

# 电子技术基础模拟部分

- 1 绪论
- 2 运算放大器
- 3 二极管及其基本电路
- 4 场效应三极管及其放大电路
- 5 双极结型三极管及其放大电路
- 6 频率响应
- 7 模拟集成电路
- 8 反馈放大电路
- 9 功率放大电路
- 10 信号处理与信号产生电路
- 11 直流稳压电源

# 9 功率放大电路

- 9.1 功率放大电路的一般问题
- 9.2 射极输出器——甲类放大的实例
- 9.3 乙类双电源互补对称功率放大电路
- 9.4 甲乙类互补对称功率放大电路
- 9.5 功率管
- 9.6 集成功率放大器举例

## 9.1 功率放大电路的一般问题

### 1. 功率放大电路的特点及主要研究对象

#### (1) 功率放大电路的主要特点

功率放大电路是一种以输出较大功率为目的的放大电路。因此，要求同时输出较大的电压和电流。管子工作在接近极限状态。

一般直接驱动负载，带载能力要强。

#### (2) 要解决的问题

- 提高效率
- 减小失真
- 管子的保护

# 功率放大电路与前面介绍的电压放大电路有本质上的区别吗？

# 9.1 功率放大电路的一般问题

## 2. 功率放大电路提高效率的主要途径

➤ 降低静态功耗，即减小静态电流

### 四种工作状态

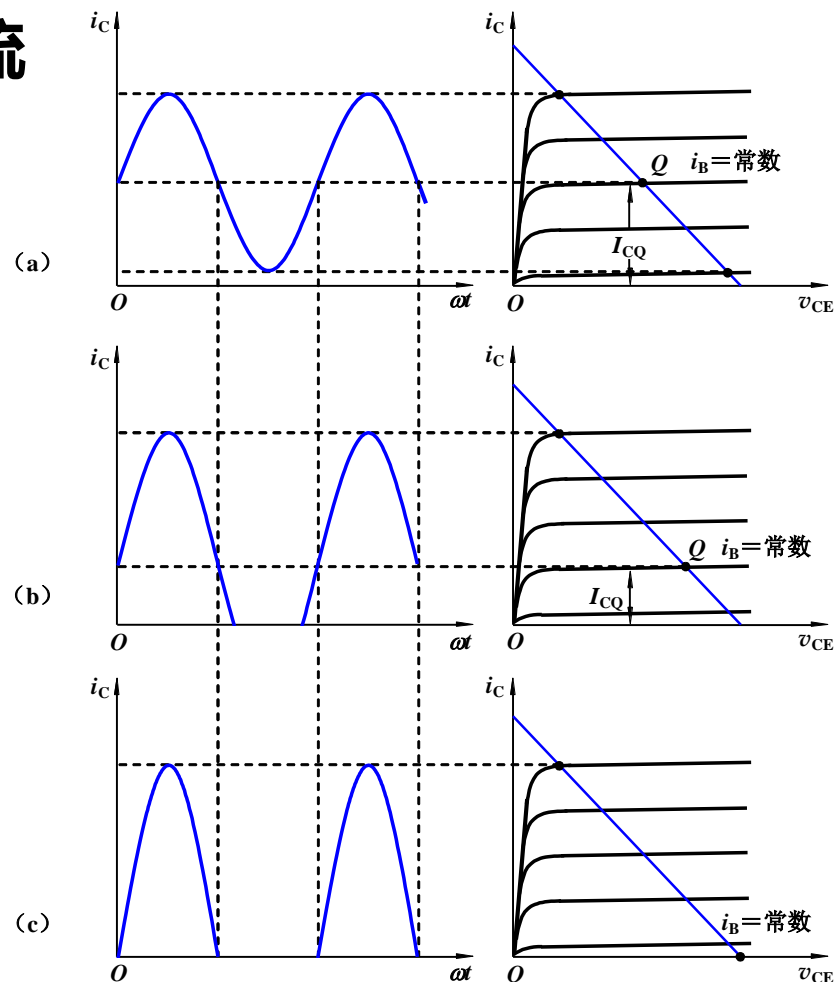
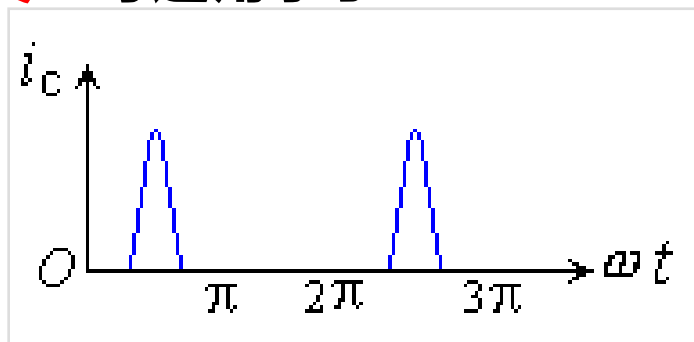
根据正弦信号整个周期内三极管的导通情况划分

**甲类：**一个周期内均导通

**乙类：**导通角等于 $180^\circ$

**甲乙类：**导通角大于 $180^\circ$

**丙类：**导通角小于 $180^\circ$

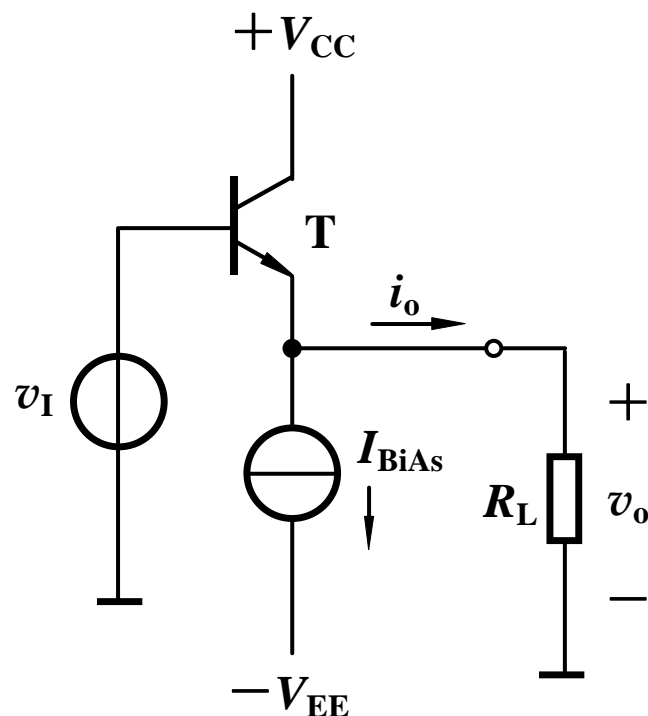


# 哪几种状态静态功耗最小？

## 9.2 射极输出器——甲类放大的实例

特点：

电压增益近似为1，电流增益很大，可获得较大的功率增益，输出电阻小，带负载能力强。



## 9.2 射极输出器——甲类放大的实例

输出电压与输入电压的关系

$$v_O \approx v_I - 0.6V$$

设BJT的饱和压 $V_{CES} \approx 0.2V$

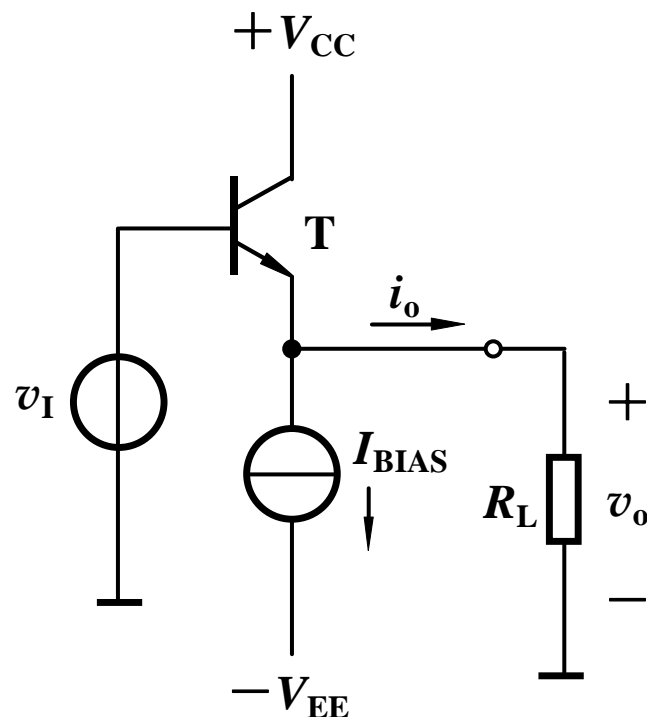
$v_O$ 正向振幅最大值

$$V_{om+} = V_{CC} - 0.2V \approx V_{CC}$$

$v_O$ 负向振幅最大值, T截止

临界截止时  $i_C \approx i_E = 0$

$$I_{om-} = |-I_{BIAS}| \quad V_{om-} = |-I_{BIAS} R_L|$$



## 9.2 射极输出器——甲类放大的实例

当正弦波最大输出电压正负幅值相同时，可获得最大输出功率

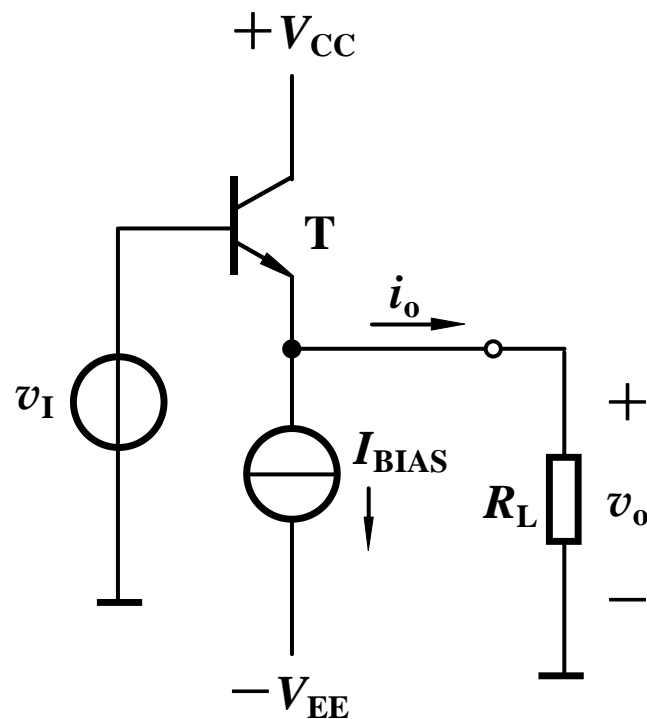
$$\text{即 } V_{\text{om}+} = V_{\text{om}-} \implies V_{\text{CC}} = |-I_{\text{BIAS}} R_{\text{L}}|$$

$$\implies I_{\text{BIAS}} = \frac{V_{\text{CC}}}{R_{\text{L}}} \quad \begin{array}{l} \text{保障输出幅度} \\ \text{能达到负电源} \\ \text{轨} \end{array}$$

$$\text{当取 } V_{\text{CC}} = V_{\text{EE}} = 15\text{V} \quad R_{\text{L}} = 8\Omega$$

$$v_{\text{I}} = 0.6\text{V} + v_{\text{i}} \quad v_{\text{i}} \text{ 足够大}$$

$$\text{最大输出功率} \quad P_{\text{om}} = \left( \frac{V_{\text{om}}}{\sqrt{2}} \right)^2 / R_{\text{L}} = 13.69\text{W}$$



## 9.2 射极输出器——甲类放大的实例

电源提供的功率(书399页推导)

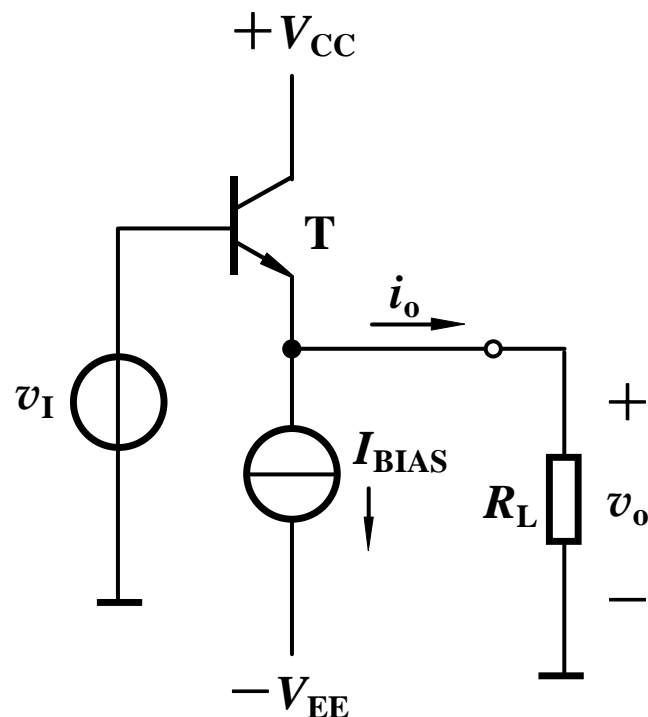
$$P_{VC} = V_{DD} I_{BIAS} = 27.75 \text{ W}$$

$$P_{VE} = V_{EE} I_{BIAS} = 27.75 \text{ W}$$

放大器的效率

$$\eta = \frac{P_{om}}{(P_{VC} + P_{VE})} \times 100\% \approx 24.7\%$$

效率低





## 9.3 乙类双电源互补对称功率放大电路

### 9.3.1 电路组成

### 9.3.2 分析计算

### 9.3.3 功率BJT的选择

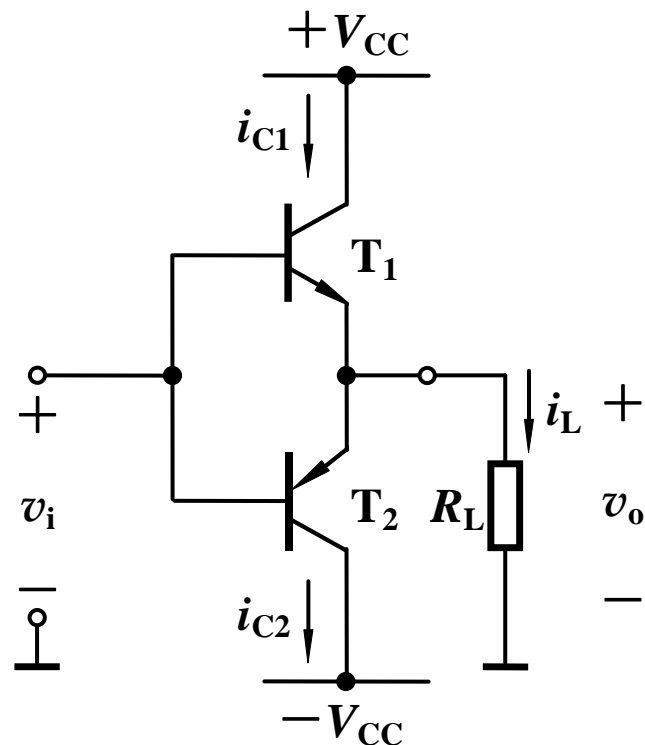
## 9.3.1 电路组成

### 1. 电路组成

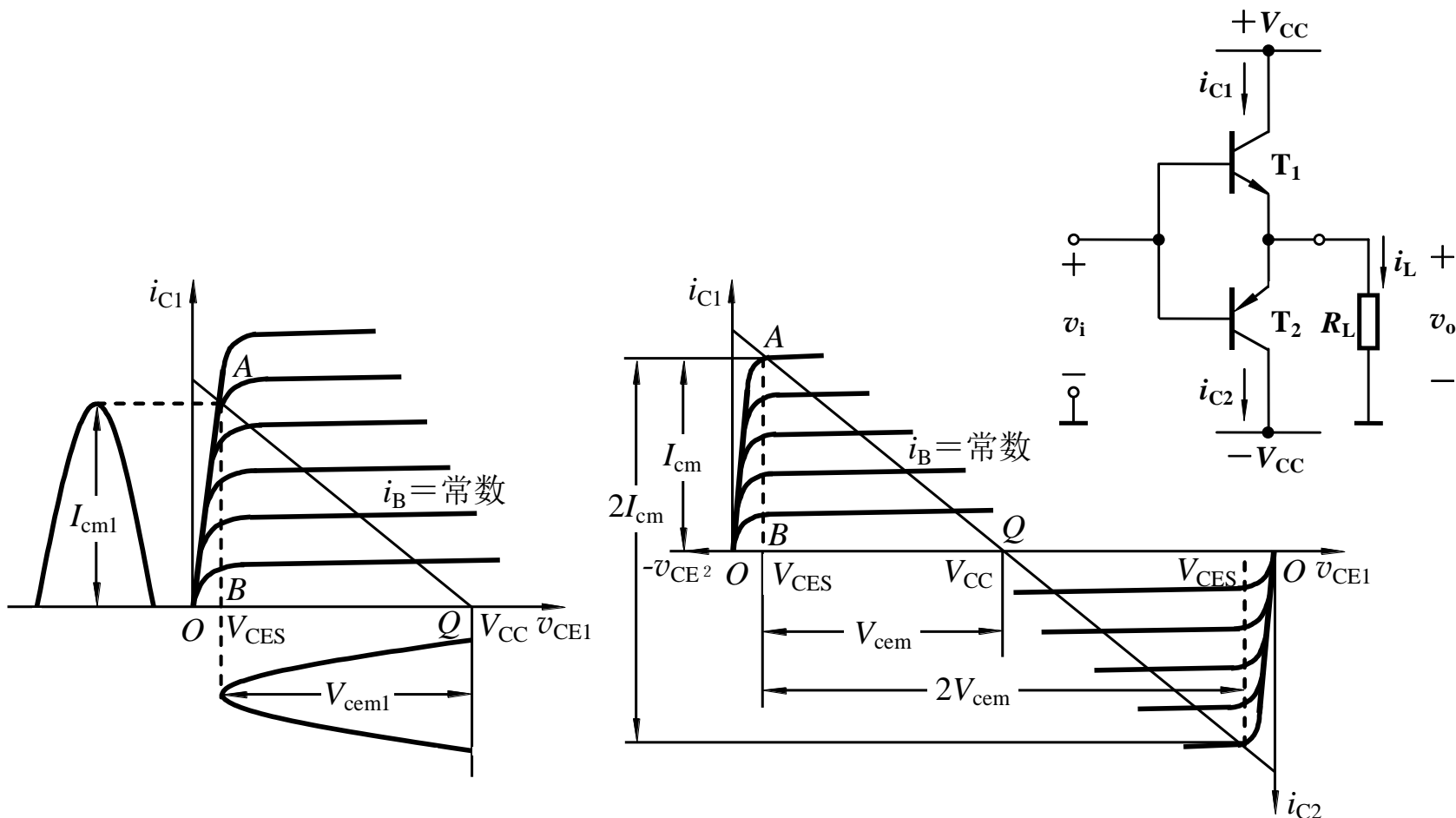
由一对NPN、PNP特性相同的互补三极管组成，采用正、负双电源供电。这种电路也称为OCL互补功率放大电路。

### 2. 工作原理

两个三极管在信号正、负半周轮流导通，使负载得到一个完整的波形。



## 9.3.2 分析计算



- 只有一个管子导通，以NPN导通为例，其  $i_B = (v_i - 0.7)/R_L/\beta$ ,
- 实际上  $i_C = i_E = (v_i - 0.7)/R_L = i_B \cdot \beta$ 。PNP也是一样的效果。
- 都是各自导通角（180度）内有电流通过。

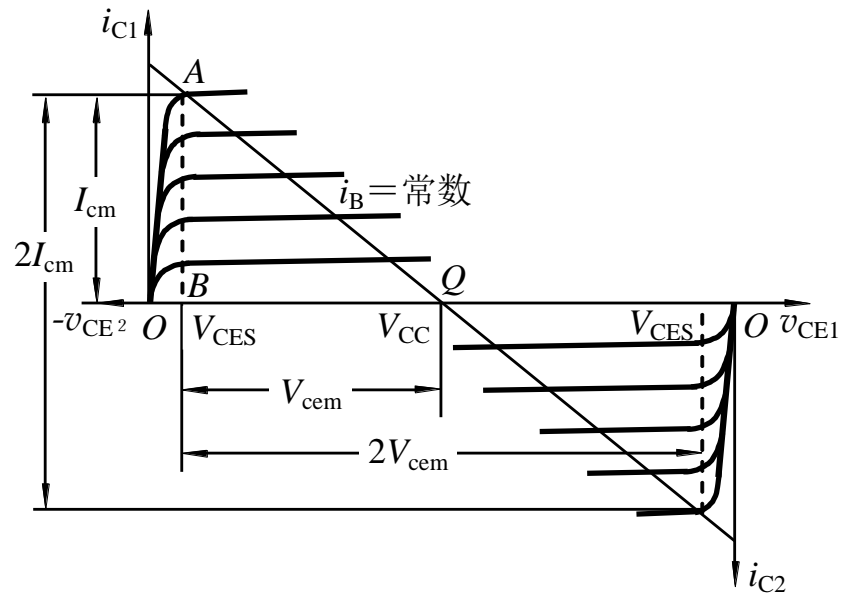
### 9.3.2 分析计算

## 1. 最大不失真输出功率 $P_{\text{omax}}$

$$P_{\text{omax}} = \frac{\left(\frac{V_{\text{CC}} - V_{\text{CES}}}{\sqrt{2}}\right)^2}{R_{\text{L}}} = \frac{(V_{\text{CC}} - V_{\text{CES}})^2}{2R_{\text{L}}}$$

**忽略 $V_{CES}$ 时**  $P_{omax} \approx \frac{V_{CC}^2}{2R_L}$

$$\text{实际输出功率} \quad P_o = V_o I_o = \frac{V_{om}}{\sqrt{2}} \cdot \frac{V_{om}}{\sqrt{2} \cdot R_L} = \frac{V_{om}^2}{2R_L}$$



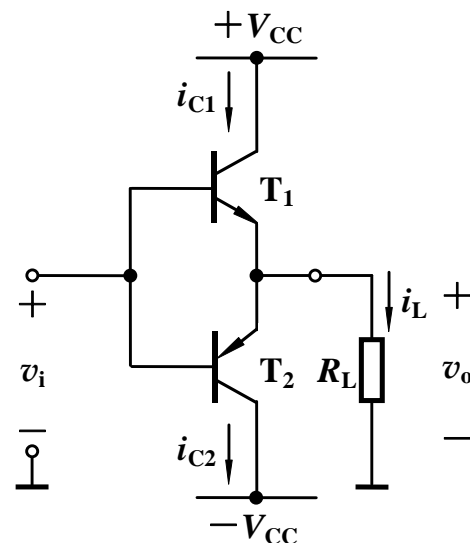
## 9.3.2 分析计算

### 2. 管耗 $P_T$

单个管子在半周期内的管耗

$$\begin{aligned} P_{T1} &= \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi (V_{CC} - v_o) \frac{v_o}{R_L} d(\omega t) \\ &= \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi (V_{CC} - V_{om} \sin \omega t) \frac{V_{om} \sin \omega t}{R_L} d(\omega t) \\ &= \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi \left( \frac{V_{CC} V_{om}}{R_L} \sin \omega t - \frac{V_{om}^2}{R_L} \sin^2 \omega t \right) d(\omega t) \\ &= \frac{1}{R_L} \left( \frac{V_{CC} V_{om}}{\pi} - \frac{V_{om}^2}{4} \right) \end{aligned}$$

两管管耗  $P_T = P_{T1} + P_{T2} = \frac{2}{R_L} \left( \frac{V_{CC} V_{om}}{\pi} - \frac{V_{om}^2}{4} \right)$



## 9.3.2 分析计算

### 3. 电源供给的功率 $P_V$

$$P_V = P_o + P_T = \frac{2V_{CC}V_{om}}{\pi R_L}$$

$$\text{当 } V_{om} \approx V_{CC} \text{ 时, } P_{Vm} = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{V_{CC}^2}{R_L}$$

### 4. 效率 $\eta$

$$\eta = \frac{P_o}{P_V} = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{V_{om}}{V_{CC}}$$

$$\text{当 } V_{om} \approx V_{CC} \text{ 时, } \eta = \frac{\pi}{4} \approx 78.5\%$$

## 9.3.3 功率BJT的选择

### 1. 最大管耗和最大输出功率的关系

因为 
$$P_{T1} = \frac{1}{R_L} \left( \frac{V_{CC} V_{om}}{\pi} - \frac{V_{om}^2}{4} \right)$$

当  $V_{om} = \frac{2}{\pi} V_{CC} \approx 0.6 V_{CC}$  时具有最大管耗

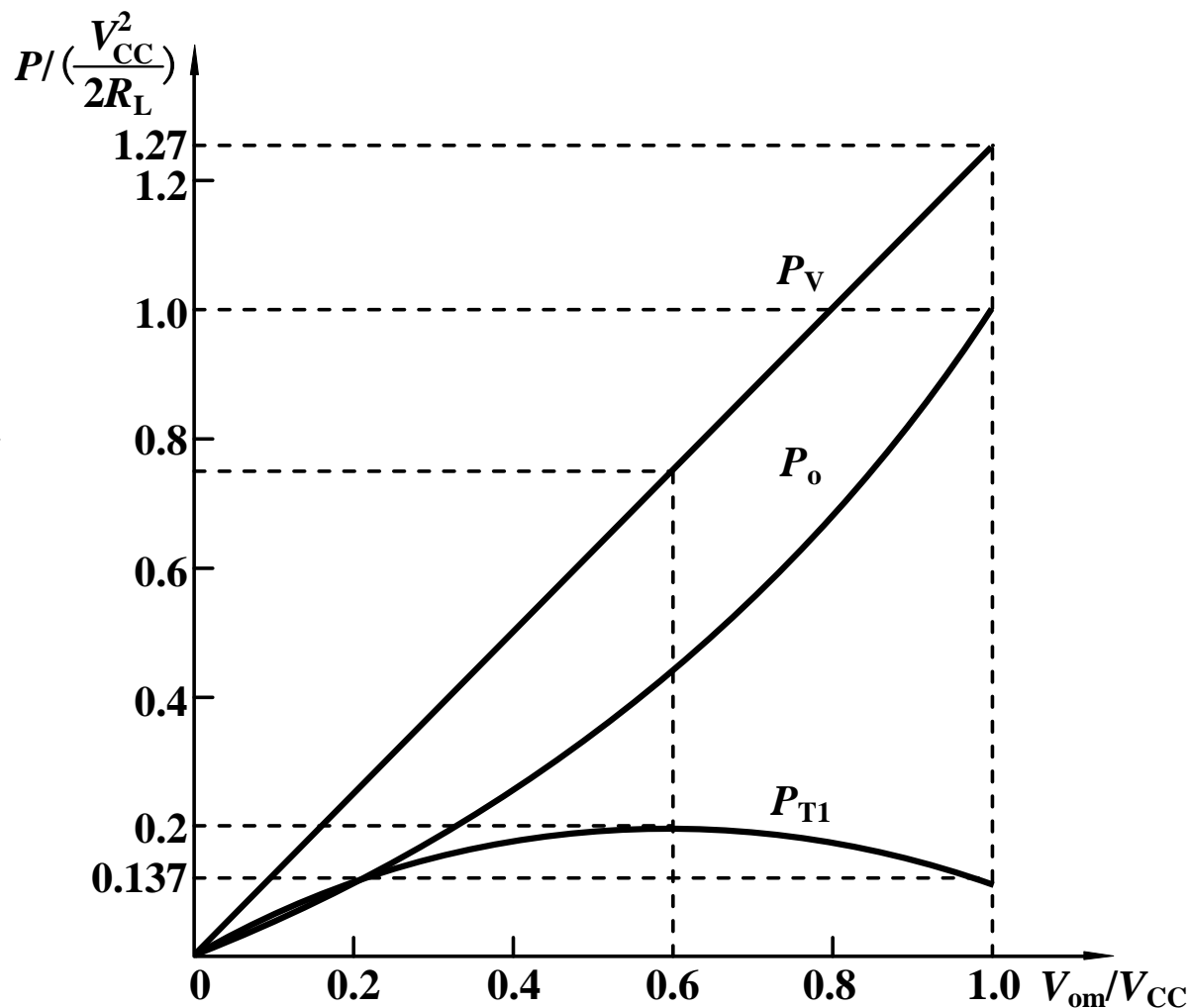
$$P_{T1m} = \frac{1}{\pi^2} \cdot \frac{V_{CC}^2}{R_L} \approx 0.2 P_{om}$$

**选管依据之一**

## 9.3.3 功率BJT的选择

功率与输出幅度的关系

### 2. 功率BJT的选择 (自学)





## 9.4 甲乙类互补对称功率放大电路

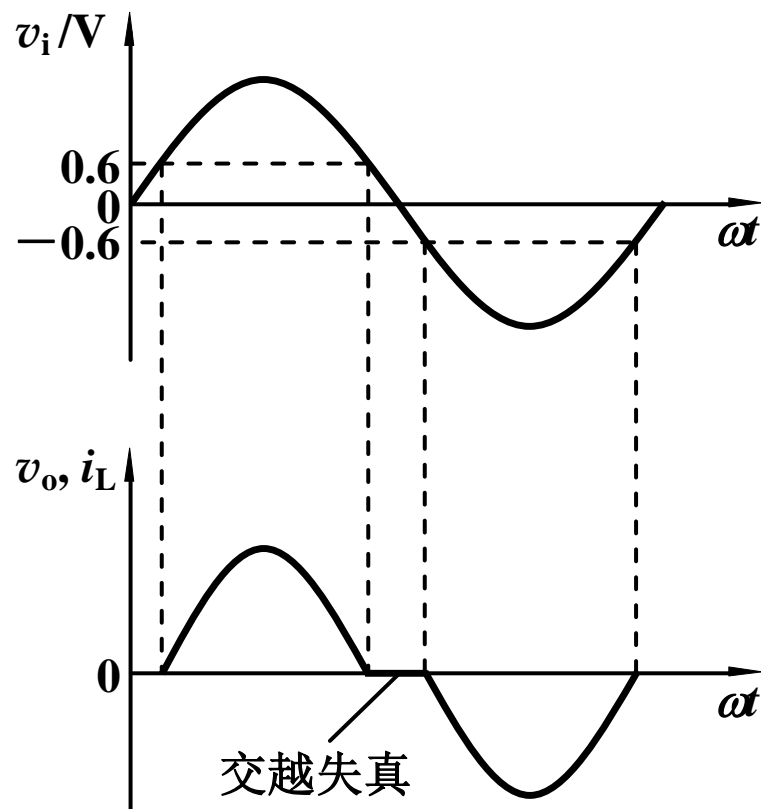
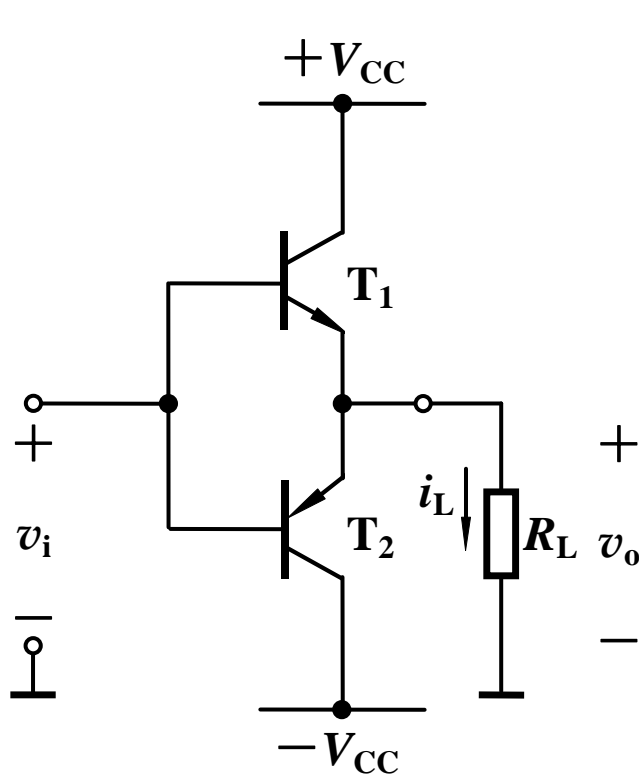
9.4.1 甲乙类双电源互补对称电路

9.4.2 甲乙类单电源互补对称电路

9.4.3 MOS管甲乙类双电源互补对称  
电路

## 9.4.1 甲乙类双电源互补对称电路

### 乙类互补对称电路存在的问题



## 9.4.1 甲乙类双电源互补对称电路

### 1. 静态偏置

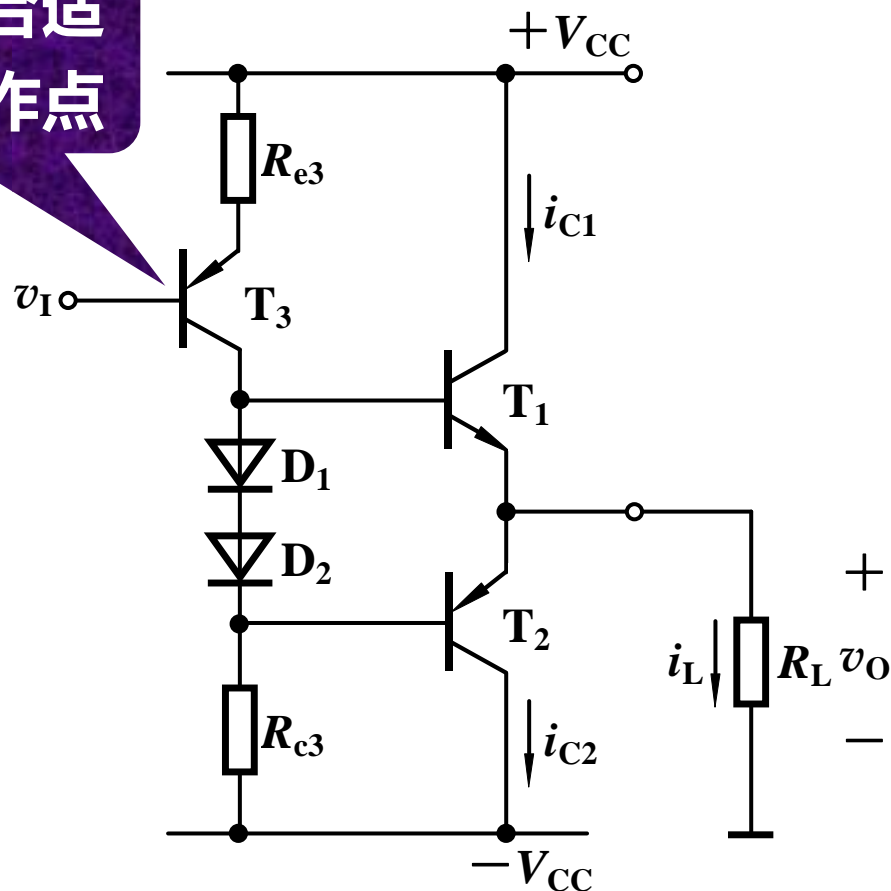
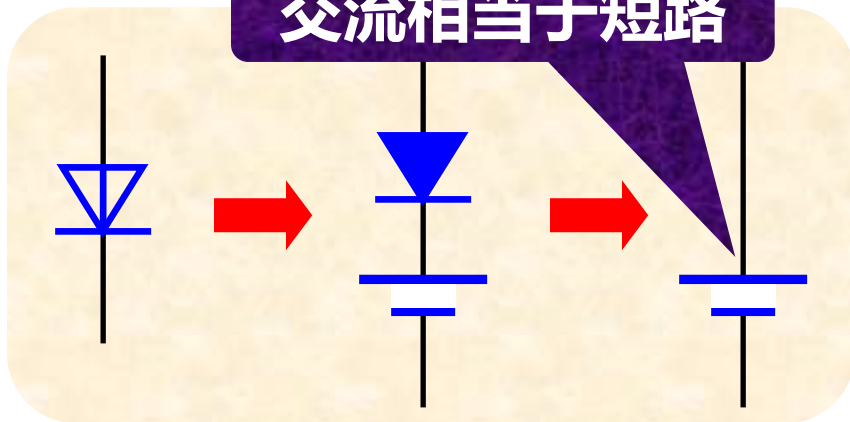
可克服交越失真

设 $T_3$ 已有合适的静态工作点

### 2. 动态工作情况

二极管等效为恒压模型

交流相当于短路



# 在输入信号的整个周期内，两二极管是否会出现反向偏置状态？

## 9.4.1 甲乙类双电源互补对称电路

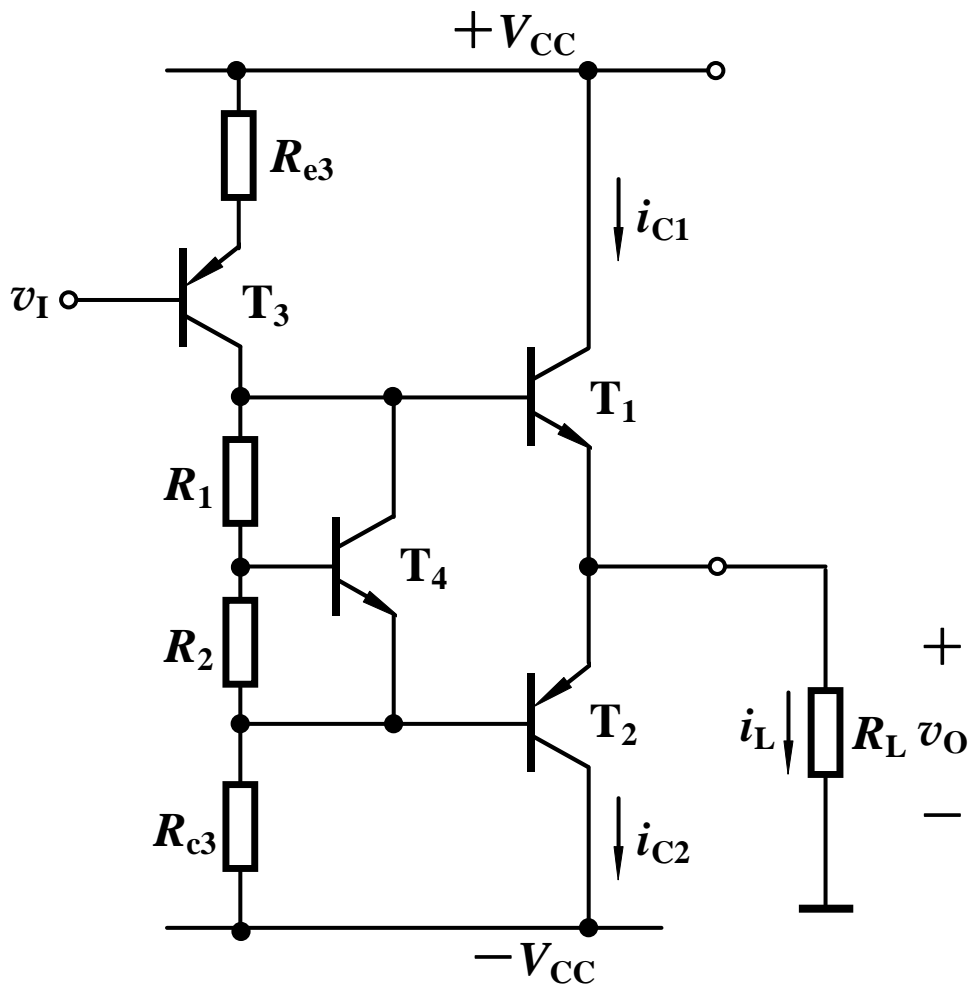
### 另一种偏置方式

$$V_{CE4} \approx \frac{R_1 + R_2}{R_2} \cdot V_{BE4}$$

$V_{BE4}$  可认为是定值

$R_1$ 、 $R_2$  不变时,  $V_{CE4}$  也是定值, 可看作是一个直流电源。

$P_o$ 、 $P_T$ 、 $P_V$  和  $P_{Tm}$  仍然按照乙类功放计算公式进行估算。



## 9.4.2 甲乙类单电源互补对称电路

静态时，偏置电路使 $V_K = V_C \approx V_{CC}/2$   
(电容 $C$ 充电达到稳态)。

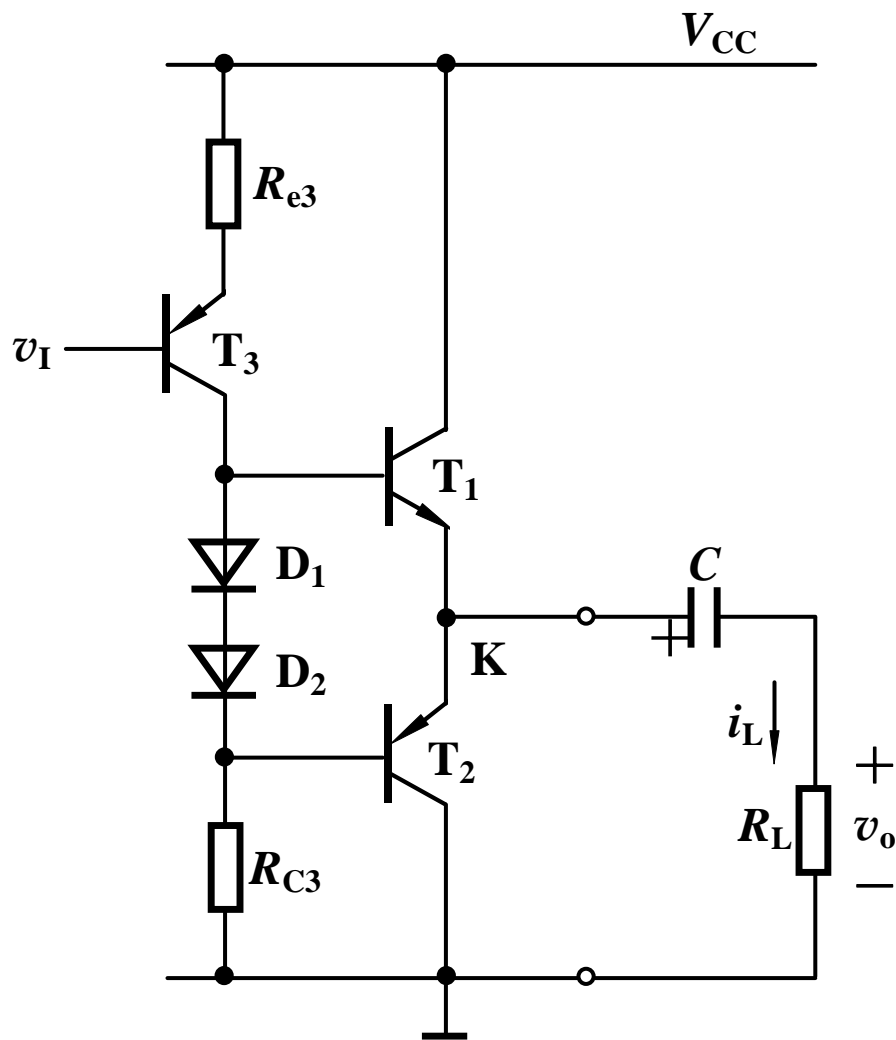
当有信号 $v_i$ 时

负半周 $T_1$ 导通，有电流通过负载 $R_L$ ，  
同时向 $C$ 充电

正半周 $T_2$ 导通，则已充电的电容 $C$ 通  
过负载 $R_L$ 放电。

只要满足 $R_L C \gg T_{\text{信}}$ ，电容 $C$ 就可充  
当原来的 $-V_{CC}$ 。

计算 $P_o$ 、 $P_T$ 、 $P_V$ 和 $P_{Tm}$ 的公式必须  
加以修正，以 $V_{CC}/2$ 代替原来公式中的  
 $V_{CC}$ 。



## 9.4.3 MOS管甲乙类双电源互补对称电路

