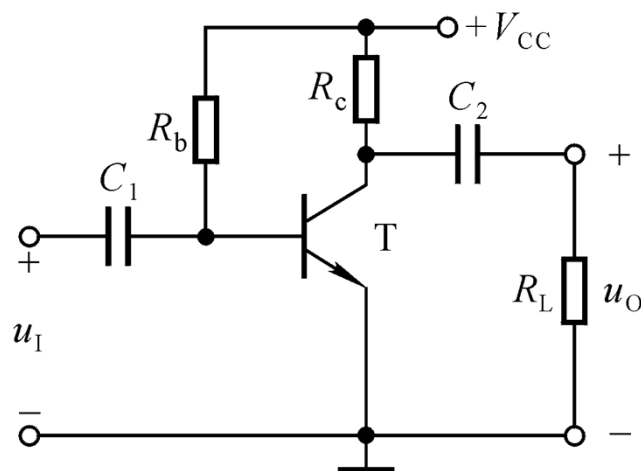


二、功率放大电路简介

1. 共射放大电路

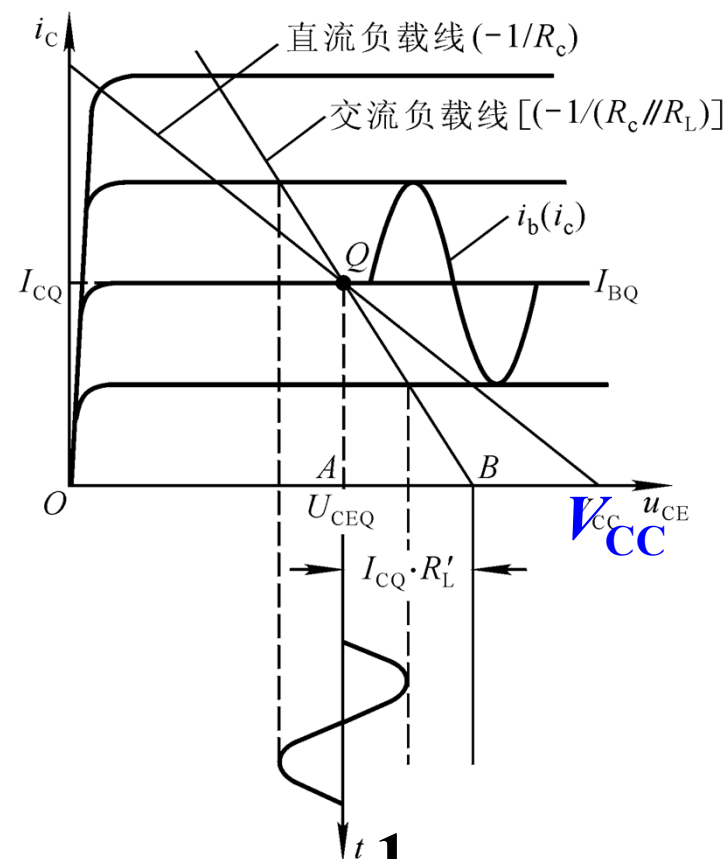


• 静态

$$P_o = 0, \quad \eta = 0$$

问题：

- 工作在甲类状态，静态时 $\eta = 0$ ；
- 动态时 $\eta < 25\%$ 。



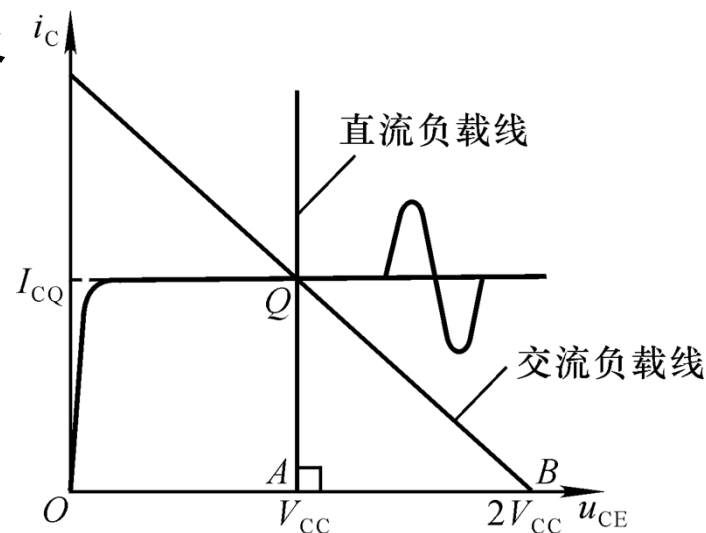
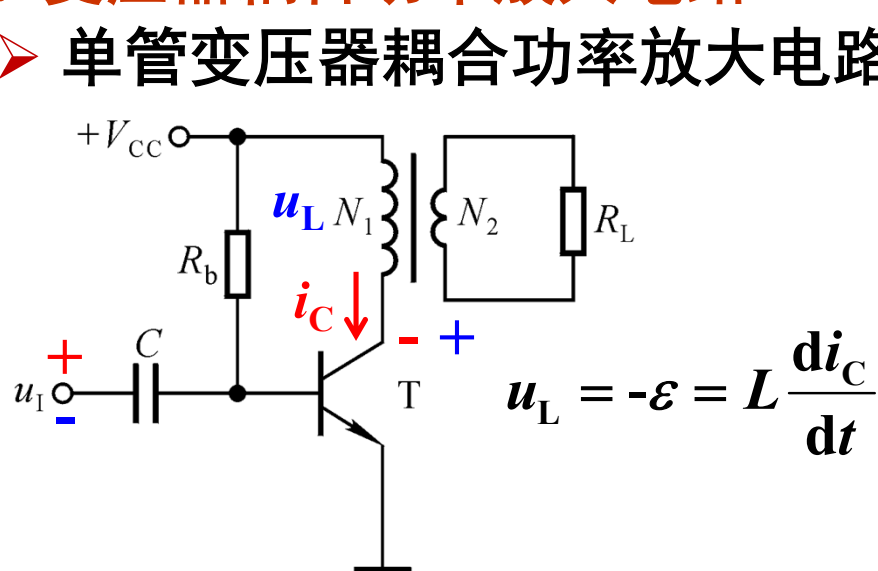
$$P_{om} < \frac{I_{CQ}}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\frac{1}{2} V_{CC}}{\sqrt{2}} = 0.25 I_{CQ} \cdot V_{CC}$$

$$P_V \approx I_{CQ} \cdot V_{CC}$$

$$\eta < 25\%$$

2. 变压器耦合功率放大电路

➤ 单管变压器耦合功率放大电路



● 静态

$$P_0 \approx 0$$

$$\eta = P_{\text{om}}/P_{\text{V}} \approx 0$$

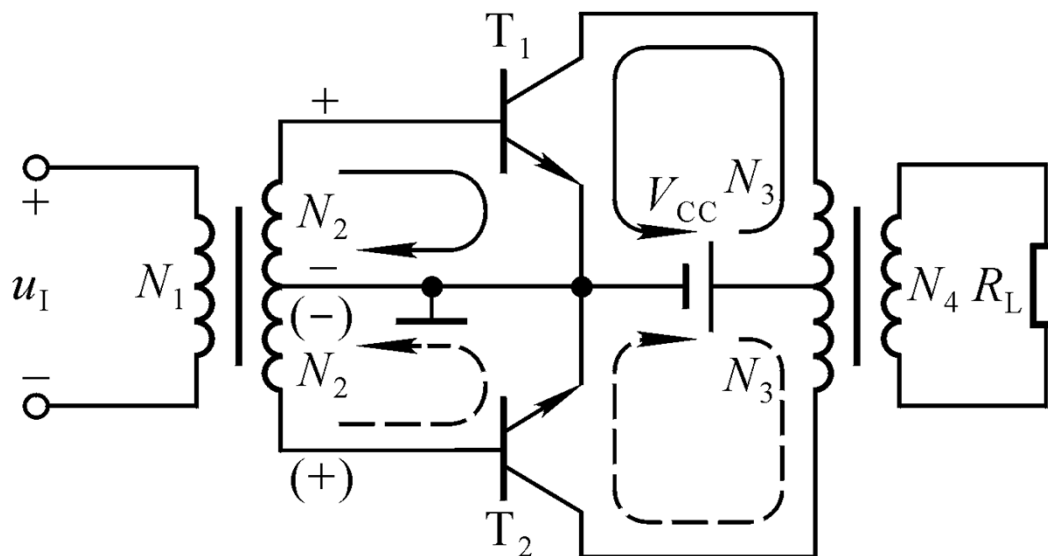
• 动态 $P_{om} = \frac{I_{CQ}}{\sqrt{2}} \cdot \frac{V_{CC}}{\sqrt{2}} = 0.5 I_{CQ} \cdot V_{CC}$

$$\eta = P_{\text{om}}/P_{\text{V}} = 50\%$$

问题：

- 工作在甲类状态，静态时 $\eta=0$ ；
- 动态时 $\eta=50\%$ ；
- 变压器笨重；
- 低频特性差。

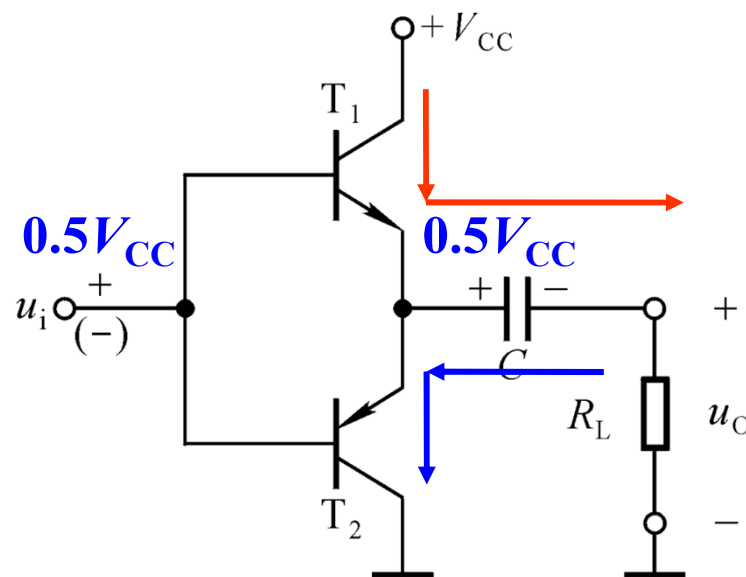
➤ 变压器耦合乙类推挽功率放大电路



特点：

- 工作在乙类状态，静态时 $P_o = 0$ 、 $\eta \neq 0$ ；
- 动态时输出功率大，效率高；
- T_1 、 T_2 分别在正负半周交替导通， u_O 跟随 u_I 变化；
- 变压器笨重；
- 低频特性差。

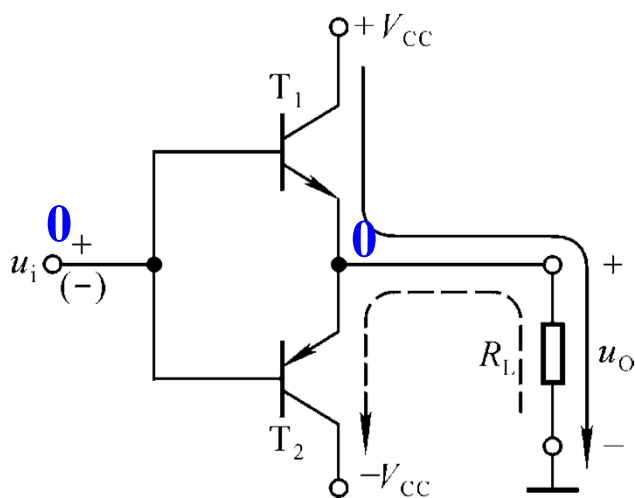
3. 无输出变压器的功率放大电路 (*OTL, Output Transformerless*)



特点:

- 工作在乙类状态，静态时 $P_0 = 0$ 、 $\eta \neq 0$ ；
- 动态时输出功率大，效率较高；
- 单电源供电；
- 输出端采用电容耦合，低频特性有所改善，但不利于做成集成电路。

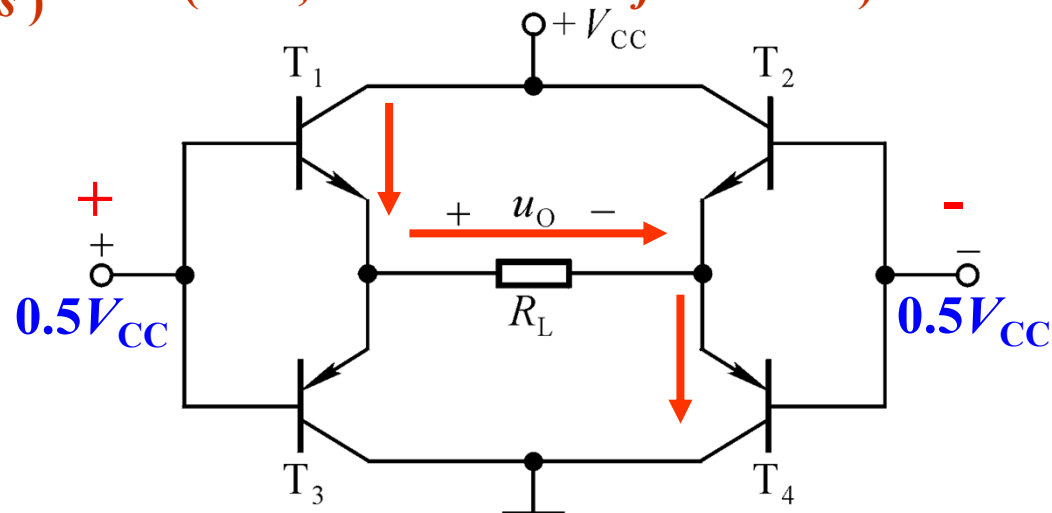
4. 无输出电容的功率放大电路(OCL, Output Capacitorless)



特点:

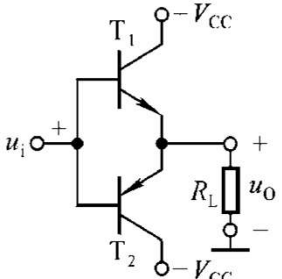
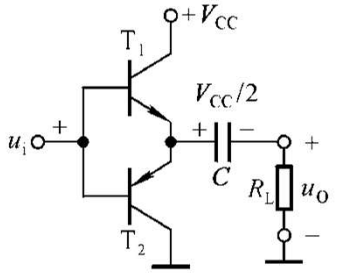
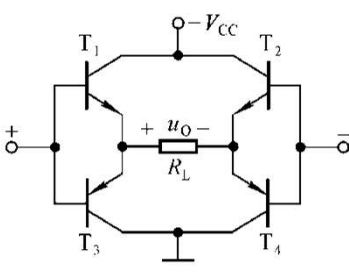
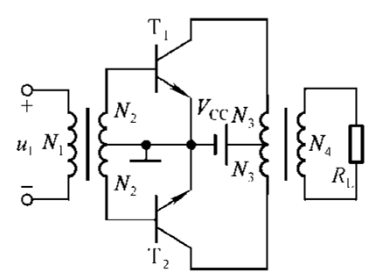
- 乙类, 静态时 $P_V=0$ 、 $\eta \neq 0$;
- 动态时输出功率大, 效率高
- 直接耦合, 有利于集成;
- 双电源供电。

5. 桥式推挽功率放大电路(BTL, Balanced Transformerless)



特点:

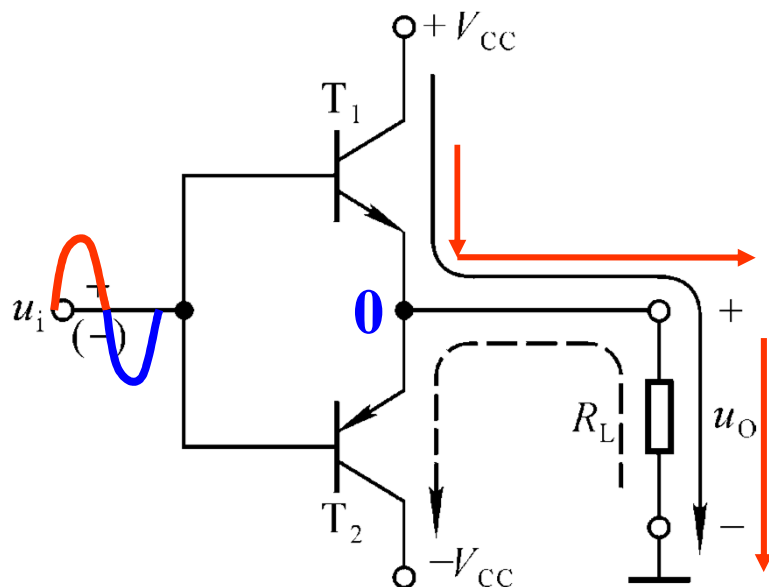
- 乙类, 静态时 $P_V=0$ 、 $\eta \neq 0$;
- 动态时输出功率大, 效率较高
- 直接耦合, 有利于集成;
- 单电源供电;
- 采用四个晶体管, 且必须为双端输入双端输出。

电路名称	OCL电路	OTL电路	BTL电路	变压器耦合乙类推挽电路
电路组成				
U_{om}	$\frac{V_{CC} - U_{CES} }{\sqrt{2}}$	$\frac{V_{CC}/2 - U_{CES} }{\sqrt{2}}$	$\frac{V_{CC} - 2 U_{CES} }{\sqrt{2}}$	$N_3 \text{ 上: } \frac{V_{CC} - U_{CES} }{\sqrt{2}}$
P_{om}	$\frac{(V_{CC} - U_{CES})^2}{2R_L}$	$\frac{([V_{CC}/2] - U_{CES})^2}{2R_L}$	$\frac{(V_{CC} - 2 U_{CES})^2}{2R_L}$	原边功率 $\frac{(V_{CC} - U_{CES})^2}{2R'_L}$ $R'_L = \left(\frac{N_3}{N_4}\right)^2 R_L$
η	$\frac{\pi}{4} \cdot \frac{V_{CC} - U_{CES} }{V_{CC}}$	$\frac{\pi}{4} \cdot \frac{V_{CC}/2 - U_{CES} }{V_{CC}/2}$	$\frac{\pi}{4} \cdot \frac{V_{CC} - 2 U_{CES} }{V_{CC}}$	$\frac{\pi}{4} \cdot \frac{V_{CC} - U_{CES} }{V_{CC}}$
特点	双电源供电，效率较高， P_{om} 决定于 V_{CC} ，低频特性好	单电源供电，效率较高， P_{om} 决定于 $V_{CC}/2$ ，低频特性差	单电源供电，效率较OCL电路低， P_{om} 决定于 V_{CC} ，低频特性好	单电源供电，可实现阻抗变换， P_{om} 可很大，效率低，低频特性差，笨重



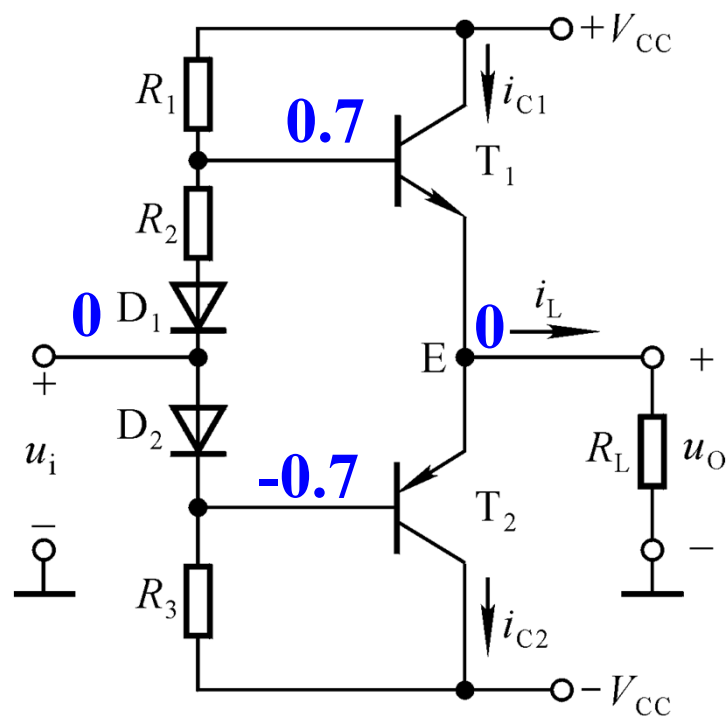
9.2 互补功率放大电路

一、OCL电路



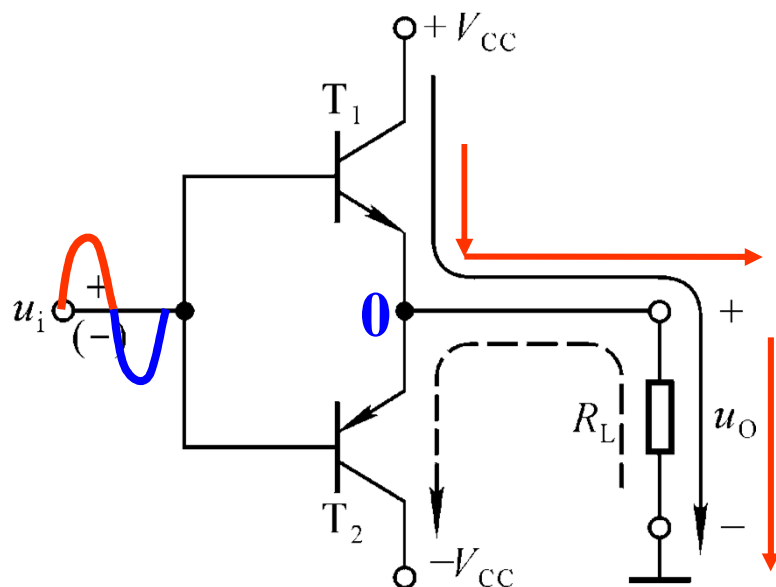
缺点：产生交越失真

采用二极管消除交越失真的OCL电路



问题：静态时若 U_O 不为零，如何调节？

二、OCL电路的输出功率和效率



2. 最大输出功率 P_{om}

$$P_{om} = U_{om} \cdot I_{om} = U_{om} \times \frac{U_{om}}{R_L}$$

假设 $U_{on}=0$

1. 最大不失真输出电压 U_{om}

设 T_1 、 T_2 饱和管压降为 U_{CES}

$$U_{op-max} = V_{CC} - U_{CES}$$

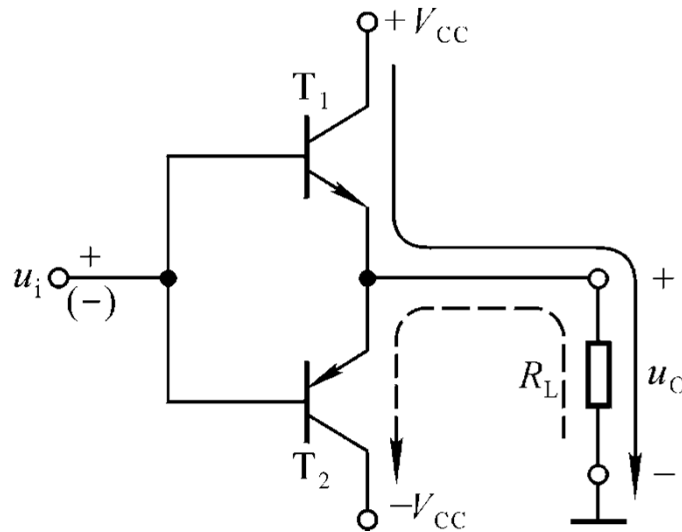
$$\text{有效值 } U_{om} = \frac{V_{CC} - U_{CES}}{\sqrt{2}}$$

$$\text{有效值 } I_{om} = \frac{V_{CC} - U_{CES}}{\sqrt{2} R_L}$$

$$P_{om} = \frac{(V_{CC} - U_{CES})^2}{2R_L}$$

3. 电源提供的功率 P_V

电源 $+V_{CC}$ 和 $-V_{CC}$ 分别供电半个周期



$$\begin{aligned} P_V &= \frac{1}{2\pi} \left[V_{CC} \cdot \int_0^\pi \frac{V_{CC} - |U_{CES}|}{R_L} \sin \omega t d\omega t \right. \\ &\quad \left. + (-V_{CC}) \cdot \int_\pi^{2\pi} \frac{-V_{CC} + |U_{CES}|}{R_L} \sin \omega t d\omega t \right] \\ &= \frac{2}{\pi} \cdot \frac{V_{CC}(V_{CC} - U_{CES})}{R_L} \end{aligned}$$

$$\eta = \frac{P_{om}}{P_V} = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{V_{CC} - U_{CES}}{V_{CC}}$$

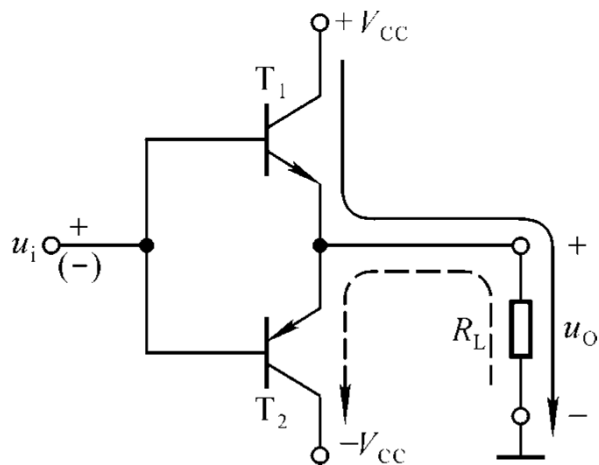
4. 效率

$$P_{om} = \frac{(V_{CC} - U_{CES})^2}{2R_L}$$

$$\text{忽略 } U_{CES}, \quad \eta \approx \frac{\pi}{4} = 78.5\%$$

功放管 U_{CES} 一般为2~3V !

三、OCL电路中晶体管的选择



• 集电极最大电流 I_{CM}

$$U_{op-max} = V_{CC} - U_{CES}$$

$$I_{CM} = U_{op-max} / R_L \approx V_{CC} / R_L$$

性能指标选择:

- $U_{(BR)CEO} > 2V_{CC}$
- $I_{CM} > V_{CC} / R_L$
- $P_T > 0.2P_{om}$

• 最大管压降 U_{CEmax}

当 U_o 达到最小时, T_1 管压降最大

当 U_o 达到最大时, T_2 管压降最大

$$U_{CEmax} = 2V_{CC} - U_{CES} \approx 2V_{CC}$$

• 集电极最大功耗 P_T

$$P_T = \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi (V_{CC} - U_{OP} \sin \alpha) \cdot \frac{U_{OP} \sin \alpha}{R_L} d\alpha$$

$$P_T = \frac{1}{R_L} \left(\frac{V_{CC} \cdot U_{OP}}{\pi} - \frac{U_{OP}^2}{4} \right)$$

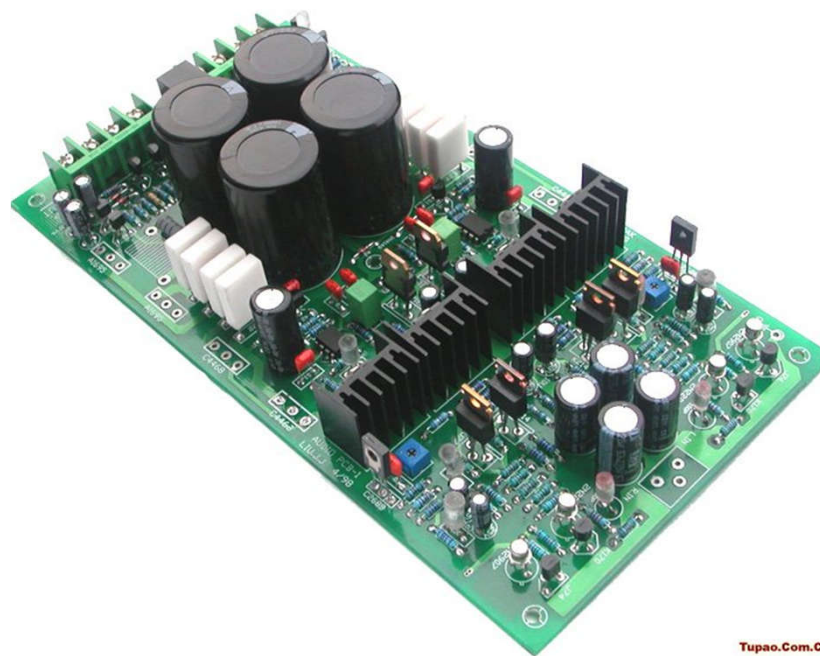
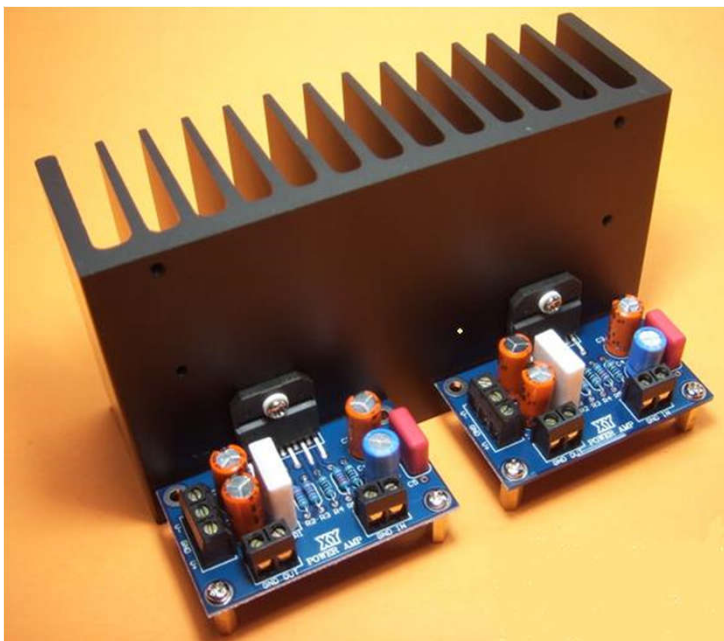
分析表明, 当 $U_{OP} \approx 0.6V_{CC}$ 时, P_T 达到最大

$$P_{Tmax} = \frac{V_{CC}^2}{\pi^2 R_L}$$

$$P_{Tmax} \approx 0.2P_{om}$$

四、功率放大电路的安全运行

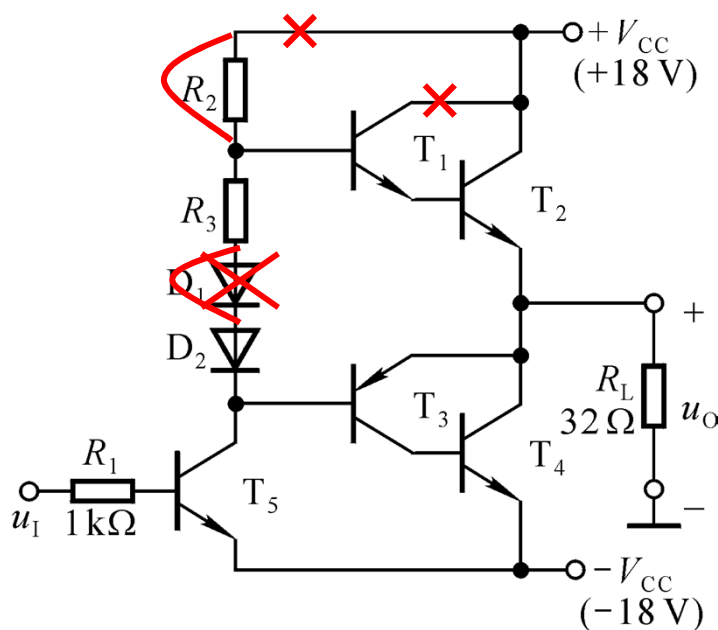
- 功放管限流
- 功放管散热



讨论1：出现下列故障时，将产生什么现象？

T₂、T₅的极限参数:

$$P_{\text{CM}}=1.5\text{W}, I_{\text{CM}}=600\text{mA}, U_{\text{BR (CEO)}}=40\text{V}。$$

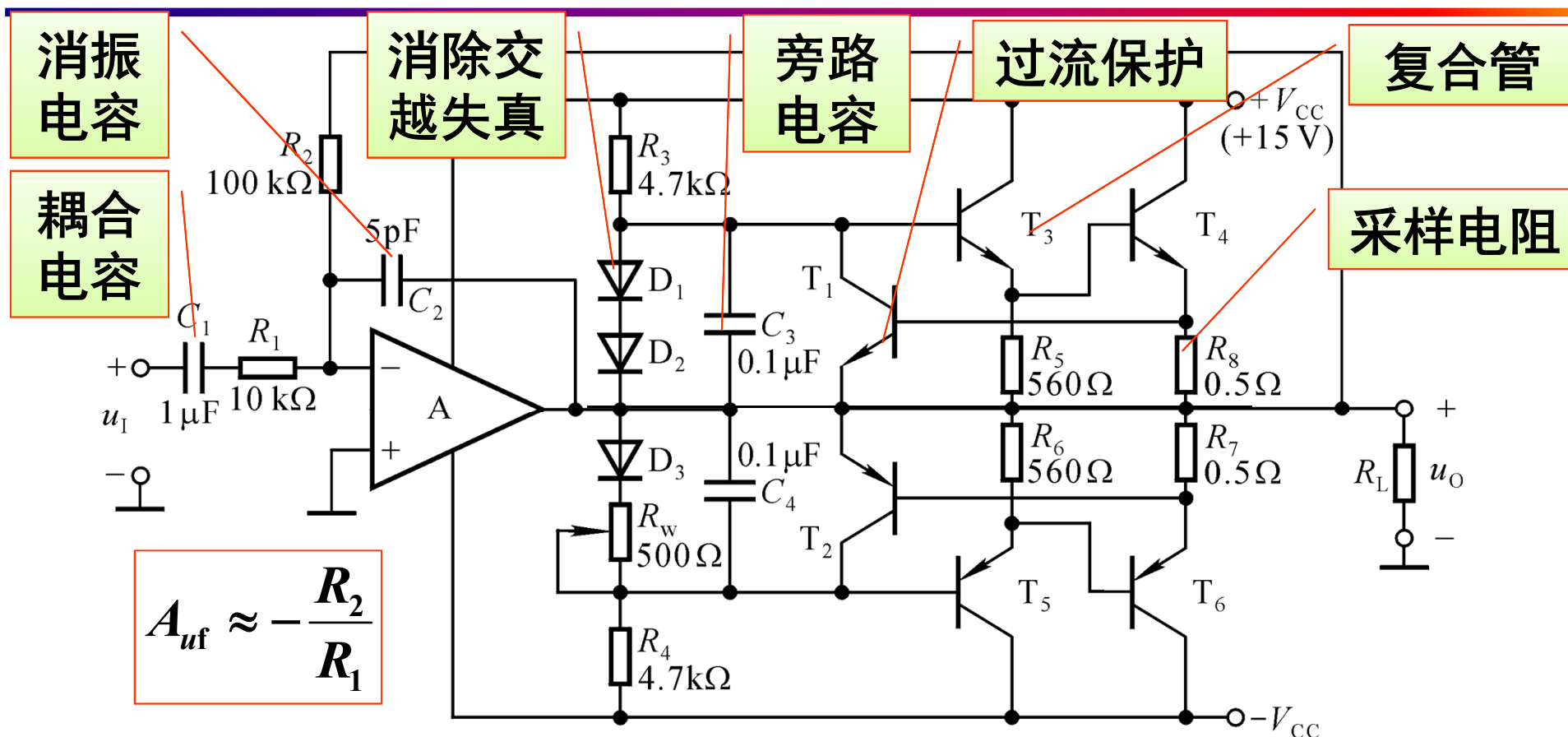


1. R_2 短路;
2. R_2 断路;
3. D_1 短路;
4. D_1 断路;
5. T_1 集电极开路。

功放的故障问题，特别需要考虑故障的产生是否影响功放管的安全工作！



9.2 低频功率放大电路简介



$$U_{op-max} = \frac{R_L}{R_8 + R_L} (V_{CC} - U_{CES})$$

$$P_{om} = \frac{U_{op-max}^2}{2R_L}$$

$$\eta = \frac{\pi}{4} \frac{U_{op-max}}{V_{CC}}$$

$$U_{ip-max} = \frac{U_{op-max}}{|A_{uf}|}$$