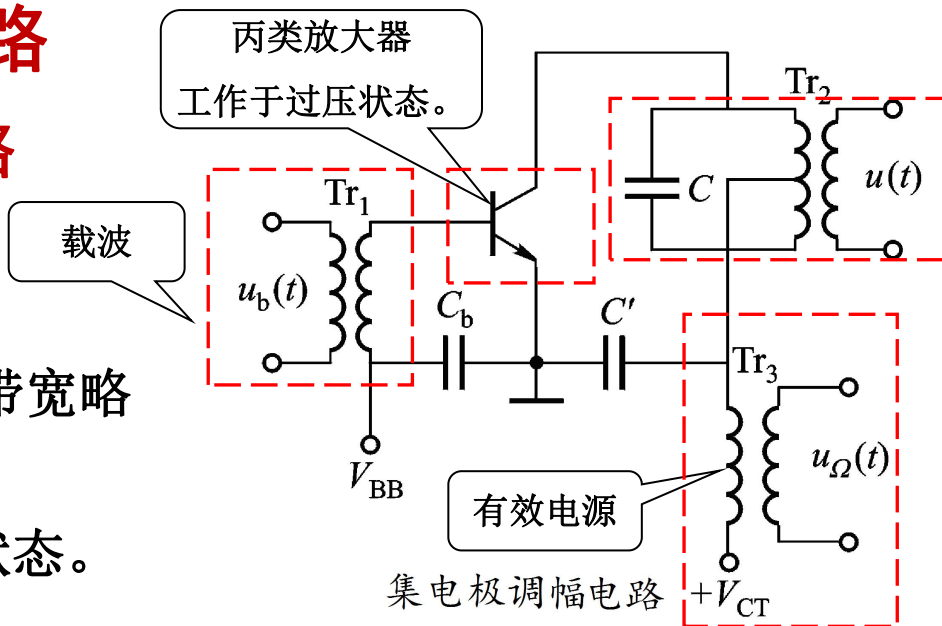
③有效电源 $V_{CC} = V_{CT} + u_{\Omega m}(t)$

随 $u_{\Omega m}(t)$ 变化。

分析时,将此电路看成高频功率放大电路,则有:

分析设载波信号 $u_b(t) = U_{bm} \cos \omega_c t$,

则输出电压 $u(t) = I_{c1m} R_p \cos \omega_c t$



◆ 6.3 高电平调幅电路

过压状态: $I_{c1m} \propto V_{CC}$

∴ 振幅 $U_{cm} = I_{c1m}R_p \propto V_{CC}$

∴ 集电极调幅应工作于过压状态。

2. 调幅原理

在丙类高频功放电路中, 集电极电流为 i_c 脉冲, 其基波分量 I_{c1m} 随集电极电源电压 V_{CC} 的变化规律如右图。可见 I_{c1m} 与 V_{CC} 成线性关系。

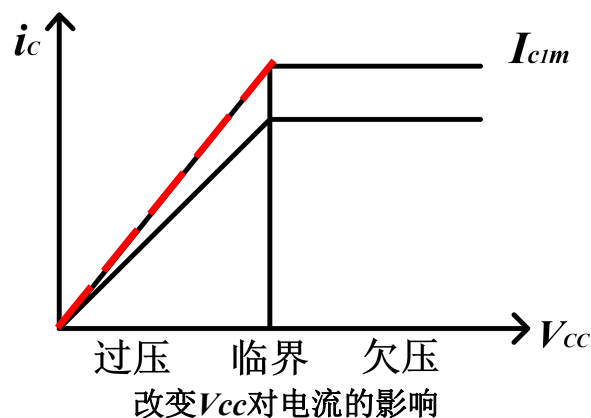
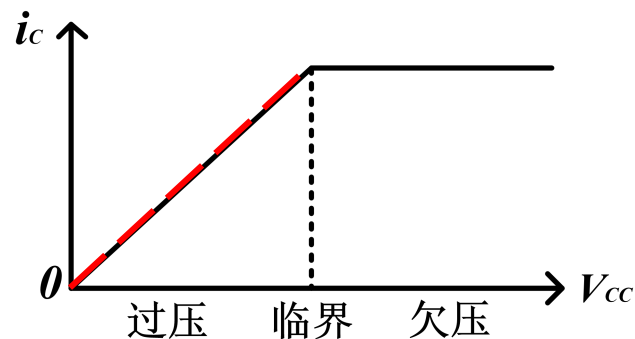
$$V_{CC} = V_{CT} + u_{\Omega}(t) = V_{CT} + U_{\Omega m} \cos \Omega t$$

$$= V_{CT} (1 + m_a \cos \Omega t)$$

$$\text{其中: } m_a = \frac{V_{\Omega m}}{V_{CT}}$$

根据理想化调幅特性可得 $\begin{cases} I_{co} = I_{coT} (1 + m_a \cos \Omega t) \\ I_{c1m} = I_{c1T} (1 + m_a \cos \Omega t) \end{cases}$

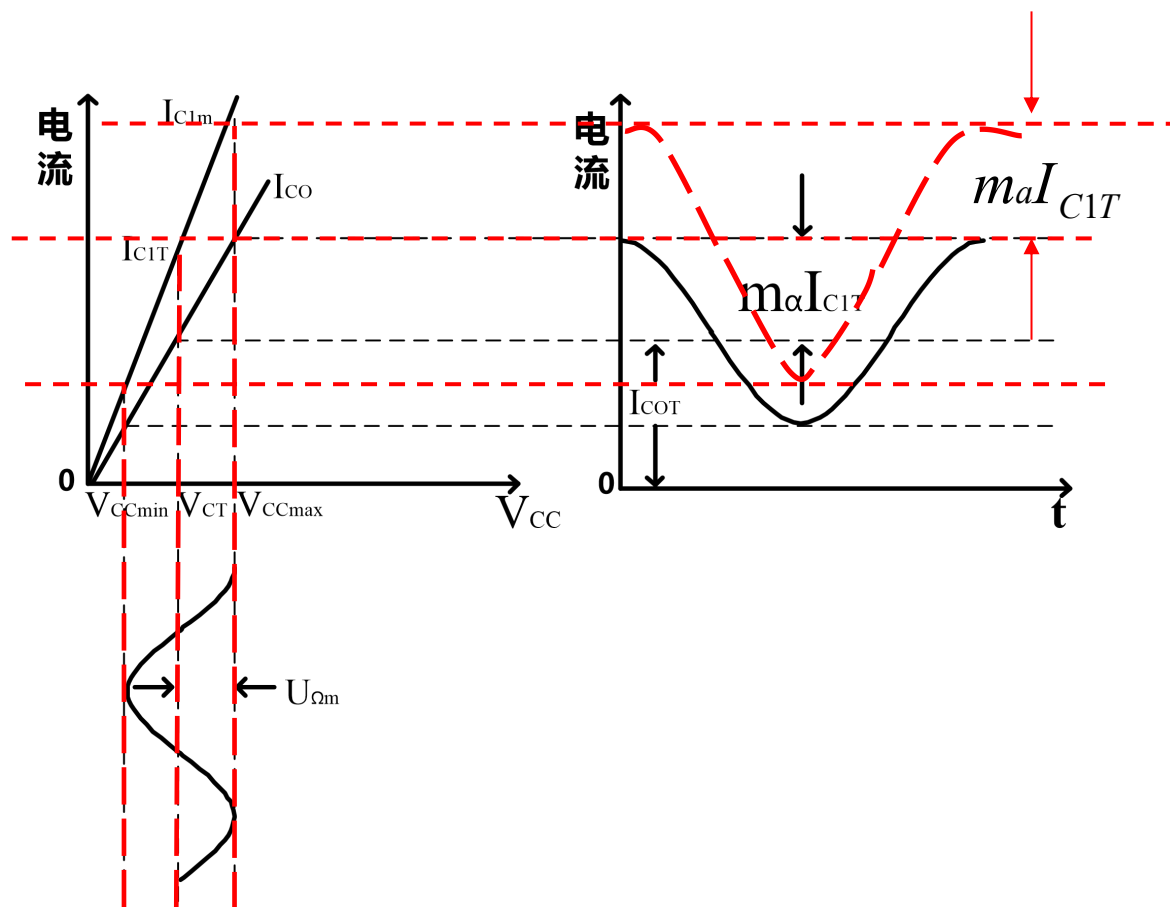
$$\text{输出电压 } u(t) = I_{c1m} R_p \cos \omega_c t = U_{cm} (1 + m_a \cos \Omega t) \cos \omega_c t$$



可见 $u(t)$ 为普通调幅波的表达式, 此电路可实现普通调幅波的调幅。

◆ 6.3 高电平调幅电路

调幅原理图



◆ 6.3 高电平调幅电路

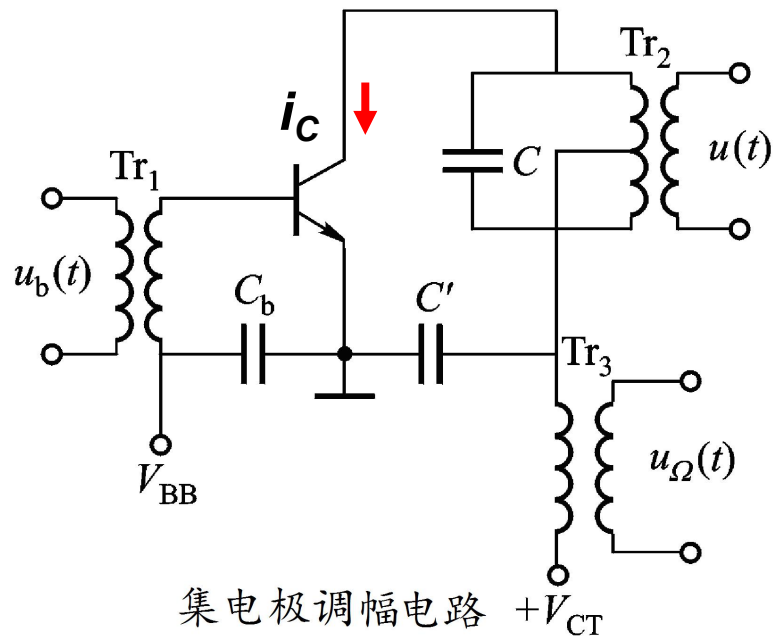
3. 集电极调幅电路的功率与效率

(1) 载波状态 $u_{\Omega}(t) = 0$ 时,

此时右图为高频功率放大器,集电极直流电源为 V_{cT} ,输出电压 $u(t) = A_v u_c(t)$,集电极电流 i_c 为脉冲,其直流分量为

I_{c0T} 、基波分量为 I_{c1T}

$$V_{cc} = V_{cT}, I_{co} = I_{coT}, I_{c1m} = I_{c1T}$$



➤ 直流电源提供的输入功率 $P_{=} = V_{cT} I_{coT} = P_{=T}$

➤ 载波输出功率 $P_{oT} = \frac{1}{2} I_{c1T}^2 R_p$

➤ 集电极损耗功率 $P_{cT} = P_{=T} - P_{oT}$

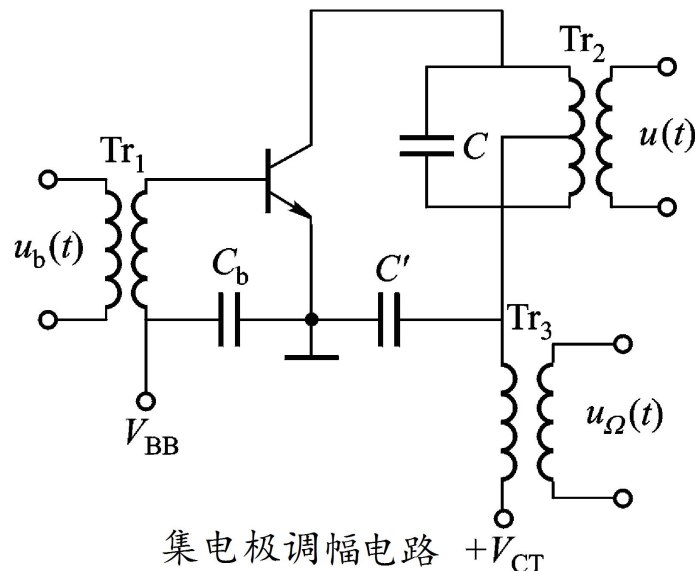
➤ 集电极效率 $\eta_{cT} = \frac{P_{oT}}{P_{=T}}$

◆ 6.3 高电平调幅电路

(2) 调制状态

$u_{\Omega}(t) \neq 0$ 时，设 $u_{\Omega}(t) = U_{\Omega m} \cos \Omega t$

此时右图为高电平集电极调幅电路。



集电极有效电源为： $V_{CC} = V_{CT} + u_{\Omega}(t) = V_{CT} (1 + m_a \cos \Omega t)$

输出电压 $u(t)$ 为调幅波： $u(t) = U_{cm} (1 + m_a \cos \Omega t) \cos \omega_c t$

集电极电流 i_c 为脉冲，其直流分量和基波分量为：

$$I_{c0} = I_{C0T} (1 + m_a \cos \Omega t), I_{c1m} = I_{C1T} (1 + m_a \cos \Omega t)$$

◆ 6.3 高电平调幅电路

①直流有效电源 $V_{CC} = V_{CT} + u_{\Omega}(t)$ 的平均总输入功率:

$$\begin{aligned} P_{=av} &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} V_{CC} I_{C0} d(\Omega t) \\ &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} V_{CT} (1 + m_a \cos \Omega t) \cdot I_{C0T} (1 + m_a \cos \Omega t) d(\Omega t) \\ &= \boxed{V_{CT} I_{C0T}} + \boxed{\frac{m_a^2}{2} V_{CT} I_{C0T}} = P_{=T} + P_{\Omega} = \left(1 + \frac{m_a^2}{2}\right) P_{=T} \end{aligned}$$

直流电源提供的平均输入功率

调制信号源提供的平均输入功率

此功率分为两部分，一为 V_{CT} 提供的功率: $P_{=T} = V_{CT} I_{C0T}$

一为 $u_{\Omega}(t)$ 提供的功率: $P_{\Omega} = \frac{m_a^2}{2} P_{=T}$

◆ 6.3 高电平调幅电路

②调制一周的平均输出功率为：

$$\begin{aligned} P_{oav} &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \frac{1}{2} I_{c1m}^2 R_p d(\Omega t) \\ &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \frac{1}{2} I_{C1T}^2 (1 + m_a \cos \Omega t)^2 R_p d(\Omega t) \\ &= \frac{1}{2} I_{C1T}^2 R_p + \frac{m_a^2}{2} \times \frac{1}{2} I_{C1T}^2 R_p = \left(1 + \frac{m_a^2}{2}\right) P_{oT} \end{aligned}$$

因为输出信号 $u(t)$ 为普通调幅波，故输出功率包括**载波功率和边频功率**两部分

$$\text{载波功率为： } P_{oT} = \frac{1}{2} I_{C1T}^2 R_p \qquad \text{边频功率为： } P_{c\omega_c \pm \Omega} = \frac{m_a^2}{2} P_{oT}$$

载波功率由直流电源 V_{CT} 提供，边频功率由 $u_{\Omega}(t)$ 提供

◆ 6.3 高电平调幅电路

③集电极平均损耗功率:

$$P_{cav} = P_{=av} - P_{oav}$$

④集电极平均效率:

$$\eta_{cav} = \frac{P_{oav}}{P_{=av}} = \frac{P_{oT} \left(1 + \frac{m_a^2}{2}\right)}{P_{=T} \left(1 + \frac{m_a^2}{2}\right)} = \eta_{cT}$$

可见集电极调幅电路在调制过程中效率不变。

◆ 6.3 高电平调幅电路

(3) 调制最大状态

$$V_{cc\max} = V_{cT} (1 + m_a), I_{co\max} = I_{coT} (1 + m_a), I_{c1\max} = I_{c1T} (1 + m_a)$$

➤ 有效电源输入功率

$$P_{=\max} = V_{cc\max} I_{c0\max} = V_{cT} (1 + m_a) I_{c0T} (1 + m_a) = P_{=T} (1 + m_a)^2$$

➤ 高频输出功率

$$P_{o\max} = \frac{1}{2} I_{c1\max}^2 R_p = \frac{1}{2} I_{c1T}^2 (1 + m_a)^2 R_p = P_{oT} (1 + m_a)^2$$

➤ 集电极损耗功率

$$P_{c\max} = P_{=\max} - P_{o\max} = (P_{=T} - P_{oT}) (1 + m_a)^2 = P_{cT} (1 + m_a)^2$$

➤ 集电极效率

$$\eta_{\max} = \frac{P_{o\max}}{P_{=\max}} = \frac{P_{oT}}{P_{=T}} = \eta_{cT}$$

结论：在调制信号波峰处，所有功率都是载波状态的 $(1 + m_a)^2$ 倍，而集电极效率不变。

◆ 6.3 高电平调幅电路

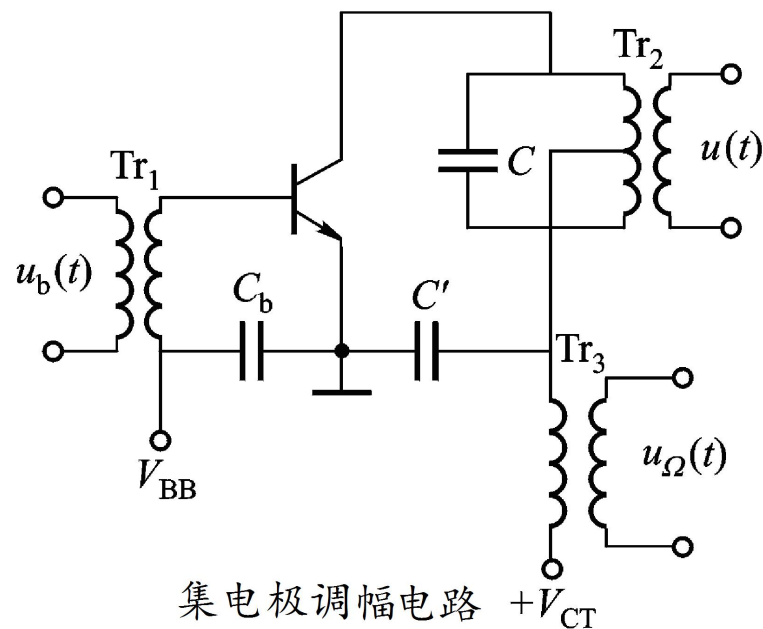
4. 集电极调幅电路的特点

- ① 必须工作于过压区。
- ② 调制过程中效率不变，可保持在高效率下工作。
- ③ 总输入功率分别由直流电源 V_{cT} 和调制信号源 $u_{\Omega}(t)$ 提供。因而调制信号源应是功率源。
- ④ 载波输出功率是由直流电源 V_{cT} 提供，而边频输出功率是由调制信号源 $u_{\Omega}(t)$ 提供。
- ⑤ 在调制一周内的平均功率都是载波状态对应功率的 $(1 + \frac{m_a^2}{2})$ 倍。
- ⑥ 集电极平均损耗功率是载波状态损耗功率的 $(1 + \frac{m_a^2}{2})$ 倍，选管子时，应采用管子的允许损耗功率 $P_{CM} > P_{cav}$ 。

◆ 6.3 高电平调幅电路

例4：集电极调幅电路如图，集电极直流电源 $V_{cT} = 24V$ ，集电极电流直流分量 $I_{co} = 20mA$ ，调制变压器次级的调制音频电压为 $u_{\Omega}(t) = 16.8\sin 2\pi \times 10^3 t(V)$ ，集电极平均效率为 $\eta_{cav} = 80\%$ ，回路载波输出电压 $u_c(t) = 21.6\cos 2\pi \times 10^6 t(V)$ ，试求：

- (1) 调幅指数 m_a
- (2) 输出调幅波的数学表达式
- (3) 直流电源 V_{cT} 提供的直流平均输入功率
- (4) 调制信号源 $u_{\Omega}(t)$ 提供的平均输入功率
- (5) 有效电源 $V_{cT} + u_{\Omega}(t)$ 提供的总平均输入功率
- (6) 载波输出功率、边频输出功率和总平均输出功率



◆ 6.3 高电平调幅电路

解：(1) 集电极调幅的调幅度 m_a

$$m_a = \frac{V_{\Omega m}}{V_{cT}} = \frac{16.8}{24} = 0.7$$

(2) 由于调制信号为 $u_{\Omega}(t) = 16.8 \sin 2\pi \times 10^3 t (V)$ ，载波为 $u_c(t) = 21.6 \cos 2\pi \times 10^6 t (V)$ ，则输出普通调幅波的数学表达式为：

$$\begin{aligned} u(t) &= U_{cm} (1 + m_a \sin \Omega t) \cos \omega_c t \\ &= 21.6 (1 + 0.7 \sin 2\pi \times 10^3 t) \cos 2\pi \times 10^6 t (V) \end{aligned}$$

(3) 直流电源 V_{cT} 提供的直流平均输入功率：

$$P_{=T} = V_{cT} I_{c0} = 24 \times 20 \times 10^{-3} = 480 (mW)$$

(4) 调制信号源 $u_{\Omega}(t)$ 提供的平均输入功率

$$P_{\Omega} = \frac{m_a^2}{2} P_{=T} = \frac{1}{2} \times 0.7^2 \times 0.480 = 117.6 (mW)$$

◆ 6.3 高电平调幅电路

(5)有效电源 $V_{cT} + u_{\Omega}(t)$ 提供的总平均输入功率

$$P_{=av} = P_{=T} \left(1 + \frac{m_a^2}{2}\right) = 480 + 117.6 = 597.6(mW)$$

(6)载波输出功率:

$$P_{oT} = \eta_{cT} P_{=T} = 480 \times 80\% = 384(mW)$$

边频输出功率:

$$P_{c\omega_c \pm \Omega} = \frac{m_a^2}{2} P_{oT} = \frac{1}{2} \times 0.7^2 \times 384 = 94.8(mW)$$

总平均输出功率:

$$P_{oav} = P_{oT} \left(1 + \frac{m_a^2}{2}\right) = 384 + 94.8 = 478.08(mW)$$

◆ 6.3 高电平调幅电路

例5:有以载波输出功率为15W的集电极被调放大器,它在载波点(未调制时)的集电极效率 $\eta_{cav} = 75\%$, 试求各项功率。

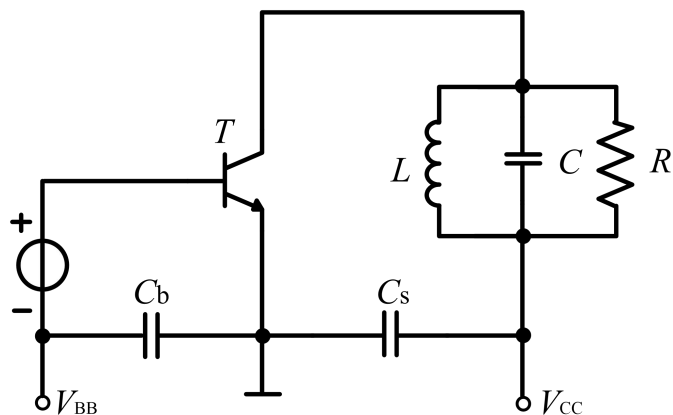
分析:

- (1) 载波状态
- (2) 调制状态 $m_a=1$
- (3) 调制最大状态

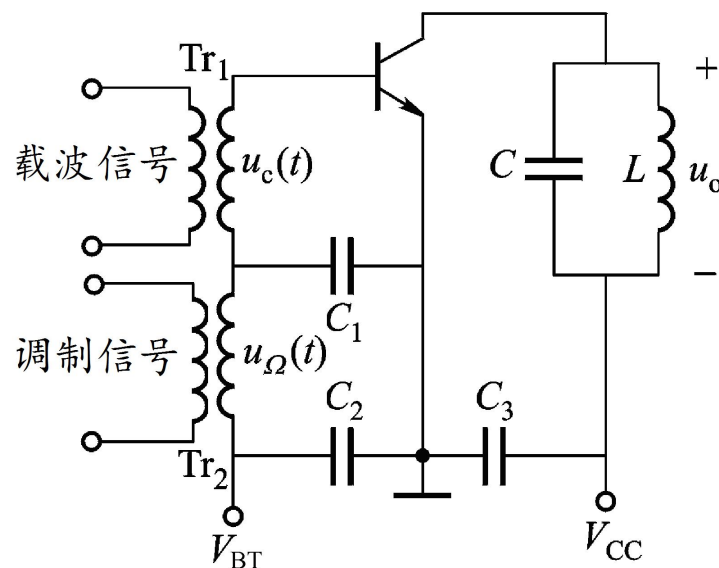
◆ 6.3 高电平调幅电路

二、基极调幅电路

1. 基极调幅原理



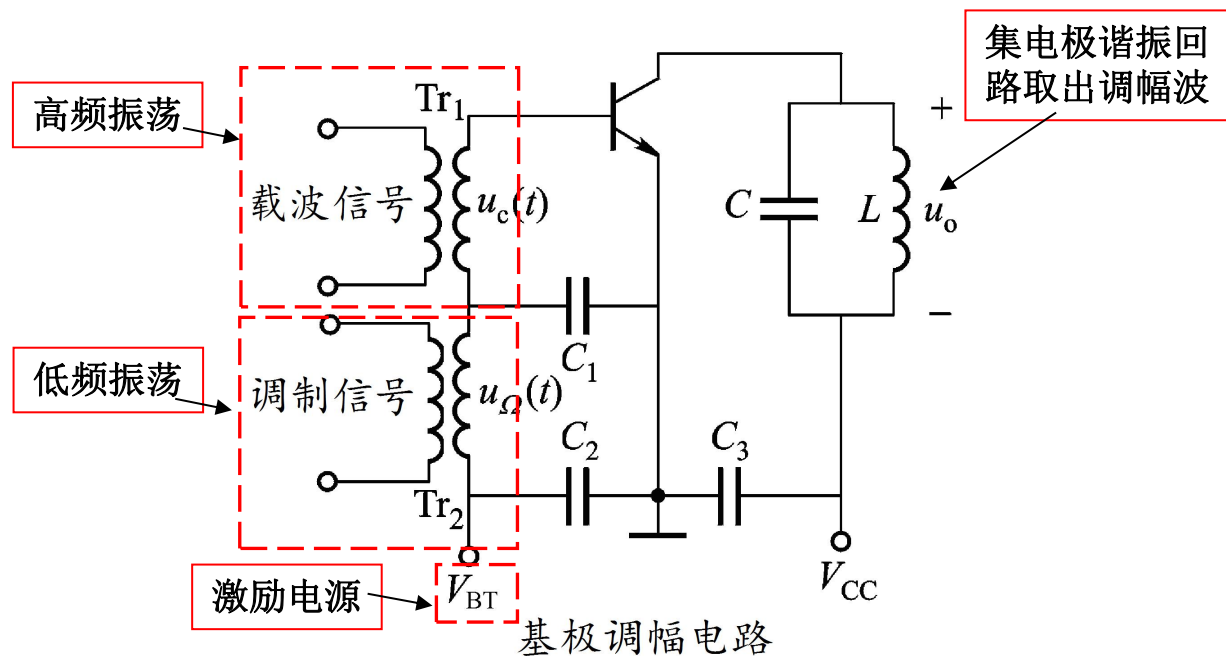
丙类高频功率放大器原理图



基极调幅电路

图中的基极有效电源电压为 $V_{BB} = V_{bb} + u_{\Omega}(t)$
它随调制电压变化而变化。

◆ 6.3 高电平调幅电路



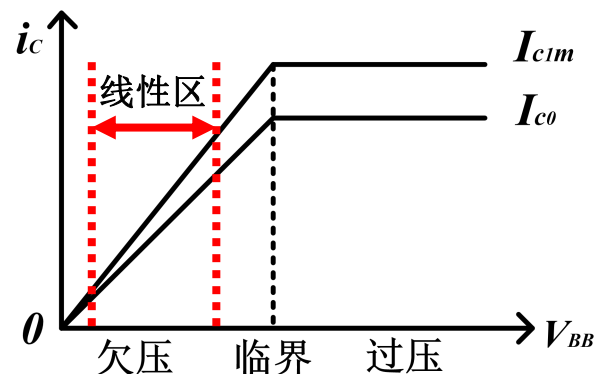
1. 工作原理

在基极电路里，高频振荡、低频调制信号和激励电源串连起来构成基极—发射级电压 $v_{be} \rightarrow i_c$ ，受 v_{be} 的控制，集电极谐振回路取出调幅波。

◆ 6.3 高电平调幅电路

在丙类高频功放电路中，集电极电流 I_{c1m} 随基极电源电压 V_{BB} 的变化规律右图。

由右图可知,在欠压区的线性区,
 I_{c1m} 与 V_{BB} 成线性关系:



$$\because V_{BB} = V_{bb} + U_{\Omega m} \cos \Omega t = V_{bb} (1 + m_a \cos \Omega t)$$

$$\therefore I_{com} = I_{CoT} (1 + m_a \cos \Omega t) \quad \therefore I_{c1m} = I_{C1T} (1 + m_a \cos \Omega t)$$

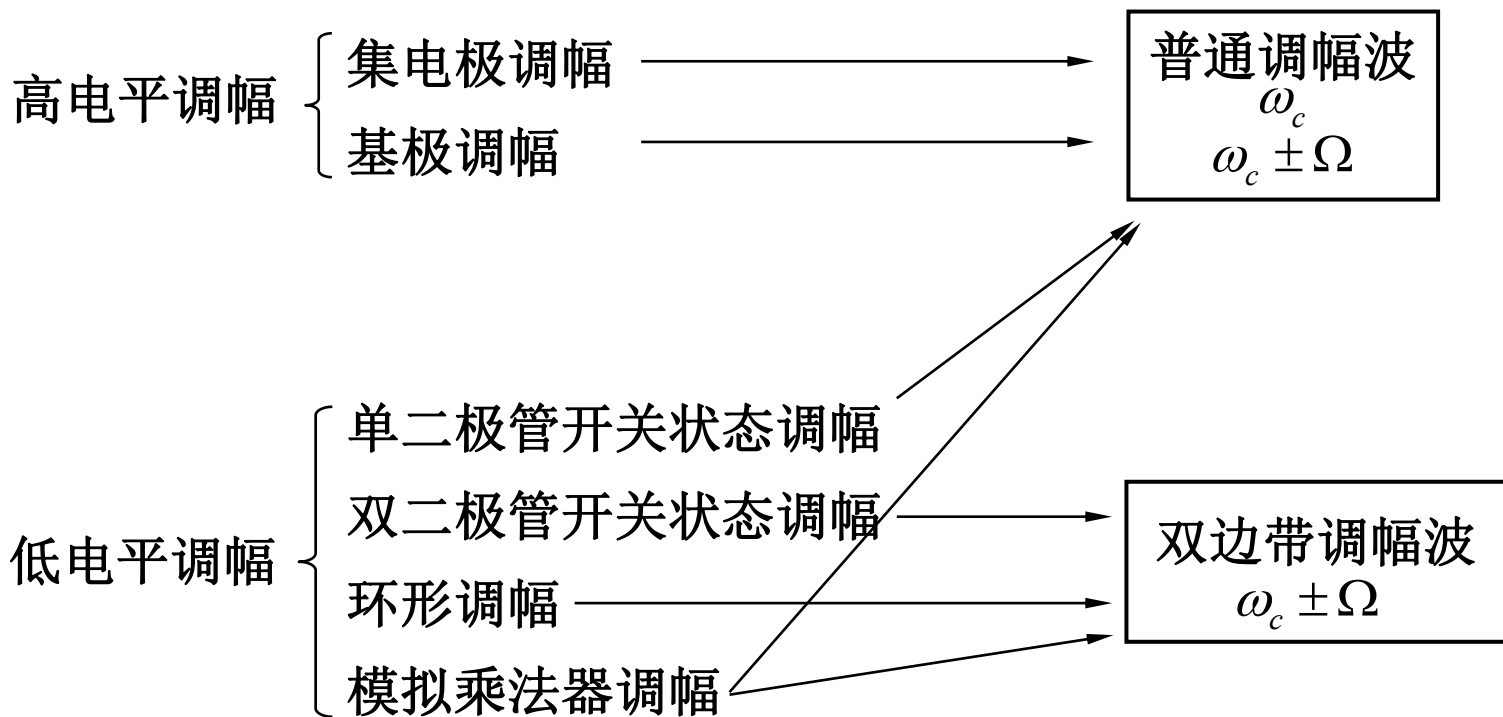
$$\text{其中: } m_a = \frac{V_{\Omega m}}{V_{bb}}$$

$$\Rightarrow u(t) = I_{c1m} R_p \cos \omega_c t = I_{C1T} R_p (1 + m_a \cos \Omega t) \cos \omega_c t$$

可见 $u(t)$ 为普通调幅波的表达式,此电路可实现普通调幅波的调幅.

◆ 6.3 高电平调幅电路

调幅电路总结



谢谢！