

第八章 功率放大电路

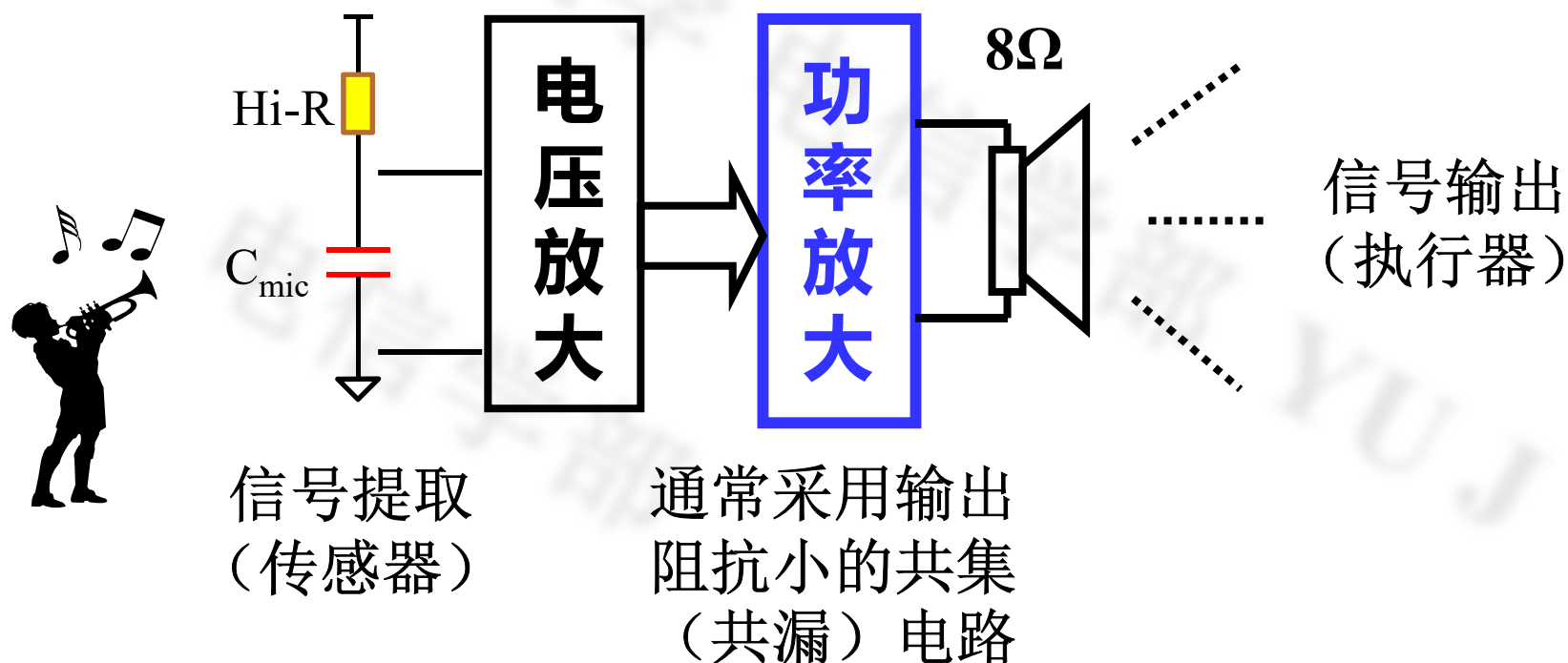
Power Amplifiers

- 8.1 功率放大电路的一般问题
- 8.2 甲类互补功放（略）
- 8.3 乙类双电源互补功率放大器
- 8.4 甲乙类双电源互补功率放大器
- 8.5 集成功率放大器

8.1 功率放大电路的一般问题

1. 功率放大器的作用： 用作放大电路的**输出级**，直接驱动执行机构，**输出较大的功率从而提高带载能力**。（如使扬声器发声、继电器动作、仪表指针偏转等。）

例：扩音系统



2. 功率放大电路与电压放大电路的异同

本质相同，侧重点不同

- 信号放大电路：主要用于增强电压幅度或电流幅度。
- 功率放大电路：主要输出较大的功率。
- 但无论哪种放大电路，在负载上都同时存在输出电压、电流和功率，从能量控制的观点来看，放大电路实质上都是能量转换电路。
- 因此，功率放大电路和电压放大电路没有本质的区别。称呼上的区别只不过是强调的输出量不同而已。
- 分析方法和关键参数不同。

3. 功率放大电路的特殊问题

(1). 输出功率 P_o 尽可能大

要求输出电压和电流都足够大，充分利用晶体管放大区。

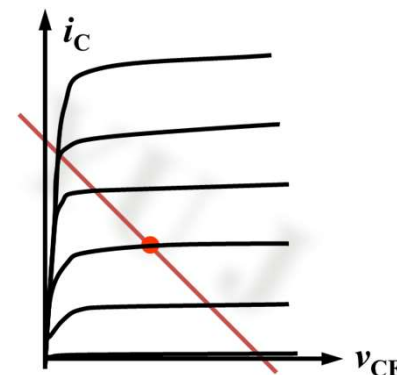
(2). 效率 η 要高

$\eta = P_o / P_V$ 输出功率与电源供给功率之比
 尽量减小放大电路自身耗能

(3). 非线性失真 γ 要小

大信号工作状态， γ 与 P_o 、 η 是一对矛盾

(4). 功放管散热和保护问题



4. 功率放大电路的分类

根据静态偏置或输出功放管导通角的不同，
功放电路可分为四种：

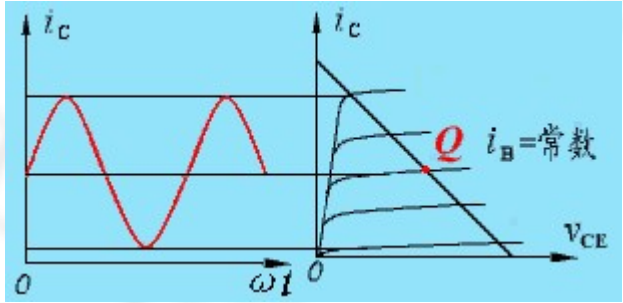
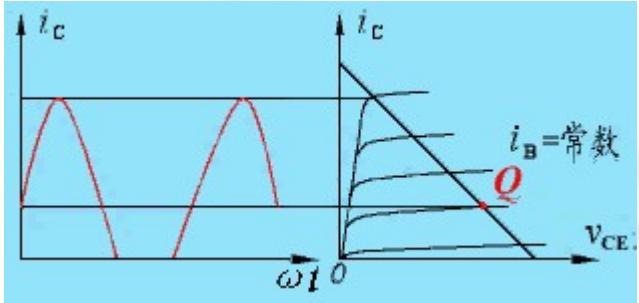
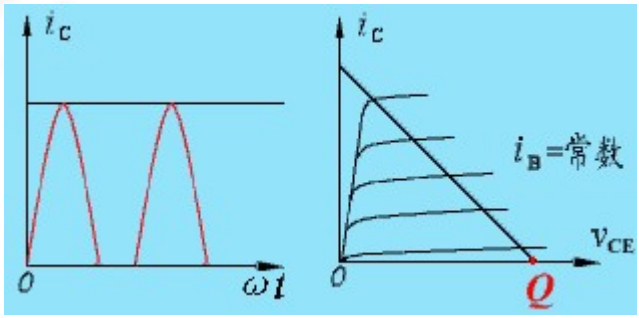
甲类 (class-A)

乙类 (class-B)

甲乙类 (class-AB)

丙类 (class-C)

4. 功率放大电路的分类

类别	工作点	波 形	导通角	特点
甲类 P384单管射随器(略)	较高		(晶体管在整个周期内导通) 360°	无失真 效率低
甲乙类	较低		$180^\circ \sim 360^\circ$	单管失真大 效率较高
乙类	最低		180°	单管失真大 效率最高

8.3 乙类双电源互补对称功率放大电路

1. 电路组成

双管：NPN、PNP特性相同且互补，

分别放大正半周期和负半周期。

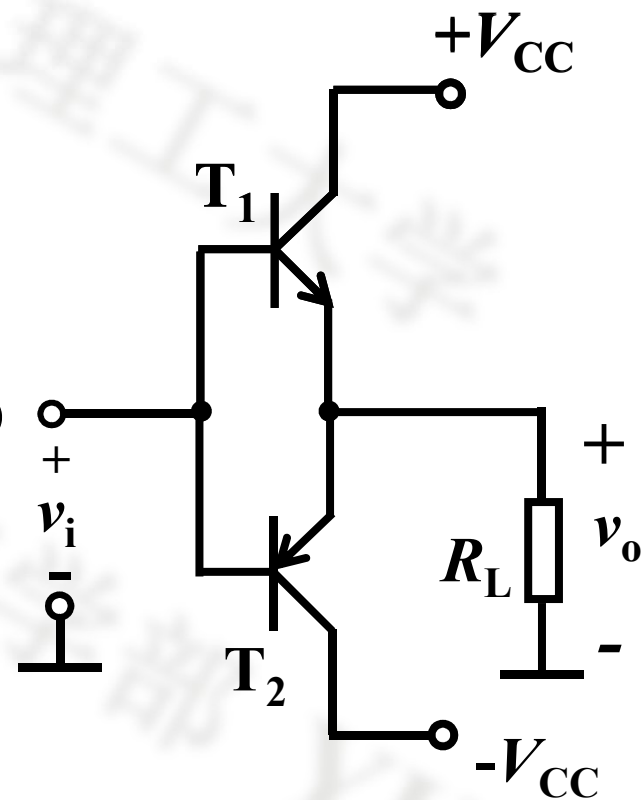
双共集电路（ V 跟随 & I 放大 $\rightarrow P$ 放大）

低输出阻抗，带载能力强。

双电源供电：

又称OCL互补功放

(Output Capacitorless 无输出电容)



8.3 乙类双电源互补对称功率放大电路

2. 工作原理

忽略三极管的开启电压：

v_i 正半周时 \rightarrow T1 导电 $\rightarrow i_{C1}$ 通过 R_L

v_i 负半周时 \rightarrow T2 导电 $\rightarrow i_{C2}$ 通过 R_L

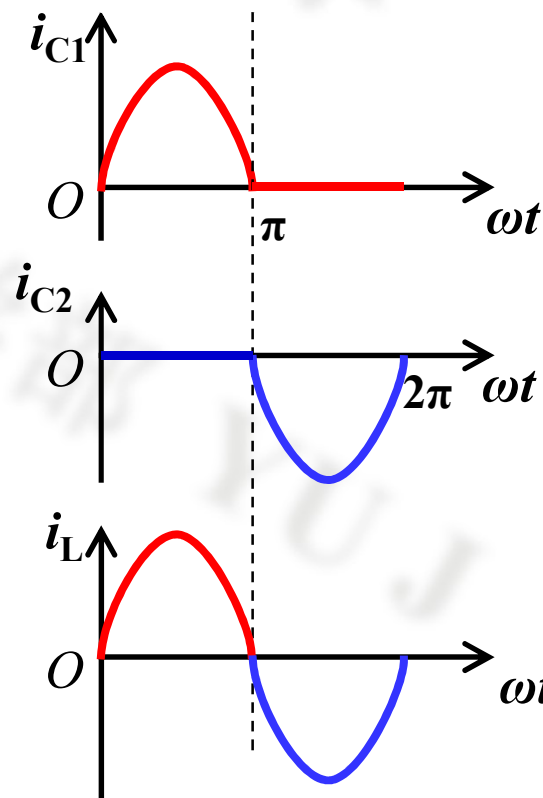
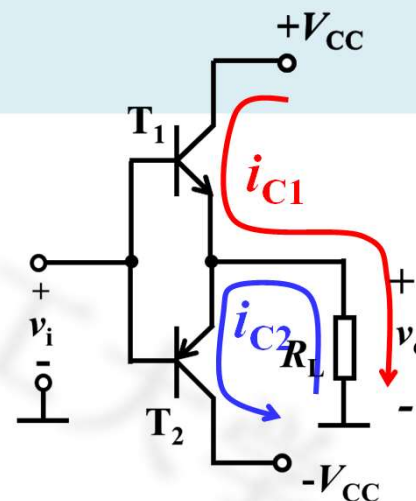
\rightarrow 合成 \rightarrow 完整、不失真波形

结论：

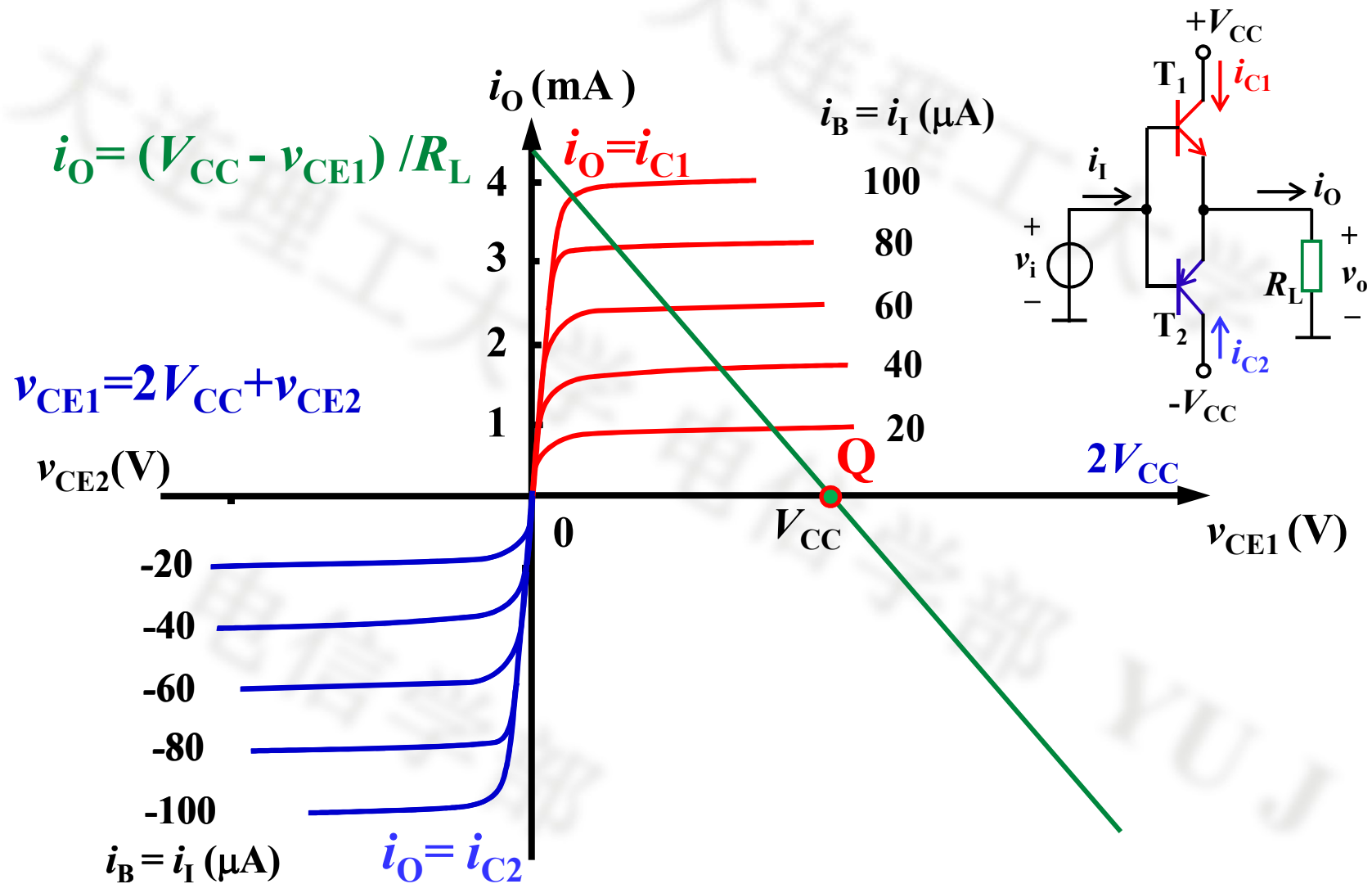
两个三极管，轮流导电
(正、负半周) 互补不足

互补
complementary

推挽
push-pull



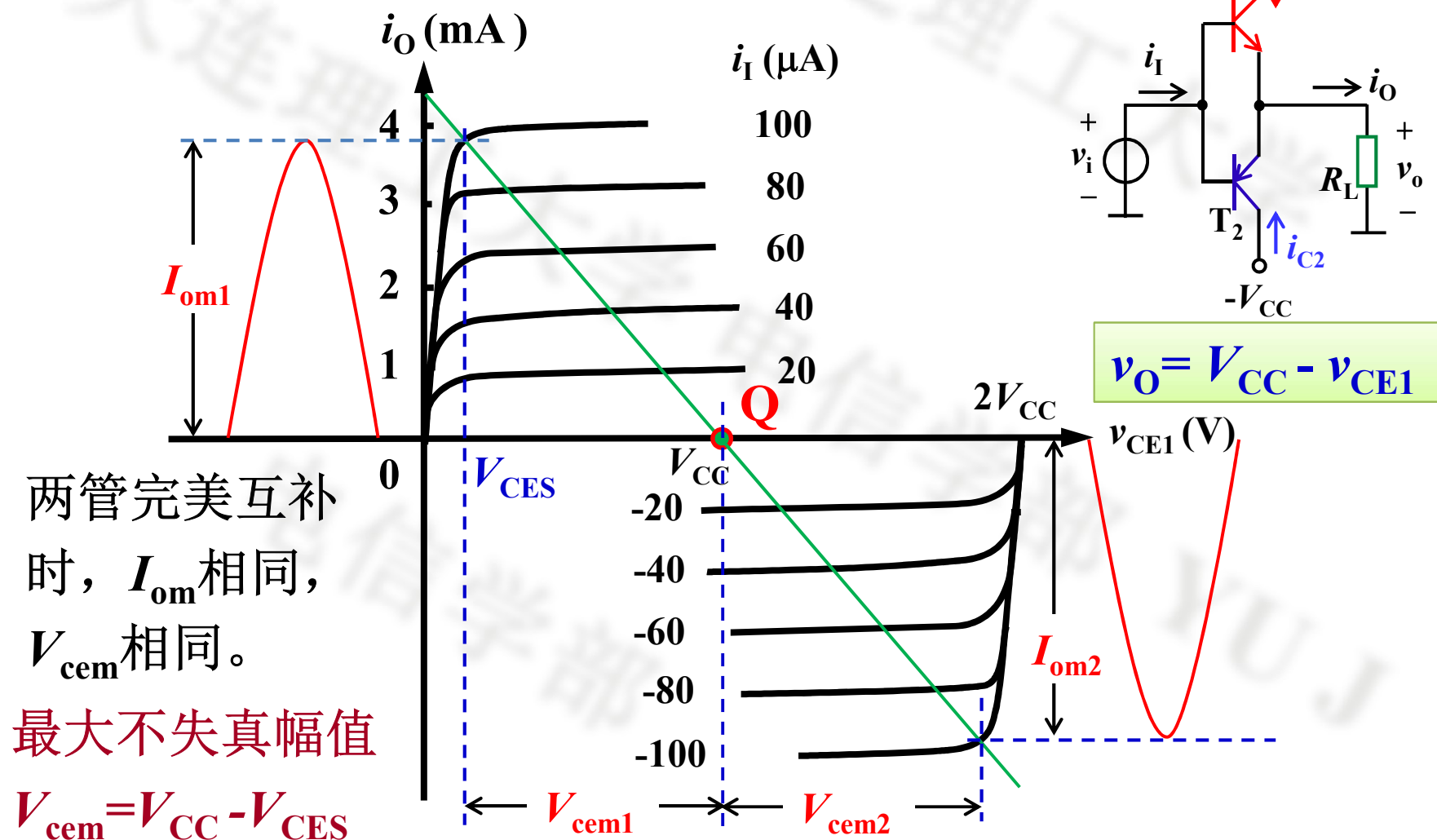
8.3 乙类双电源互补对称功率放大电路 3. 图解分析



8.3 乙类双电源互补对称功率放大电路

3. 图解分析

负载上的最大不失真幅值也是 $V_{cem} = V_{CC} - V_{CES}$



8.3 乙类双电源互补对称功率放大电路

4. 参数计算

假设理想的OCL电路 ($v_{BEQ} \approx 0$ 且完美对称)。

无非线性失真时, $v_O = v_I$ 。

假设 $v_O = V_{om} \sin(\omega t)$, 其中 V_{om} 为输出电压幅值。

则此正弦信号的有效值为 $V_o = V_{om} / \sqrt{2}$

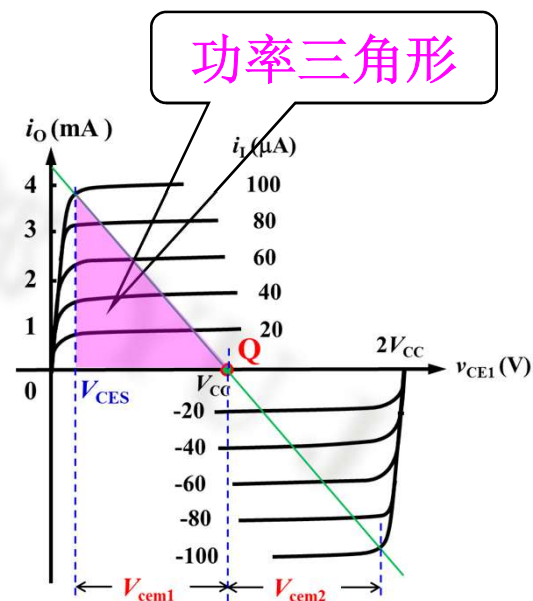
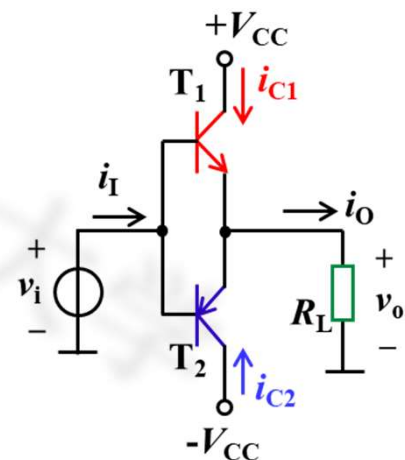
(1) 输出功率 P_o
$$P_o = \frac{V_o^2}{R_L} = \frac{V_{om}^2}{2R_L}$$

最大不失真电压幅值 $V_{om(max)} = V_{CC} - V_{CES}$

最大不失真输出功率
$$P_{om} = \frac{(V_{CC} - V_{CES})^2}{2R_L}$$

理想最大输出功率 (忽略 V_{CES} , $V_{om(max)} \approx V_{CC}$)

$$P_{om} = V_{CC}^2 / (2R_L)$$



8.3 乙类双电源互补对称功率放大电路

4. 参数计算

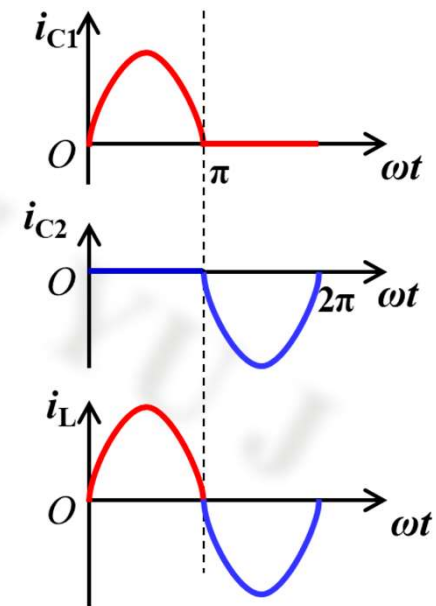
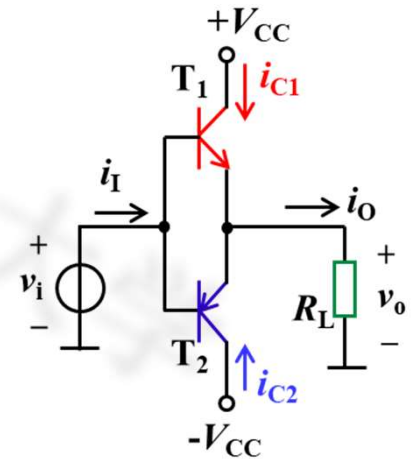
(2) 三极管的管耗 P_T

T1的管耗 P_{T1}

$$\begin{aligned} P_{T1} &= \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} i_{C1} v_{CE1} d(\omega t) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} i_{C1} v_{CE1} d(\omega t) \\ &= \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} \frac{V_{om} \sin(\omega t)}{R_L} [V_{CC} - V_{om} \sin(\omega t)] d(\omega t) \\ &= \frac{1}{R_L} \left(\frac{V_{CC} V_{om}}{\pi} - \frac{V_{om}^2}{4} \right) \end{aligned}$$

完美对称, $P_{T1} = P_{T2}$

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

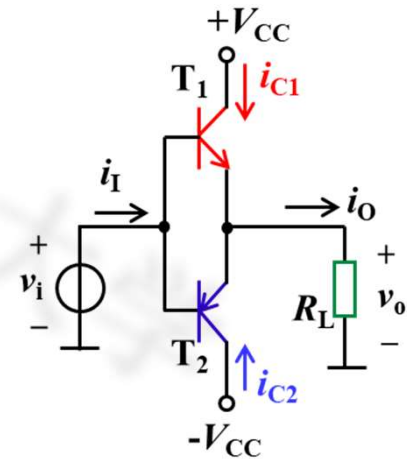


8.3 乙类双电源互补对称功率放大电路

4. 参数计算

(3) 直流电源供给功率 P_V

$$\begin{aligned} P_V &= P_o + P_T \\ &= \frac{V_{om}^2}{2R_L} + \frac{2}{R_L} \left(\frac{V_{CC}V_{om}}{\pi} - \frac{V_{om}^2}{4} \right) \\ &= \frac{2}{\pi} \frac{V_{CC}V_{om}}{R_L} \end{aligned}$$



(4) 效率 η

$$\eta = \frac{P_o}{P_V} = \frac{V_{om}^2 / (2R_L)}{(2V_{CC}V_{om}) / (\pi R_L)} = \frac{\pi}{4} \frac{V_{om}}{V_{CC}}$$

理想最大输出情况下($V_{om} \approx V_{CC}$), $\eta_{max} = \pi/4 = 78.5\%$

四大参数计算公式



也适用于
甲乙类功放

1. 输出功率 $P_o = \frac{V_{om}^2}{2R_L}$

2. 三极管的管耗 $P_T = 2P_{T1} = \frac{2}{R_L} \left(\frac{V_{CC}V_{om}}{\pi} - \frac{V_{om}^2}{4} \right)$

3. 直流电源供给功率 $P_V = P_o + P_T = \frac{2}{\pi} \frac{V_{CC}V_{om}}{R_L}$

4. 效率 $\eta = \frac{P_o}{P_V} = \frac{\pi V_{om}}{4 V_{CC}}$ $\eta_{max} = \pi/4 = 78.5\%$

两种极限情况：{ 最大不失真输出情况($V_{om(max)} = V_{CC} - V_{CES}$)
理想最大输出情况($V_{om(max)} \approx V_{CC}$)

5. 功率BJT的选择

(1) 最大允许管耗 $P_{CM} \geq 0.2P_{om}$

需要的最大输出功率为 P_{om} ，
BJT需要的最大管耗 $P_{T1max} = ?$

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

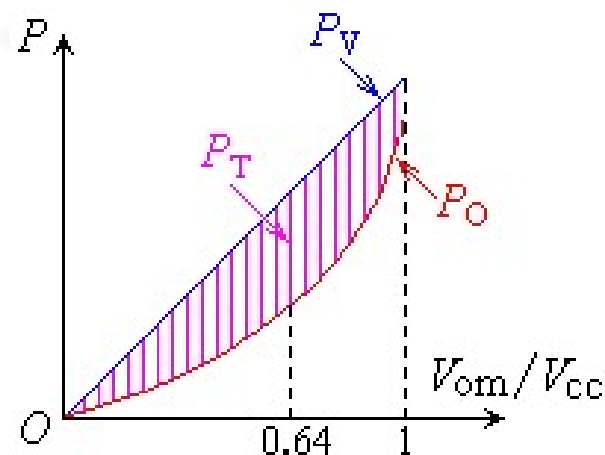
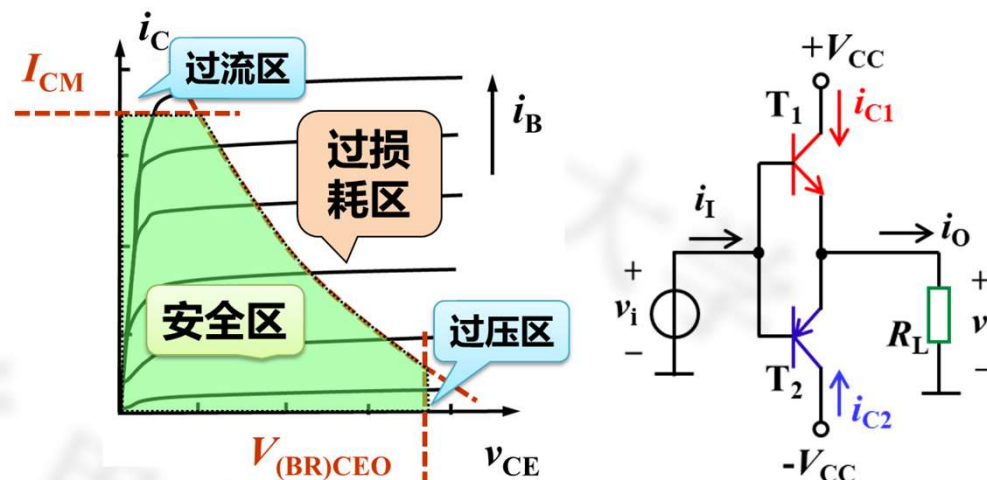
对 V_{om} 求导为0时得出极值点：

P_{T1max} 发生在 $V_{om} = 2V_{CC}/\pi = 0.64V_{CC}$ 处

$$P_{T1max} = \frac{V_{CC}^2}{\pi^2 R_L} \approx 0.2 \frac{V_{CC}^2}{2R_L} = 0.2P_{om}$$

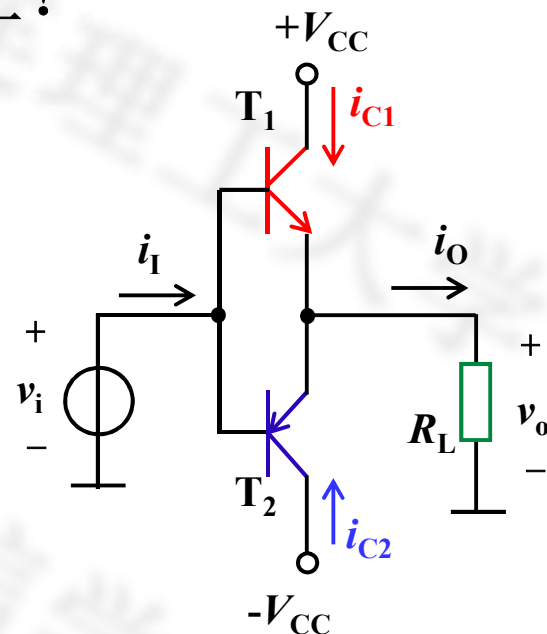
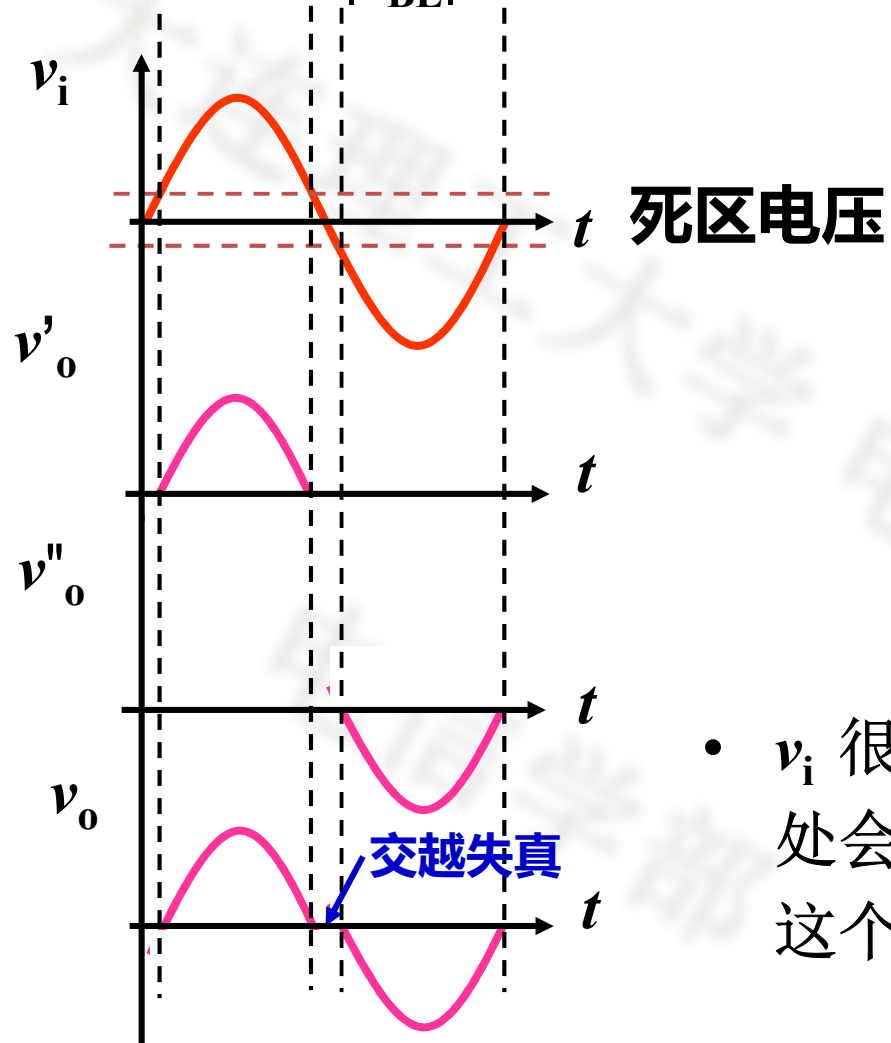
(2) $|V_{(BR)CEO}| \geq 2V_{CC}$

(3) 最大集电极电流 $I_{CM} \geq V_{CC}/R_L$



6. 乙类双电源互补对称功率放大电路存在的问题

实际BJT, $|v_{BE}| < 0.6V$ (硅管) 时截止!



- v_i 很小时, 在正、负半周交替过零处会出现非线性失真 (截止失真), 这个失真称为交越失真。❤

8.1~8.3 功放，OCL

小结

掌握：功放的分类

掌握：乙类OCL功放电路结构

掌握：四大参数计算方法

掌握：选功率管的原则

理解：乙类功放的交越失真问题

预习：甲乙类功放

作业

P407: 8.3.3, 8.3.4;

