

10.4 功率器件与散热

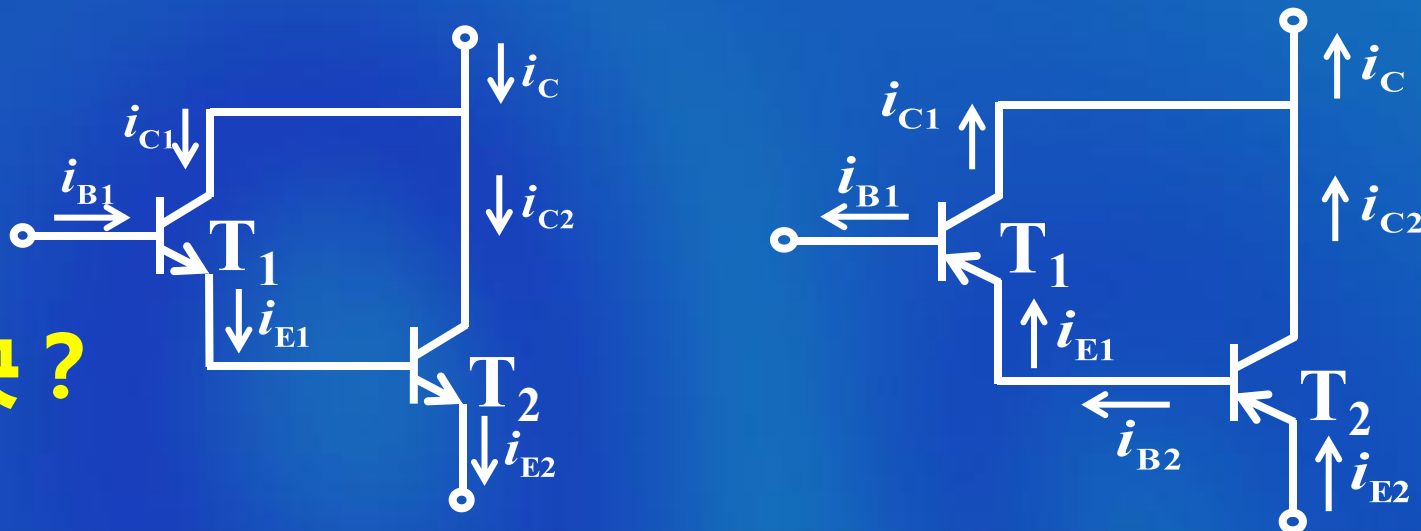
10.4.1 双极型功率晶体管 (BJT)

1. 大电流特性

由于大功率晶体管的电流放大系数小，基极驱动电流较大，给驱动电路增加负担。

可以采用复合管提高电流放大系数

如何解决？

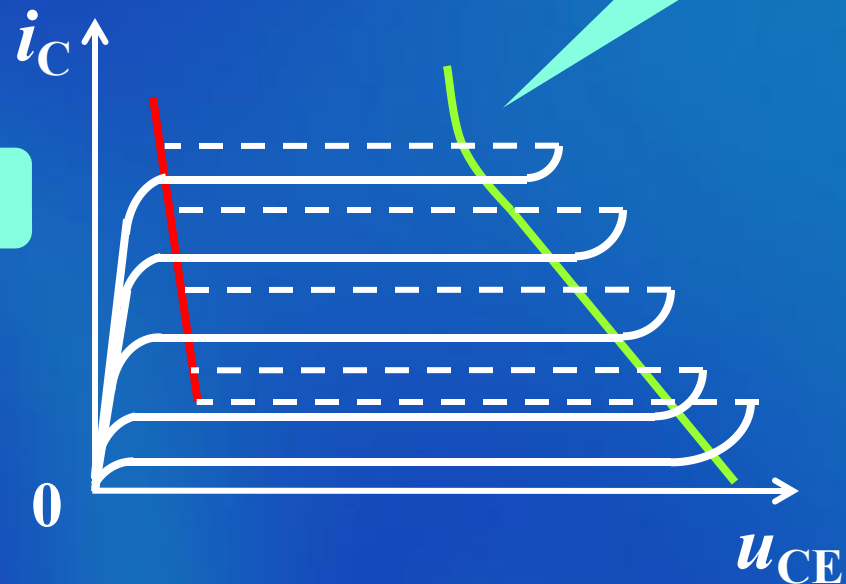
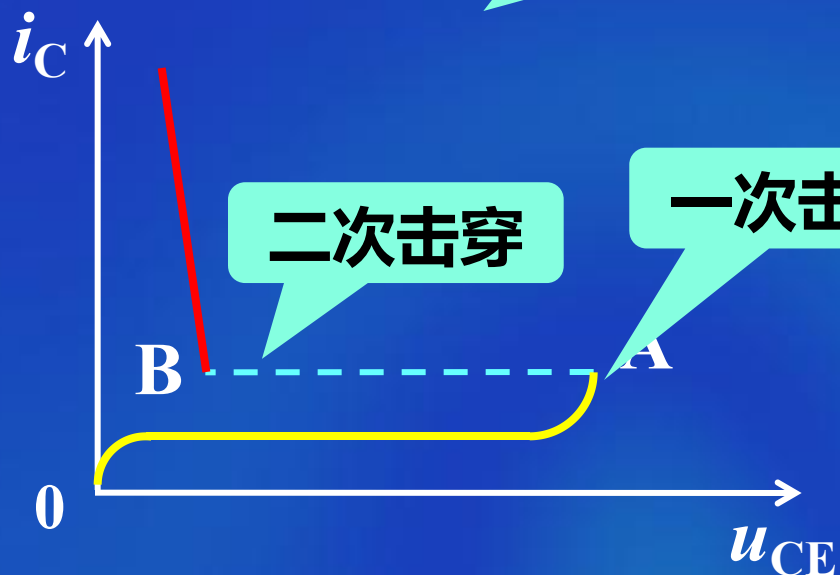


2. 二次击穿的影响

二次击穿临界曲线

二次击穿现象

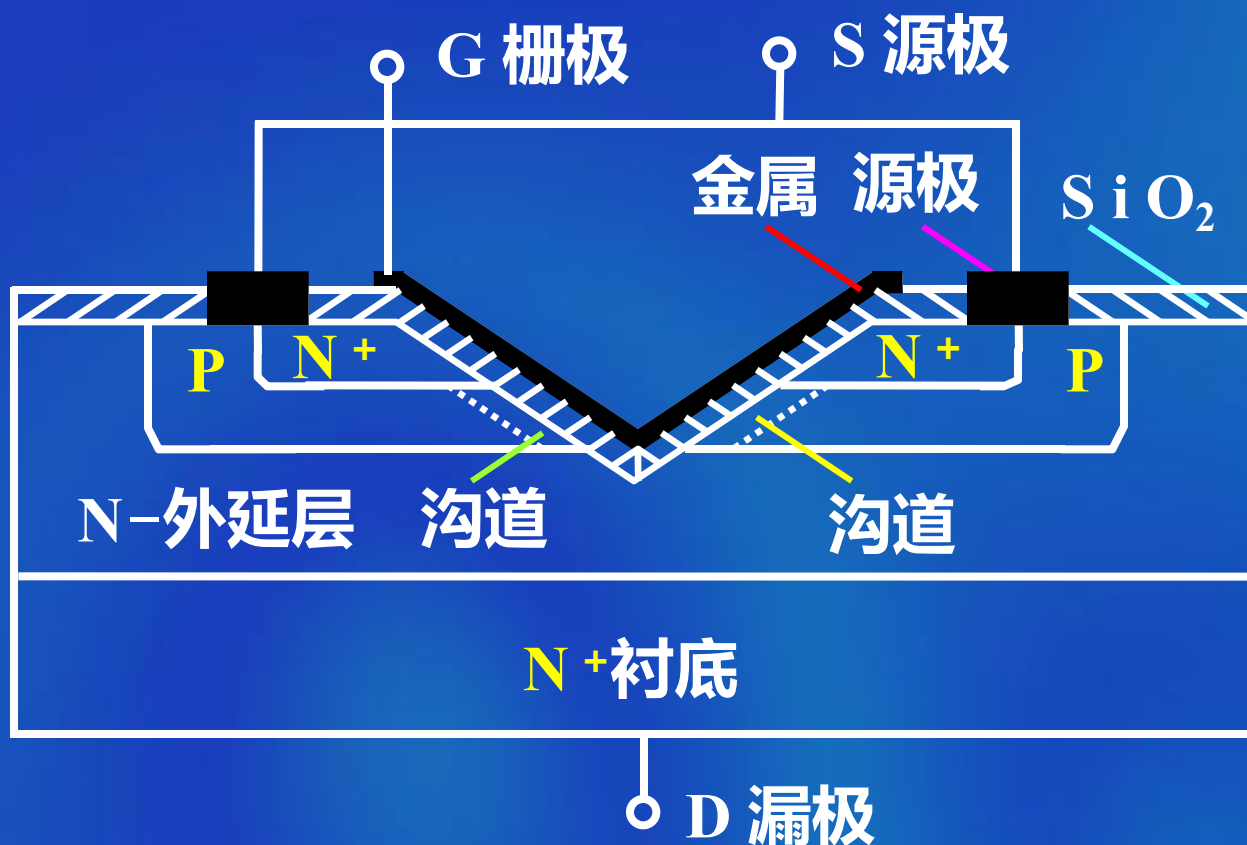
S/B曲线



10.4.2 功率MOSFET

1. V型NMOS管的结构

结构剖面图



2. V型NMOS管的主要特点

(1) 开关速度高

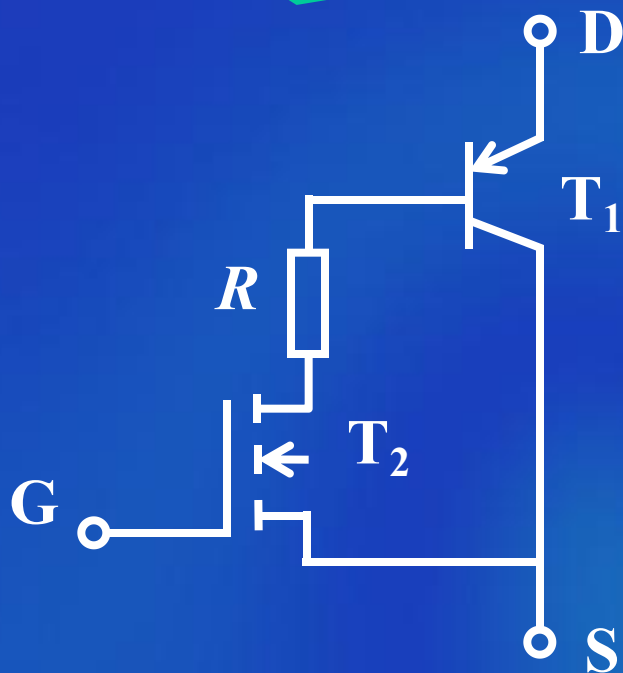
(2) 驱动电流小

(3) 过载能力强

(4) 易于并联

10.4.3 绝缘栅双极型晶体管 (IGBT)

IGBT等效
电路



IGBT电
路符号



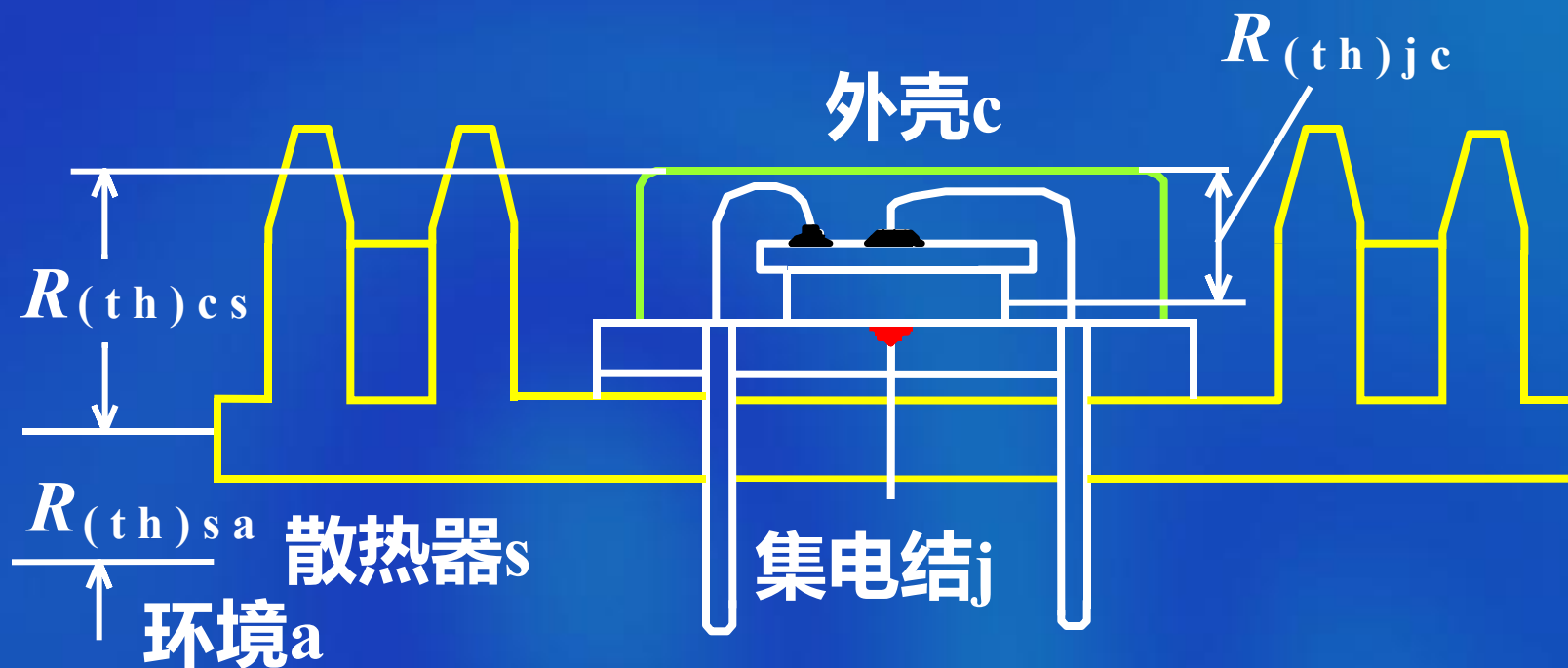
绝缘栅双极型晶体管(IGBT)的主要特点：

- (1) 输入阻抗高
- (2) 工作速度快
- (3) 通态电阻低
- (4) 阻断电阻高
- (5) 承受电流大

兼顾了MOSFET和BJT的优点，
成为当前功率半导体器件发展
的重要方向。

10.4.4 功率器件的散热

晶体管的散热示意图



功率器件的散热分析方法：

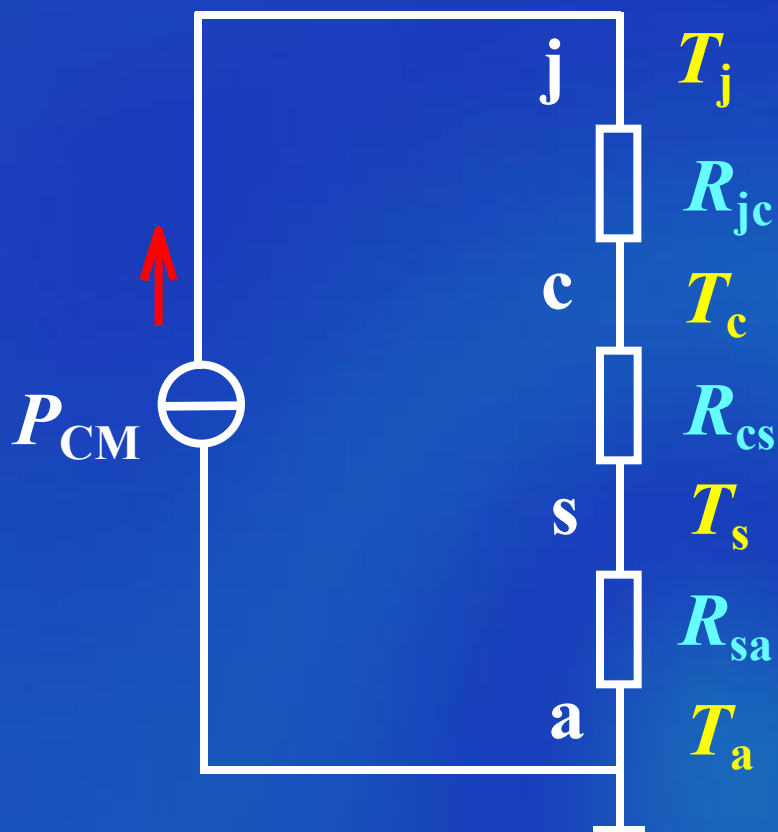
电 - 热模拟法

即用电路来模拟功率器件的散热回路

导电回路和散热回路参数对照表

导电回路（电路）			散热回路（热路）		
参 量	符 号	单 位	参 量	符 号	单 位
电 压	U	V	温 差	ΔT	°C
电 流	I	A	最大允许功耗	P_{CM}	W
电 阻	R	Ω	热 阻	R_T	°C/W

散热等效热路



T_j ——集电结的结温

T_c ——功率管的壳温

T_s ——散热器温度

T_a ——环境温度

R_{jc} ——集电结到管壳的热阻

R_{cs} ——管壳至散热片的热阻

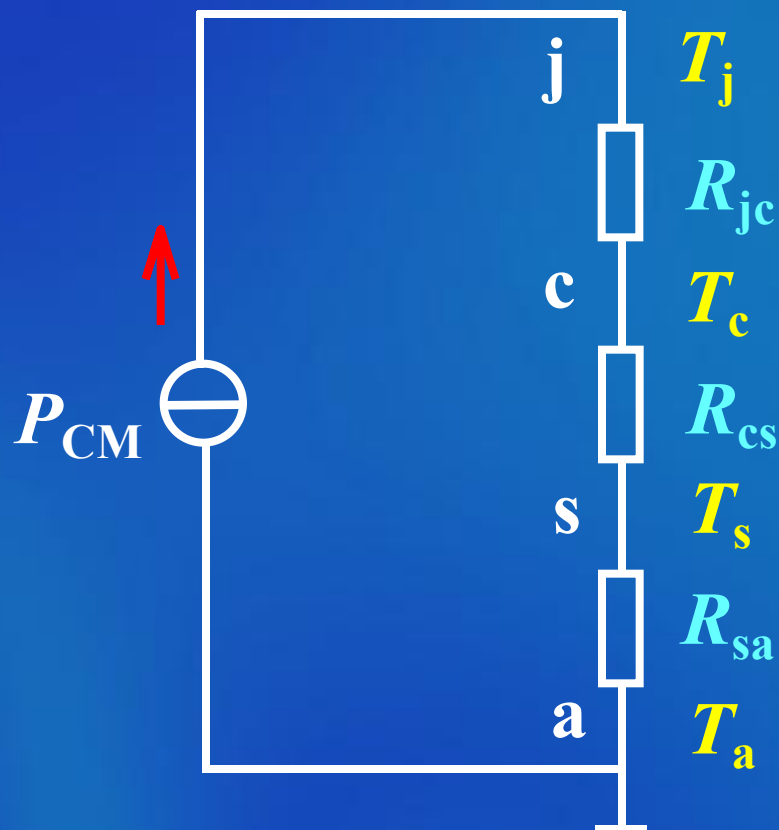
R_{sa} ——散热片至环境的热阻

散热回路的总热阻为

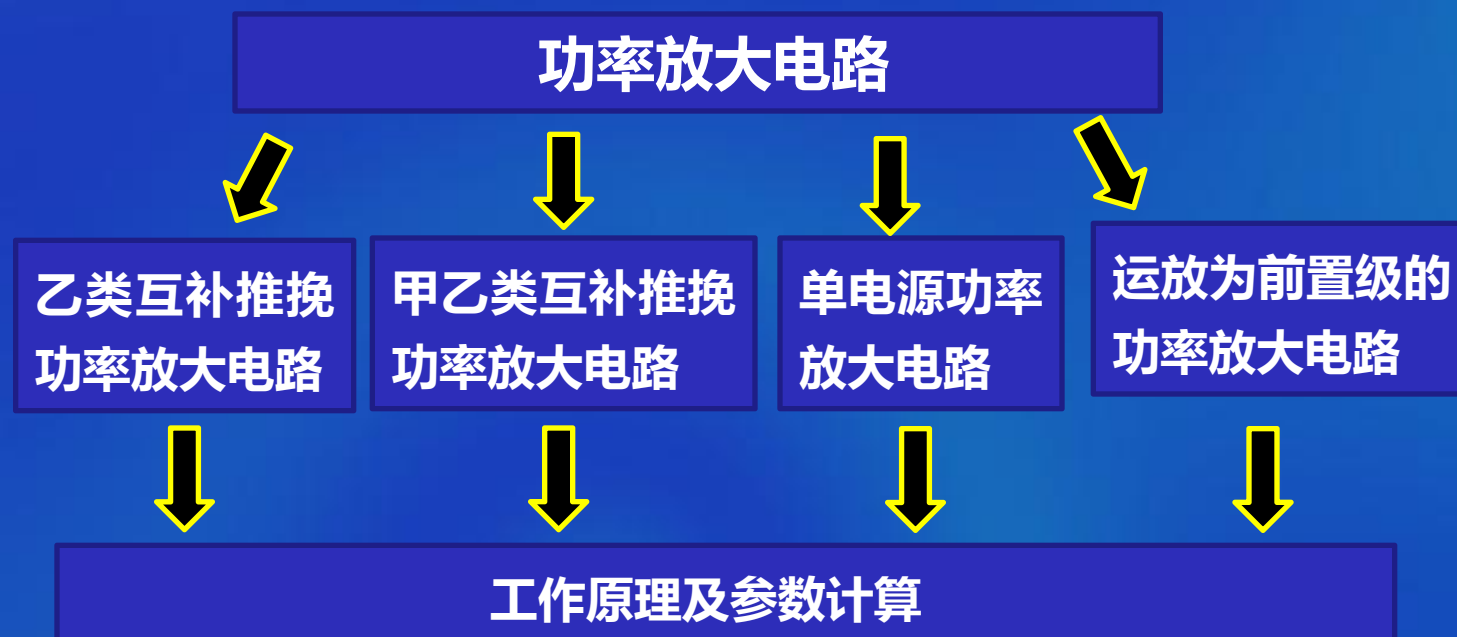
$$R_T = R_{jc} + R_{cs} + R_{sa}$$

最大允许功耗

$$P_{CM} = \frac{T_j - T_a}{R_T}$$



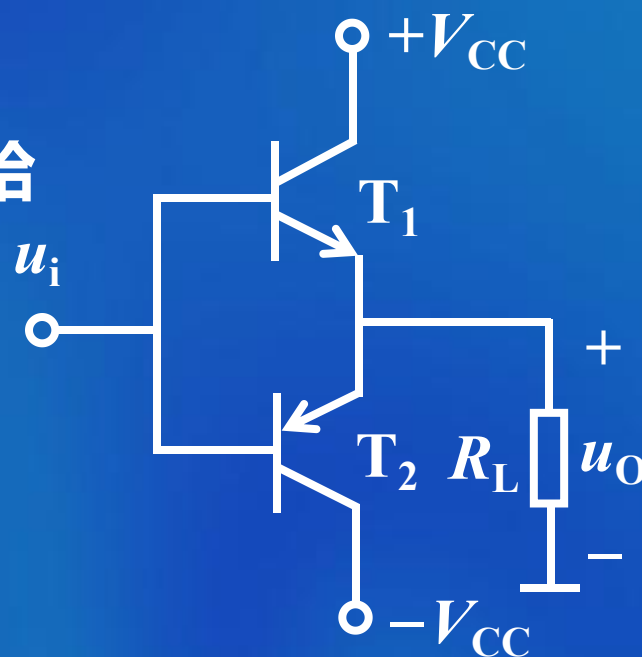
本章小结



练习题

例1 乙类互补推挽功放电路如图所示。已知 u_i 为正弦电压， $R_L=8\Omega$ ，要求最大输出功率为16W。假设功率管 T_1 和 T_2 特性对称，管子的饱和压降 $U_{CES}=0$ 。试求：

- (1) 正、负电源 V_{CC} 的最小值；
- (2) 当输出功率最大时，电源供给的功率；
- (3) 当输出功率最大时的输入电压的有效值。

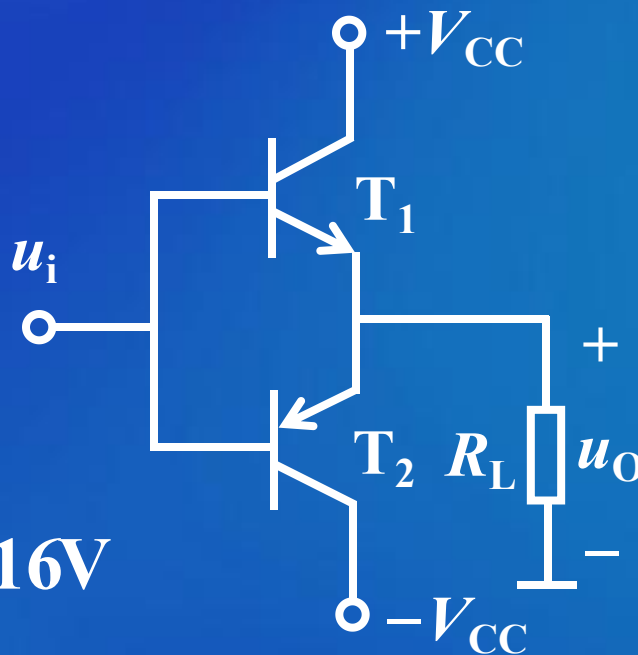


[解] (1) 由于电路的最大输出功率

$$P_{Om} \approx \frac{V_{CC}^2}{2R_L} = 16W$$

所以电源电压

$$V_{CC} \geq \sqrt{2R_L P_{om}} = \sqrt{2 \times 8 \times 16} = 16V$$



(2) 当输出功率最大时, 电源供给的功率

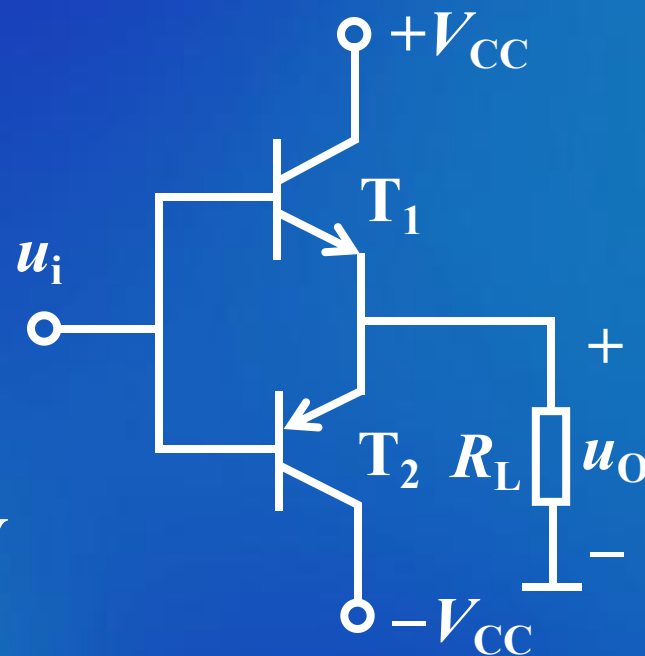
$$P_V = \frac{2}{\pi} \frac{V_{CC}^2}{R_L} = \frac{2}{\pi} \frac{16 \times 16}{8} \approx 20.38W$$

(3) 因为输出功率最大时，输出电压的幅值为

$$U_{Om} \approx V_{CC} = 16V$$

所以输入电压的有效值为

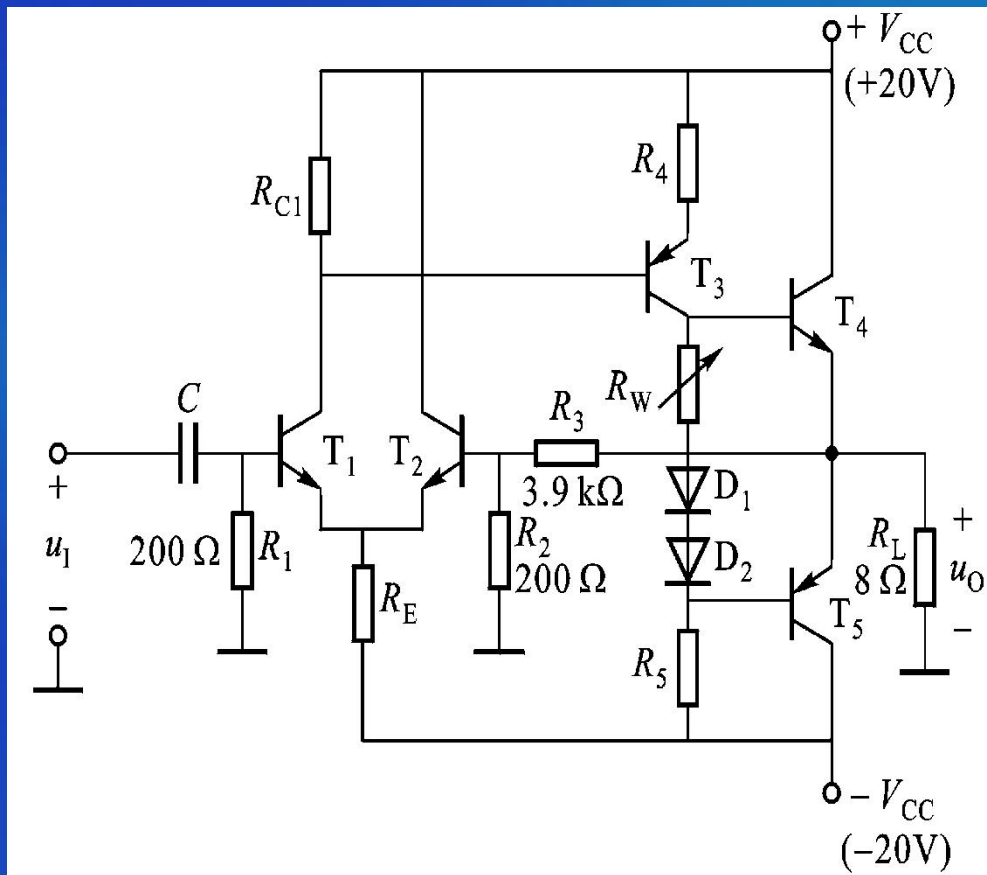
$$U_i \approx U_o = \frac{V_{CC}}{\sqrt{2}} = \frac{16}{\sqrt{2}} \approx 11.32V$$



教材三版P355 10.16题 (教材二版P329 9.16题)

10.16 功率放大电路如下图所示。假设晶体管T4和T5的饱和压降可以忽略，试问：

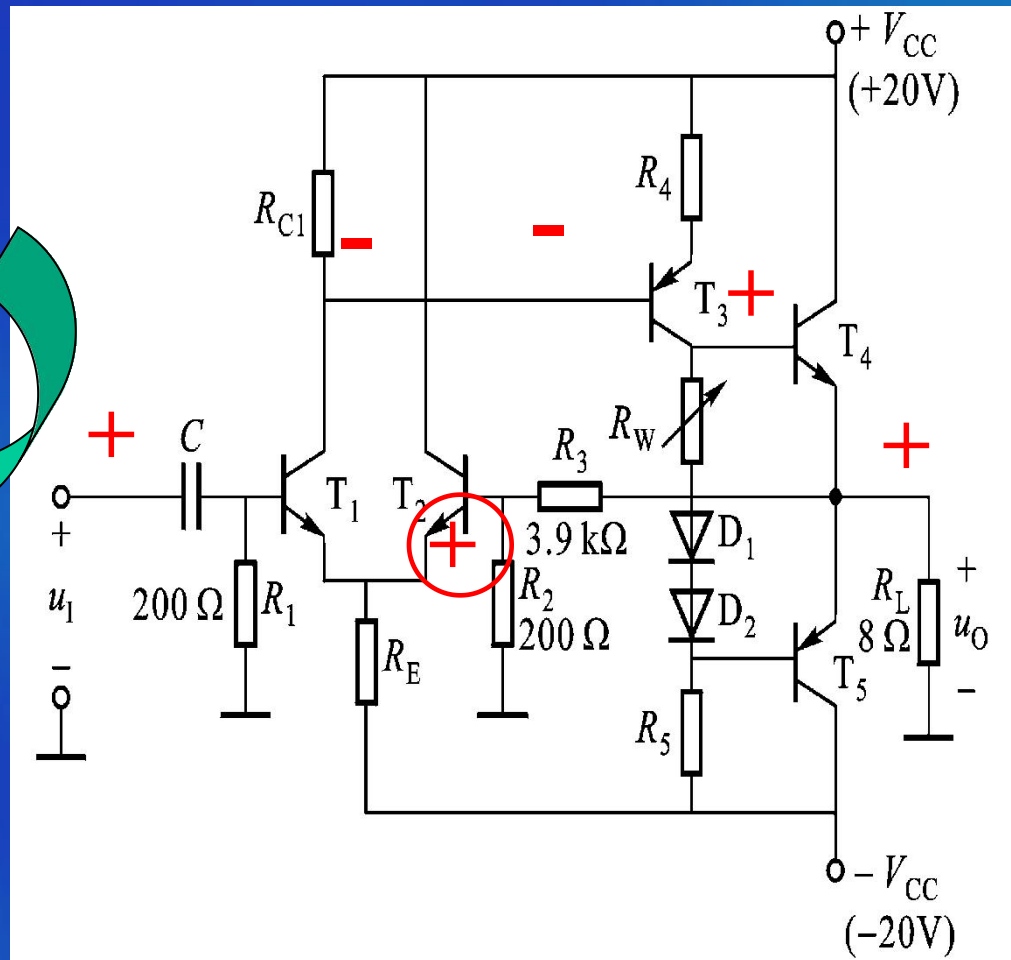
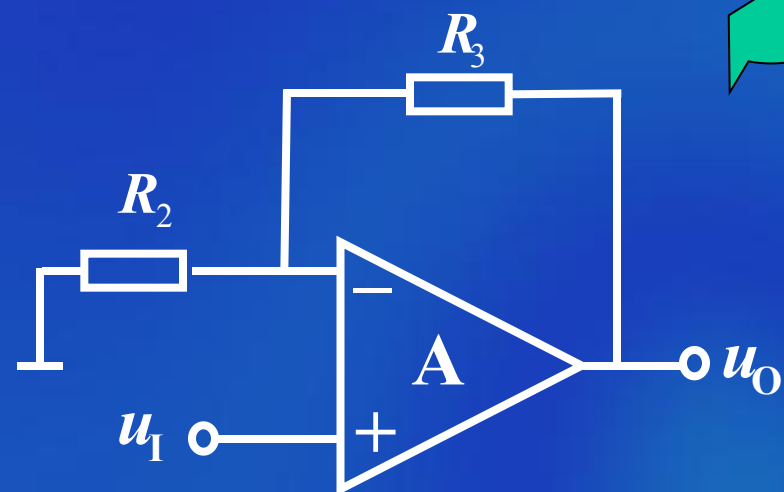
- (a) 该电路是否存在反馈？若存在反馈，请判断反馈类型；
- (b) 假设电路满足深度负反馈的条件，当 $U_i = 0.5\text{V}$ 时， U_o 等于多少？此时电路的 P_o 、 P_V 及 η 各等于多少？
- (c) 电路最大输出功率 P_{om} 、最大效率 η_{\max} 各等于多少？



电压or电流？串联or并联？

正反馈or负反馈？

(a) 电压串联负反馈



$$\dot{A}_{uf} \approx 1 + R_3/R_2$$

(b)

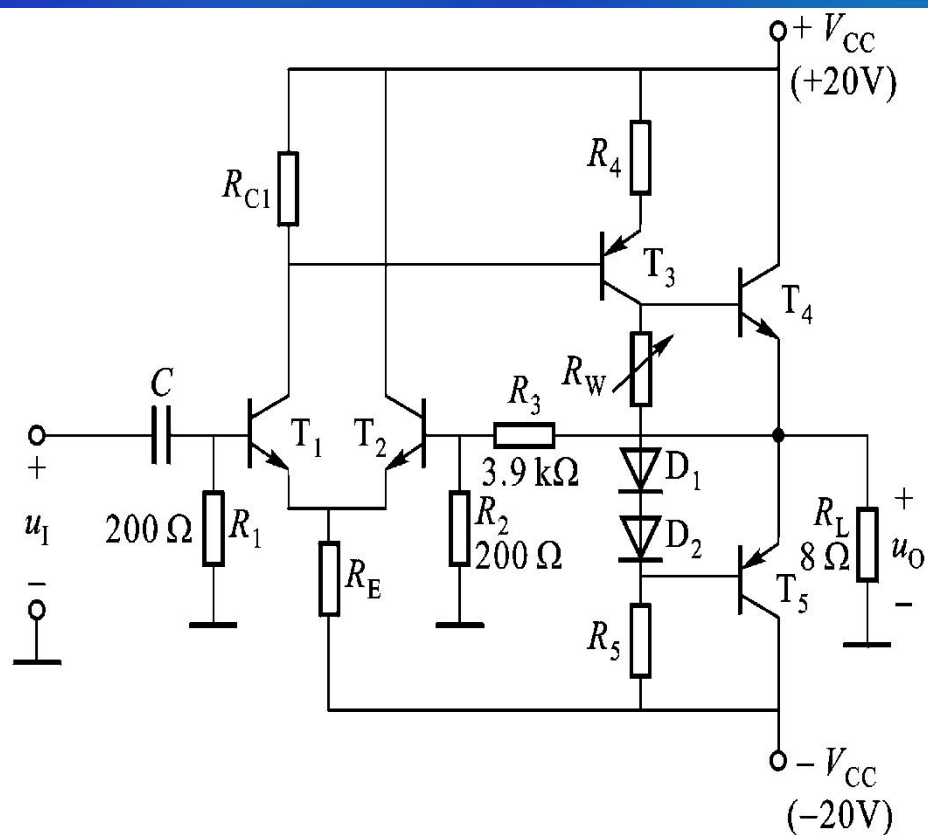
$$A_{uf} \approx 1 + \frac{R_3}{R_2} = 1 + \frac{3.9}{0.2} = 20.5$$

$$U_o = |A_u| U_i = 20.5 \times 0.5 = 10.25 \text{ V}$$

$$P_o = \frac{U_o^2}{R_L} = \frac{(10.25)^2}{8} = 13 \text{ W}$$

$$P_V = 2V_{CC} \frac{U_{om}}{\pi R_L} = \frac{2 \times 20 \times \sqrt{2} \times 10.25}{3.14 \times 8} \approx 23 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_o}{P_V} \times 100\% = \frac{13}{23} \times 100\% = 56.5\%$$

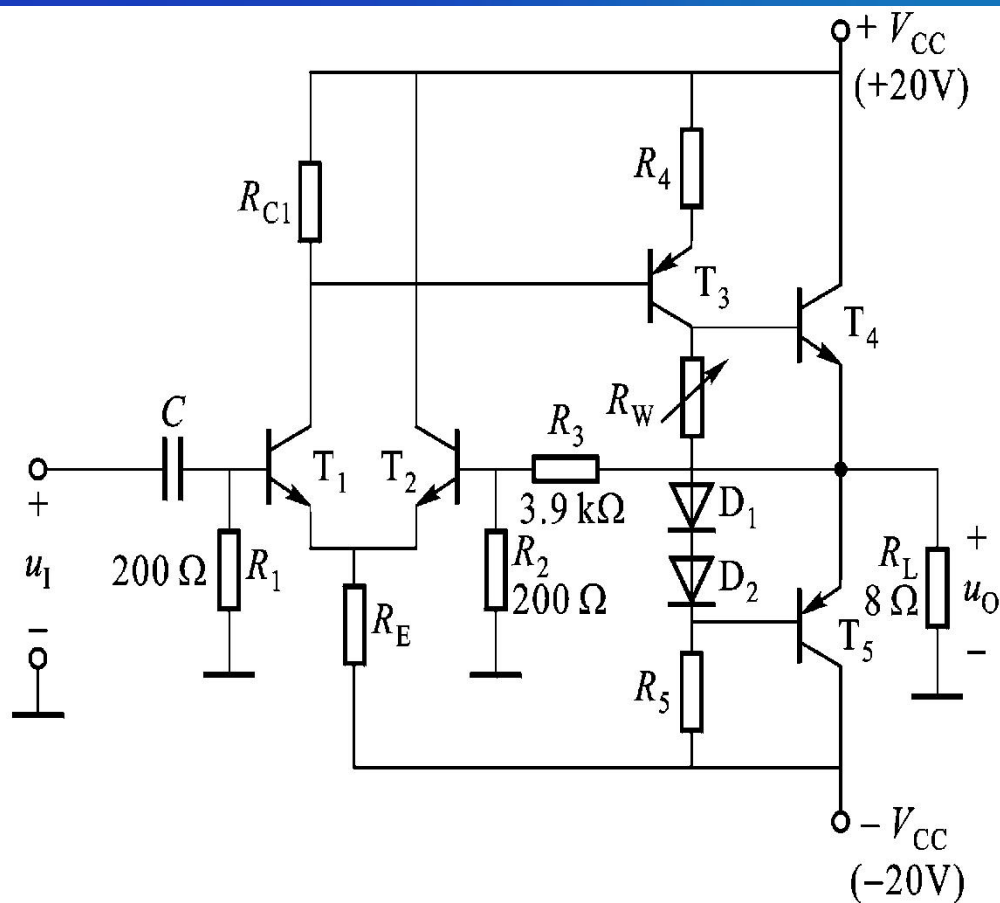


(c)当输出电压幅值达到电源电压时，输出功率和效率达到最大。

$$P_{\text{om}} = \frac{V_{\text{CC}}^2}{2R_{\text{L}}} = 25 \text{ W}$$

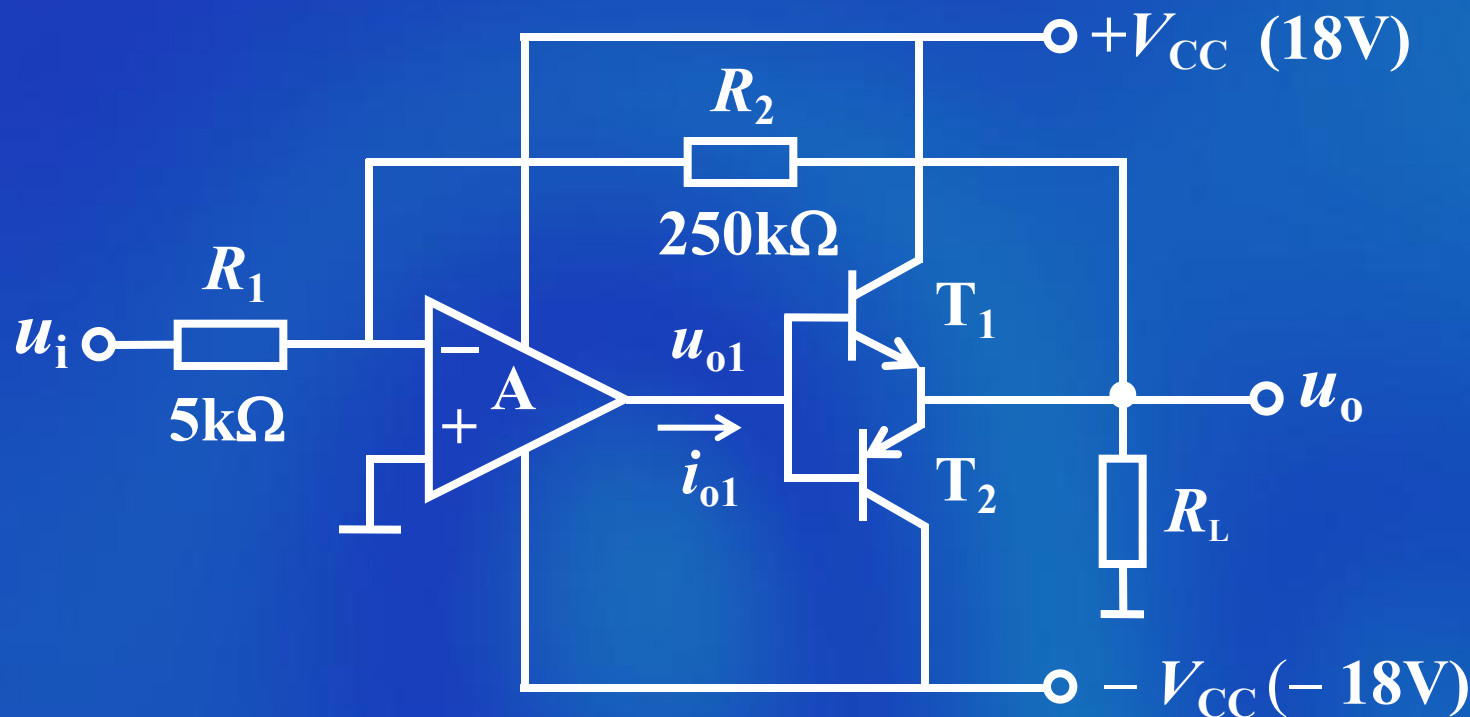
$$P_{\text{V}} = \frac{2V_{\text{CC}}^2}{\pi R_{\text{L}}} = \frac{2 \times 20^2}{3.14 \times 8} = 31.85 \text{ W}$$

$$\eta_m = \frac{P_{\text{om}}}{P_{\text{V}}} \times 100\% = \frac{\pi}{4} \times 100\% = 78.5\%$$



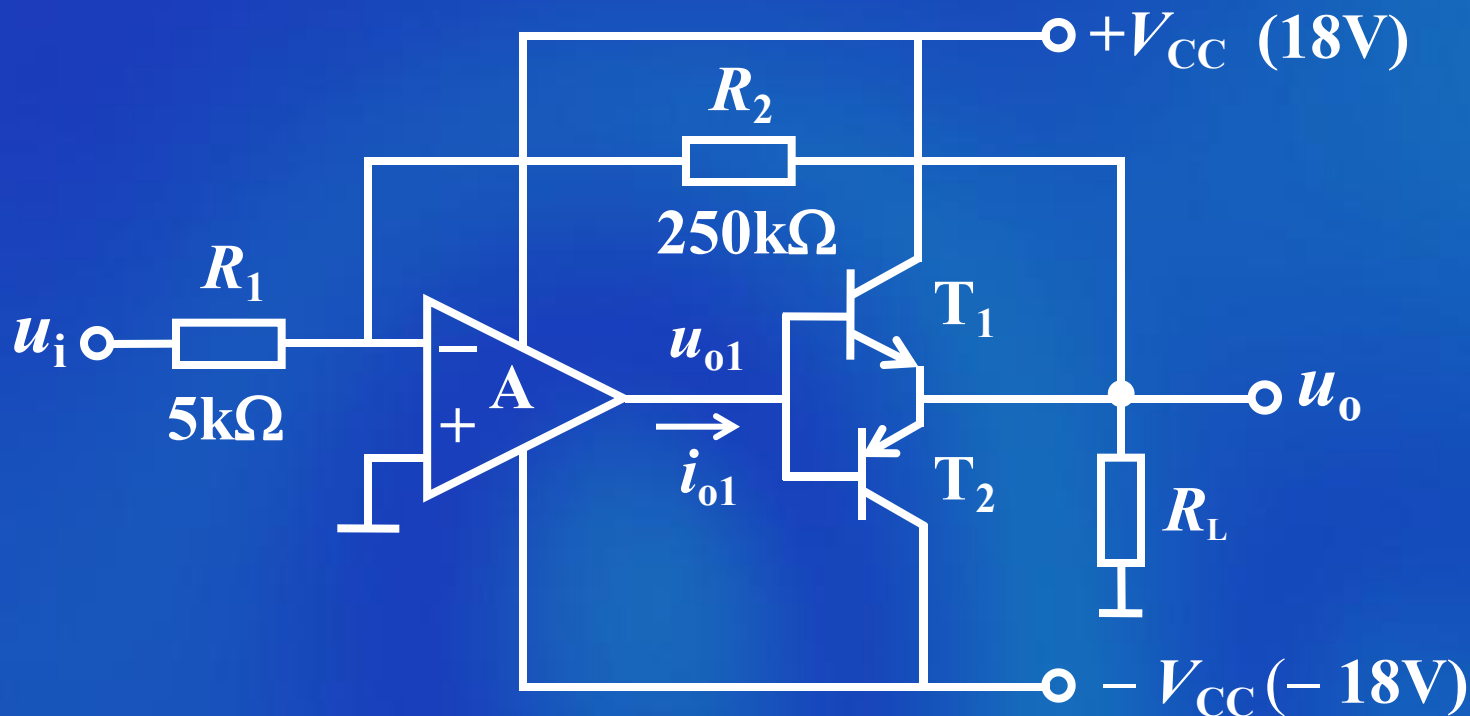
例2 在图示的电路中，已知运放性能理想，其最大的输出电流、电压分别为15mA和15V。设晶体管 T_1 和 T_2 的性能完全相同， $\beta=60$ ， $|U_{BE}|=0.7V$ 。试问

(1) 该电路采用什么方法来减小交越失真？。

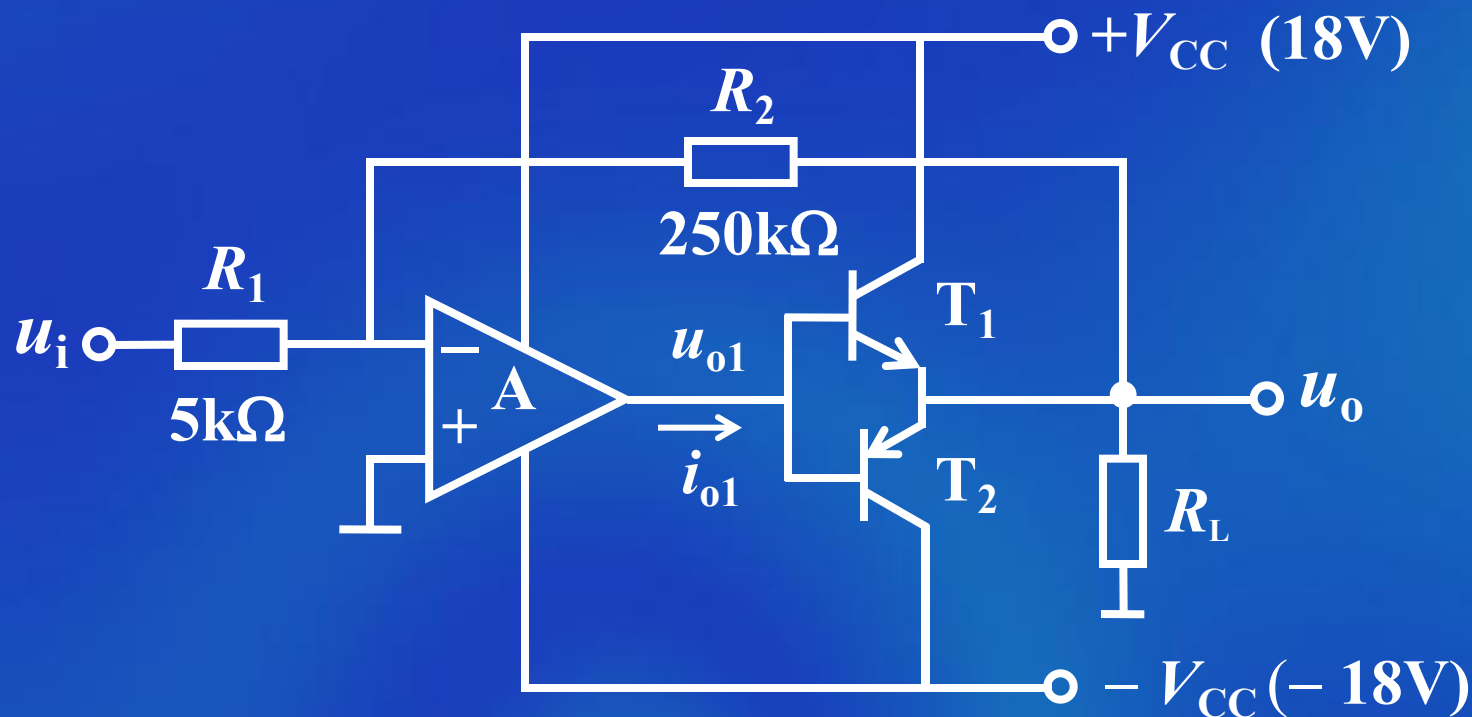


(2) 如负载 R_L 分别为 $20\ \Omega$ 、 $10\ \Omega$ 时, 其最大不失真输出功率分别为多大?

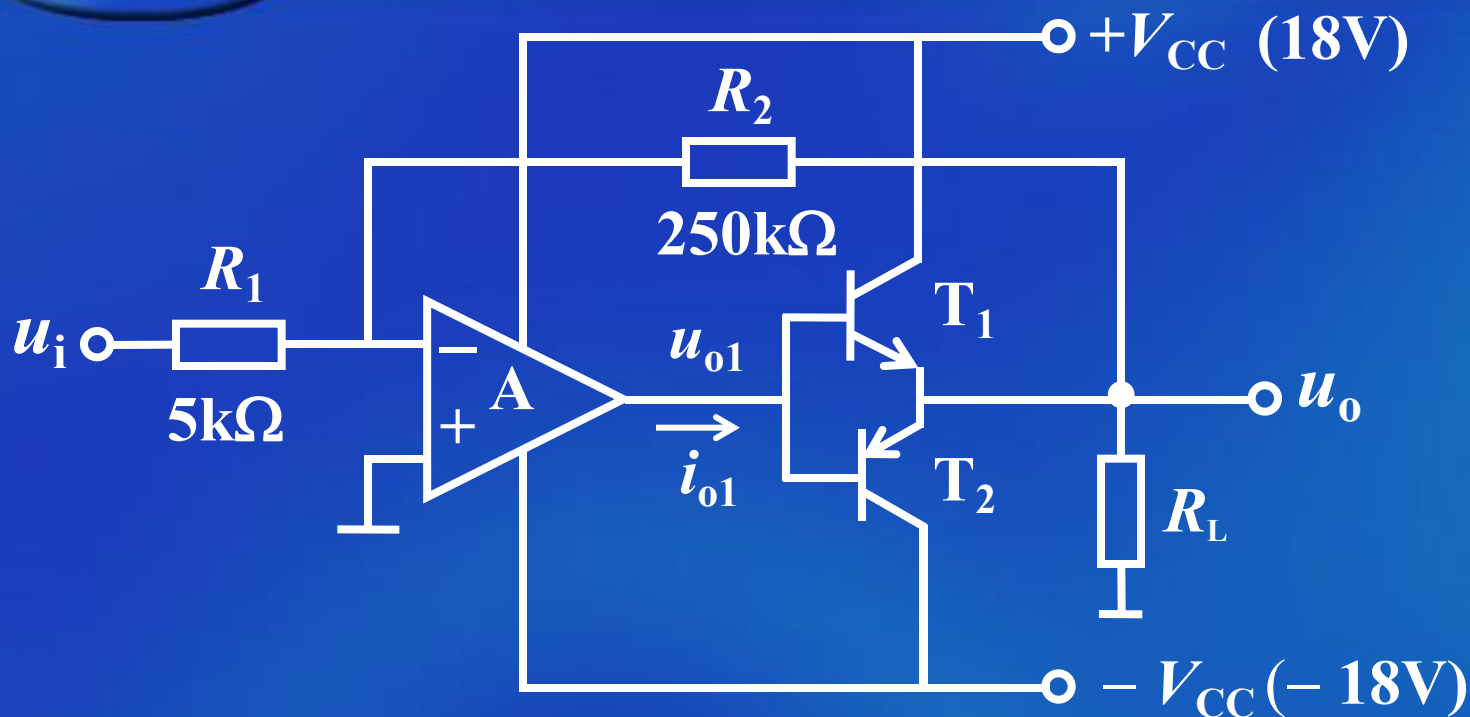
(3) 为了使不失真输出功率达到最大, 其电路的最佳负载 R_{Lopt} 及此时的最大输出功率 P_{om} 。



(4) 功放管 T_1 和 T_2 的极限参数 P_{CM} 、 I_{CM} 和 $|U_{(BR)CEO}|$ 应选多大?

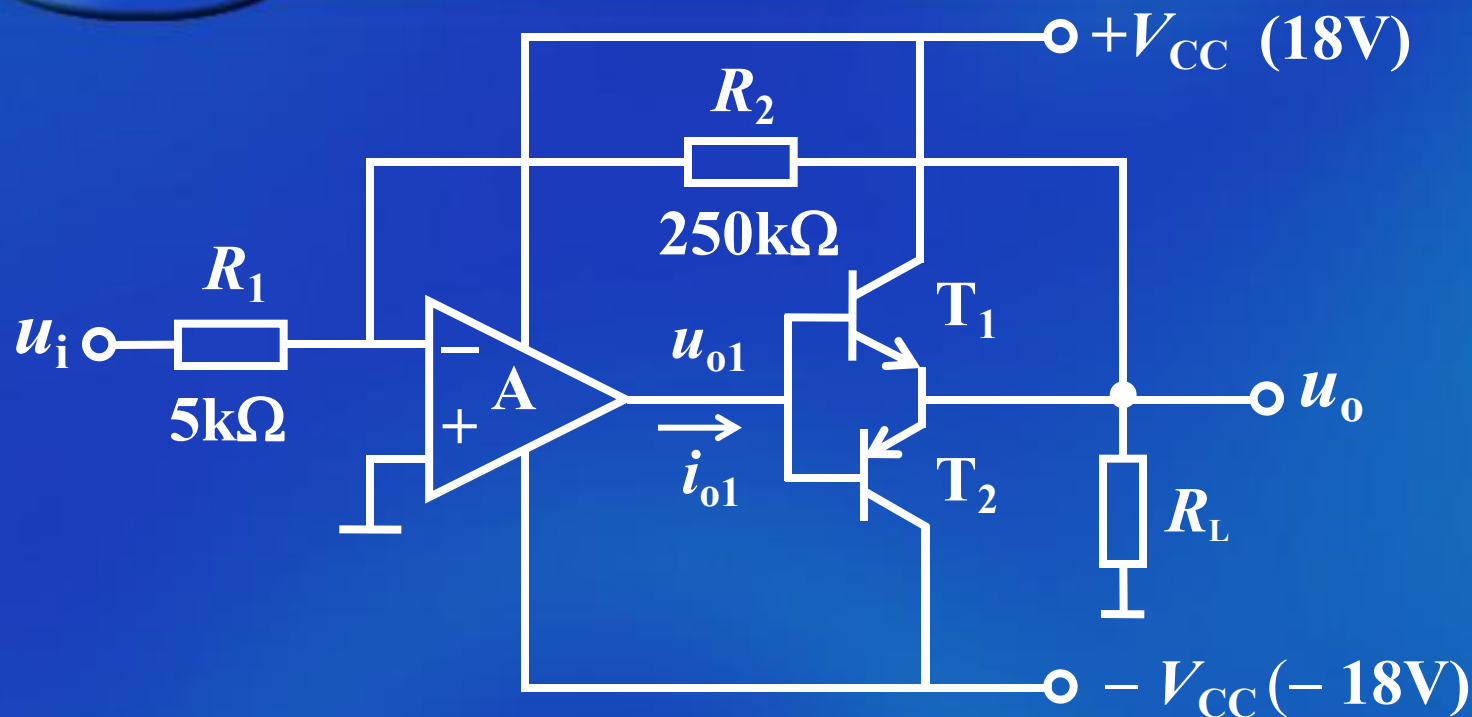


解 (1) 在电路即将导通之时, 电路中各支路中的电流为零。
这时



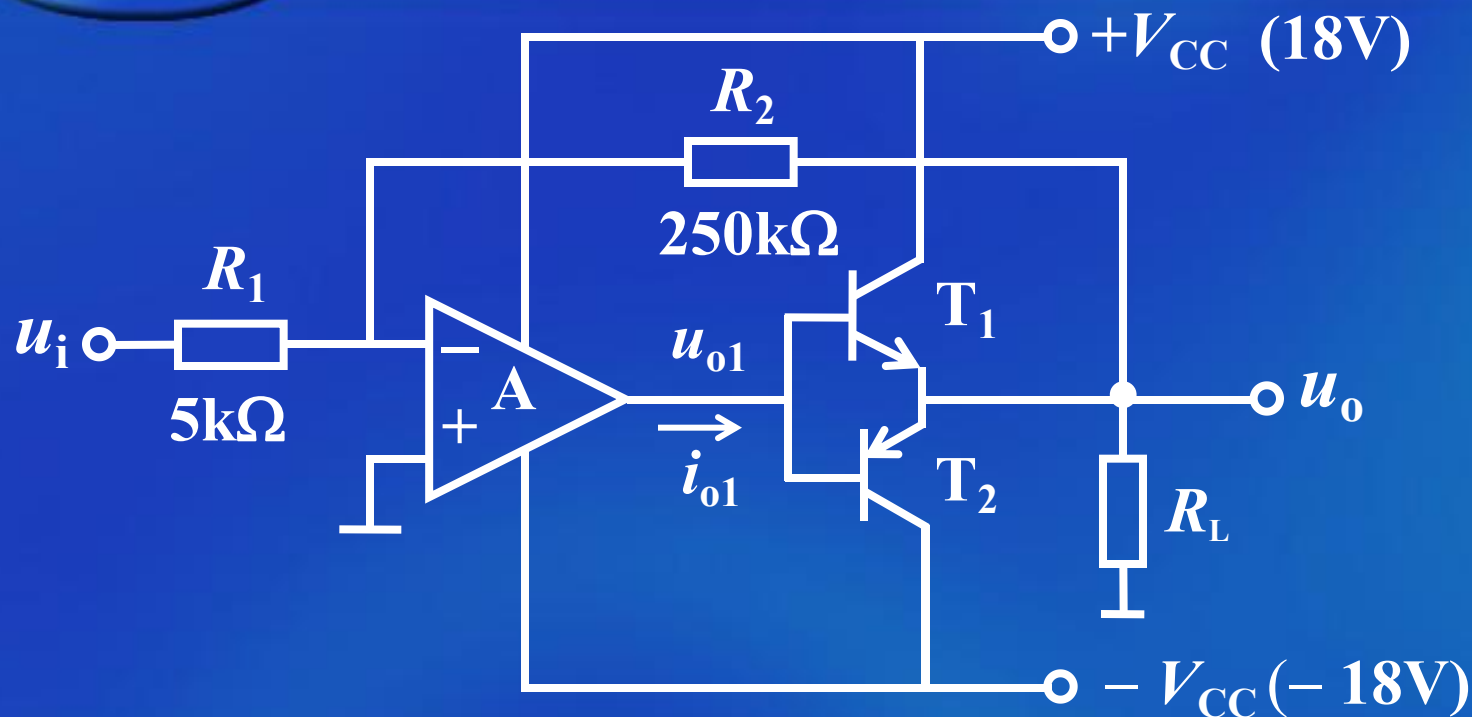
$$u_- = \frac{R_2 + R_L}{R_1 + R_2 + R_L} u_i$$

$$u_{o1} = -A_{uo} u_- = -\frac{R_2 + R_L}{R_1 + R_2 + R_L} u_i A_{uo}$$



$$u_i = -\frac{R_1 + R_2 + R_L}{R_2 + R_L} \frac{u_{o1}}{A_{u0}}$$

在管子即将导通时， u_{o1} 等于其死区电压 $U_{BE(th)}$ 。



故 电路的死区电压 $U_{i(th)}$ 为

$$|U_{i(th)}| = \frac{R_1 + R_2 + R_L}{R_2 + R_L} \frac{|U_{BE(th)}|}{A_{uo}}$$

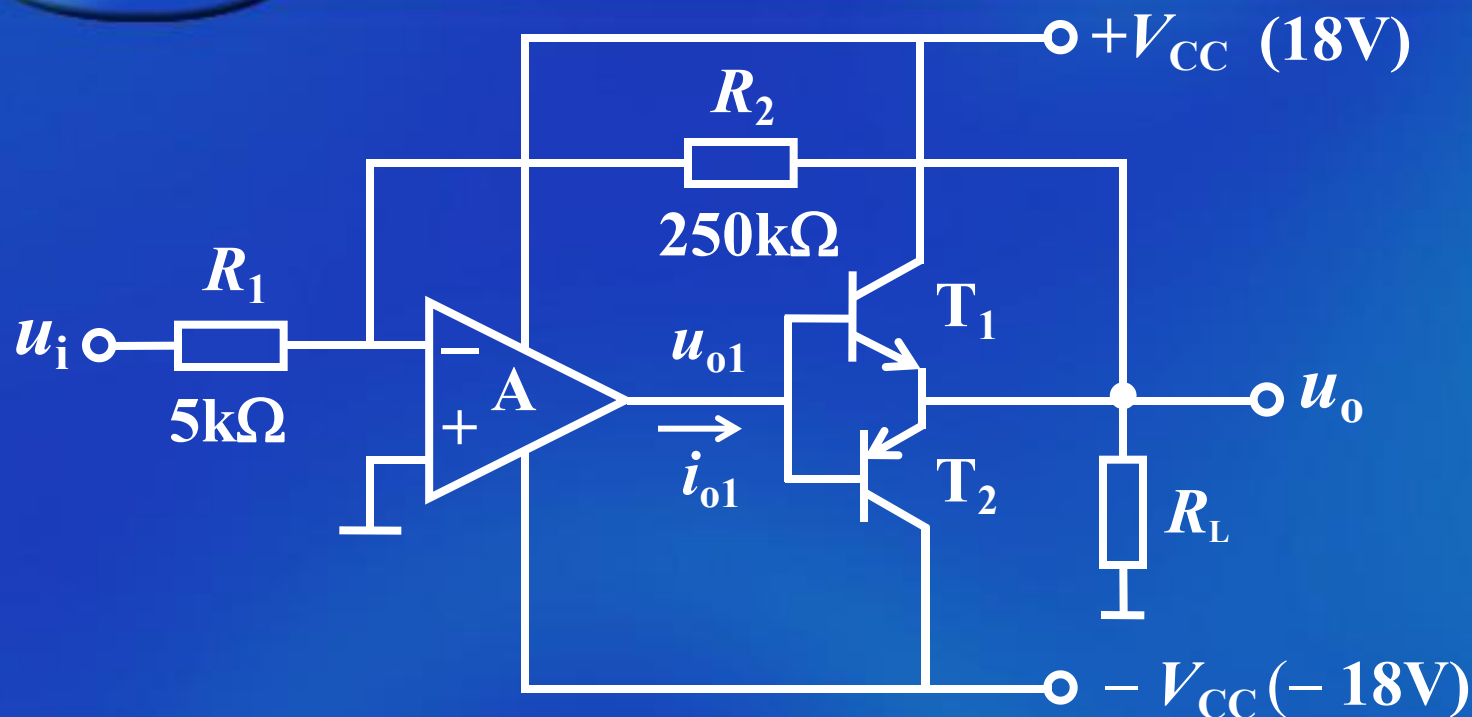
即当 $|u_i| \leq [1 + R_1/(R_2 \parallel R_L)]|U_{BE}|/A_{u0}$

T_1 和 T_2 均未导通；

当 $|u_i| > [1 + R_1/(R_2 \parallel R_L)]|U_{BE}|/A_{u0}$

T_1 或 T_2 导通；

可见，由于运放的 A_{u0} 很大，与未加运放的乙类推挽功放电路相比，输入电压的不灵敏区减小了，从而减小了电路的交越失真。

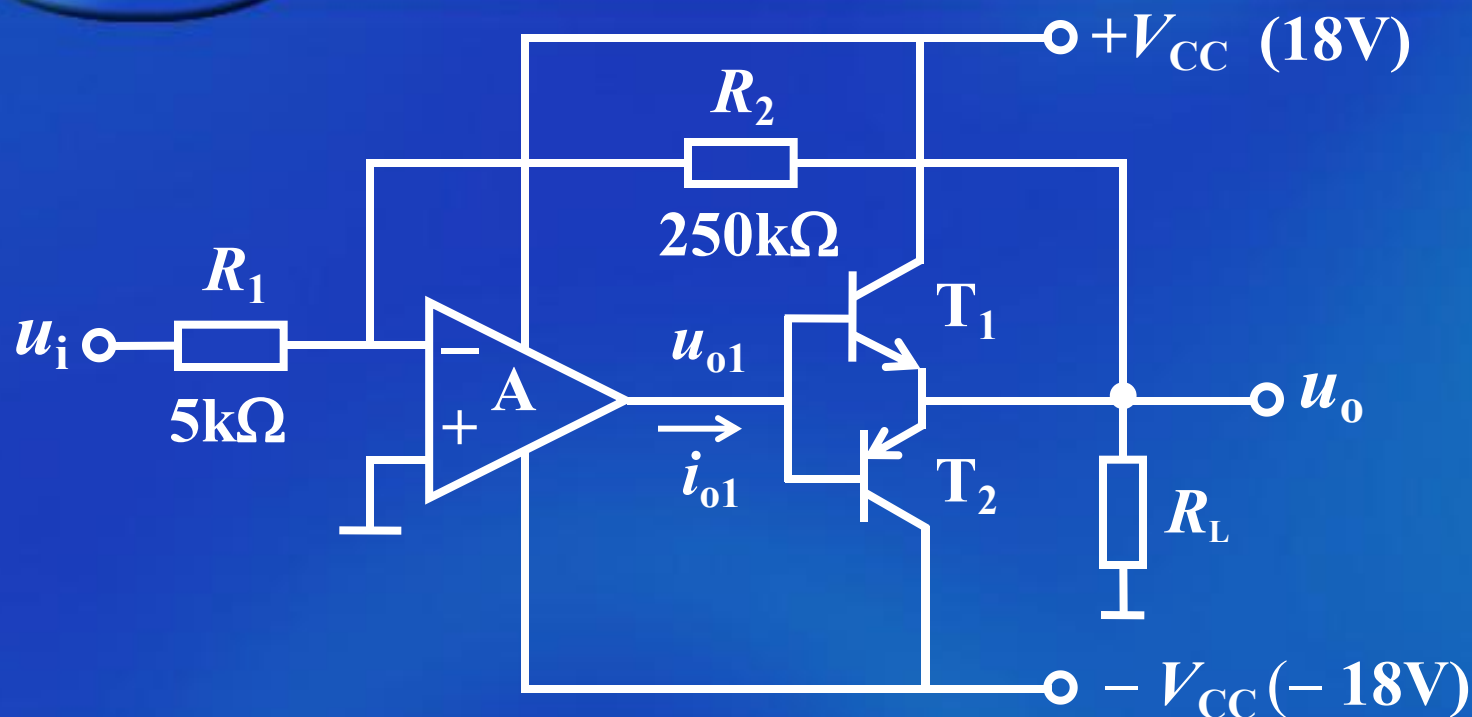


(2) 由图可知，功放电路的最大输出电流为

$$\begin{aligned} I_{om} &\approx I_{em} = (1 + \beta) I_{o1m} \\ &= (60 + 1) \times 15 \times 10^{-3} = 0.915 \text{ A} \end{aligned}$$

最大输出电压为

$$U_{om} \approx U_{o1m} = 15 \text{ V}$$



当 $R_L = 20\Omega$ 时，因为 $I_{om} R_L = 18.3V > U_{om} = 15V$

那么，受输出电压的限制，电路的最大输出功率为

$$P_{om} = \frac{U_{om}^2}{2R_L} = \frac{15^2}{2 \times 20} = 5.63W$$

当 $R_L = 10\Omega$ 时, $\frac{U_{om}}{R_L} = \frac{15}{10} = 1.5A > I_{om} = 0.915A$

故受输出电流的限制, 电路的最大输出功率为

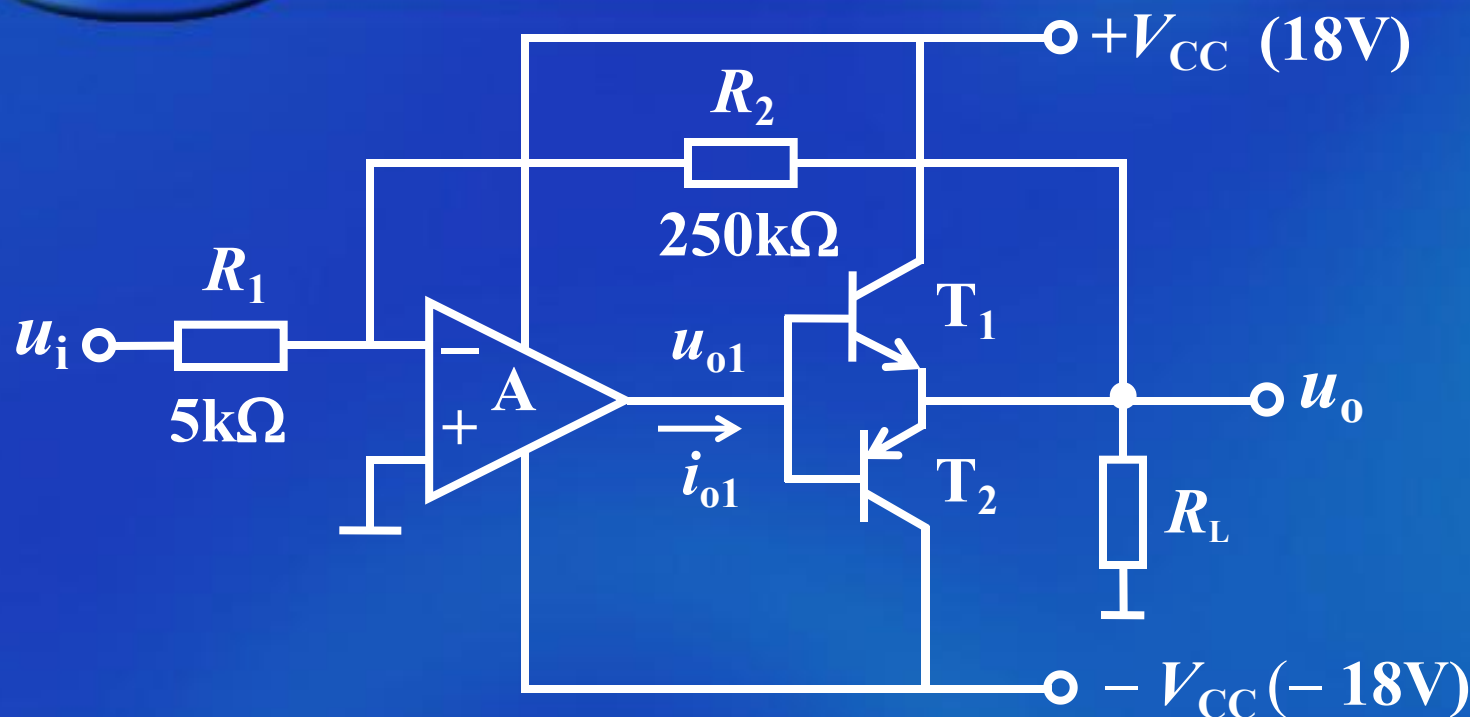
$$P_{om} = \frac{1}{2} I_{om}^2 R_L = 0.5 \times 0.915^2 \times 10 \approx 4.19W$$

(3) 为了充分利用运放输出的最大电流和电压, 功放电路的最佳负载应为

$$R_{LOPT} = \frac{U_{om}}{I_{om}} = \frac{15}{0.915} = 16.4\Omega$$

此时电路的最大输出功率为

$$P_{om} = \frac{U_{om}^2}{2R_{Lopt}} = \frac{15^2}{2 \times 16.4} = 6.86W$$



(4) 在上述3种负载情况下，两管的最大功耗分别为：

$$\begin{aligned}
 \text{当 } R_L = 10\Omega \text{ 时, } P_T = P_V - P_{om} &= \frac{2}{\pi} I_{om} V_{CC} - 4.19 \\
 &= \frac{2}{\pi} \times 0.915 \times 18 - 4.19 \approx 6.3\text{W}
 \end{aligned}$$

当 $R_L = 20\Omega$ 时

$$\begin{aligned} P_T &= P_V - P_{om} = \frac{2}{\pi} \frac{U_{om} V_{CC}}{R_L} - 5.63 \\ &= \frac{2}{\pi} \times \frac{15 \times 18}{20} - 5.63 \\ &\approx 2.97\text{W} \end{aligned}$$

当 $R_L = R_{Lopt} = 16.4\Omega$ 时

$$\begin{aligned} P_T &= P_V - P_{om} = \frac{2}{\pi} \frac{U_{om} V_{CC}}{R_L} - 5.63 \\ &= \frac{2}{\pi} \times \frac{15 \times 18}{16.4} - 6.86 \approx 3.63\text{W} \end{aligned}$$

因此，选择每只管子的功耗

$$P_{T1} = P_{T2} > \frac{6.3}{2} = 3.15\text{W}$$

又由于在3种负载中出现的最大输出电压、电流为

$$U_{om} = 15\text{V}$$

$$I_{om} = 0.915\text{A}$$

因此选择每管的 I_{CM} 、 $U_{(BR)CEO}$ 应满足

$$I_{CM} > I_{om} = 0.915\text{A}$$

$$|U_{(BR)CEO}| > 2U_{CC} = 2 \times 18 = 36\text{V}$$