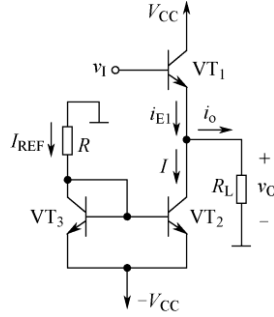


6.1 电路如图题 6.1 所示, 假设 $V_{CC}=10V$, $I=100mA$, $R_L=100$ 。如果输出是峰值为 $8V$ 的正弦波, 求:

- (1) 负载上得到的功率;
- (2) 电源提供的平均功率;
- (3) 功率转换效率。



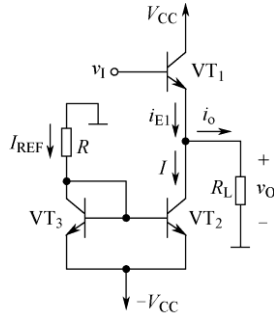
图题 6.1

解: (1) $P_L = \frac{V_{OM}^2}{2R_L} = \frac{8^2}{2 \times 100} = 0.32W$

(2) $P_S = 2V_{CC}I = 2 \times 10 \times 100 = 2W$

(3) $\eta = \frac{P_L}{P_S} = \frac{0.32}{2} = 16\%$

6.2 A 类输出级的电路结构如图题 6.1 所示。假设 $V_{CC}=5V$, $R=R_L=1k\Omega$, VT_1 、 VT_2 和 VT_3 型号相同。 $V_{BE}=0.7V$, $V_{CE(sat)}=0.3V$, β 很大。求线性工作时, 输出电压的上限和下限分别是多少? 相应的输入电压为多少? 如果晶体管 VT_3 的发射结面积是 VT_2 的两倍, 重复求解上述问题。



图题 6.1

解: $v_{Omax} = V_{CC} - V_{CE(sat)} = 5 - 0.3 = 4.7V$ $v_{Imax} = 4.7 + 0.7 = 5.4V$

$$I_{REF} = I = \frac{0 - V_{BE(on)} - (-V_{CC})}{R} = \frac{0 - 0.7 - (-5)}{10^3} = 4.3mA$$

$v_{Omin} = -IR_L = -4.3mA \times 1k\Omega = -4.3V$ $v_{Omin} = -V_{CC} + V_{CE2(sat)} = -5 + 0.3 = -4.7V$

取 $v_{Omin} = -4.3V$, 则 $v_{Imin} = -4.3 + 0.7 = -3.6V$

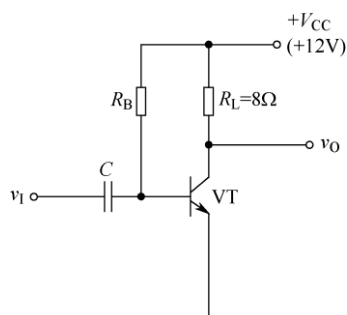
若 VT_3 管的结面积是 VT_2 管的 2 倍, $\frac{I}{I_{REF}} = \frac{1}{2}$, $I = 2.15mA$

$$v_{Omax} = 4.78V, \quad v_{Imax} = 5.4V$$

$$v_{Omin} = -IR_L = -2.15mA \times 1k\Omega = -2.15V \quad v_{Imin} = -2.15V + 0.7 = -1.45V$$

6.3 在图题 6.2 所示电路中, 设三极管的 $\beta=100$, $V_{BE}=0.7V$, $V_{CE(sat)}=0.5V$, $I_{CEO}=0A$ 。输入信号 v_i 为正弦波。求:

- (1) 负载上可能得到的最大平均功率 P_{Lmax} 是多少?
- (2) 要得到最大输出功率, R_B 的阻值应为多大?
- (3) 此时电路的效率 η 是多大?



图题 6.2

(1) 先求出输出信号的最大不失真幅值。 $v_o = V_{OQ} + V_{om} \sin \omega t$

$$\text{由 } V_{OQ} + V_{om} \leq V_{CC} \quad V_{OQ} - V_{om} \geq V_{CES}$$

$$\text{得出: } 2V_{om} \leq V_{CC} - V_{CES} \quad \text{所以 } V_{om} = \frac{1}{2}(V_{CC} - V_{CES})$$

$$\text{因此最大不失真输出功率 } P_{om} = \left(\frac{V_{om}}{\sqrt{2}} \right)^2 \frac{1}{R_L} = \frac{(V_{CC} - V_{CES})^2}{8} \times \frac{1}{8} \approx 2.07W$$

$$(2) \text{ 静态时, } V_{OQ} = \frac{V_{CC} - V_{CES}}{2} + V_{CES} = \frac{1}{2}(V_{CC} + V_{CES})$$

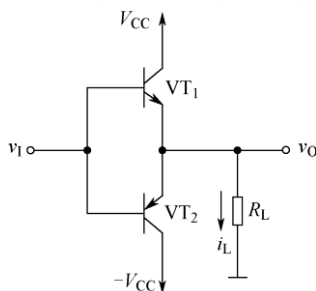
$$\text{所以, } I_{CQ} = \frac{V_{CC} - V_{OQ}}{R_L} = \frac{V_{CC} - V_{CES}}{2R_L} = \frac{12 - 0.5}{2 \times 8} A \approx 0.72A \quad I_{BQ} = \frac{I_{CQ}}{\beta} = 7.2mA$$

$$R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_{BQ}} = \frac{12 - 0.7}{7.2} k\Omega \approx 1.57k\Omega$$

$$(3) \quad \eta = \frac{P_{om}}{P_V} = \frac{P_{om}}{V_{CC} I_{CQ}} = \frac{2.07}{12 \times 0.72} \times 100\% \approx 24\%$$

6.4 如图题 6.3 所示的 B 类功率放大器, 已知 $V_{CC}=24V$, $R_L=8\Omega$, 若忽略管压降, 求电源功

率 P_S 、最大输出功率 P_{Omax} 和管耗 P_{D1} ，并选择功率三极管的参数。



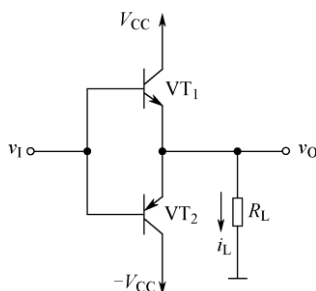
图题 6.3

$$\text{解: } P_{Omax} = \frac{U_{CC}^2}{2R_L} = \frac{24^2}{2 \times 8} = 36(W) \quad P_S = \frac{2U_{CC}^2}{\pi R_L} = \frac{2 \times 24^2}{\pi \times 8} \approx 45.8(W)$$

$$P_{D1} = \frac{1}{2}(P_S - P_o) = 0.5 \times (45.8 - 36) = 4.9(W) \quad P_{D1m} = 0.2P_{Omax} = 0.2 \times 36 = 7.2(W)$$

$$U_{(BR)CEO} > 2U_{CC} = 2 \times 24 = 48(V) \quad I_{CM} > \frac{U_{CC}}{R_L} = \frac{24}{8} = 3(A)$$

6.5 如图题 6.3 所示的 B 类功率放大器，已知 $P_{Lmax}=9W$ ， $R_L=8\Omega$ ，若忽略管压降，求电源功率 P_S 并选择功率三极管的参数。



图题 6.3

$$\text{解: 由 } P_{Omax} = \frac{U_{CC}^2}{2R_L} \text{ 得 } U_{CC} = \sqrt{2R_L P_{om}} = \sqrt{2 \times 8 \times 9} = 12(V)$$

$$\text{所以 } P_S = \frac{2U_{CC}^2}{\pi R_L} = \frac{2 \times 12^2}{\pi \times 8} \approx 11.5(W) \quad P_{D1m} = 0.2P_{Omax} = 0.2 \times 9 = 1.8(W)$$

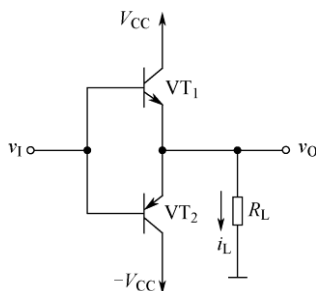
$$U_{(BR)CEO} > 2U_{CC} = 2 \times 12 = 24(V) \quad I_{CM} > \frac{U_{CC}}{R_L} = \frac{12}{8} = 1.5(A)$$

6.6 电路如图题 6.3 所示，晶体管在输入信号 v_I 作用下，在一个周期内 VT_1 和 VT_2 轮流导通，电源电压 $V_{CC}=20V$ ， $R_L=8\Omega$ ，试计算：

(1) 在输入信号 $V_I=10V$ （有效值）时，电路的输出功率、管耗、直流电源供给的功率和效率。

(2) 当输入信号 v_I 的幅值为 $V_{Im}=V_{CC}=20V$ ，电路的输出功率、管耗、直流电源供给的功率

和效率。



图题 6.3

解：（1）由于输入信号的有效值 $V_i = 10V$ ，所以输出信号的有效值 $V_o = 10V$ 。因此，

$$\text{电路的输出功率为 } P_o = \frac{V_o^2}{R_L} = \frac{10^2}{8} W = 12.5W$$

$$\text{直流电源供给的功率为 } P_V = \frac{2V_{CC}V_{om}}{\pi R_L} = \frac{2 \times 20 \times \sqrt{2} \times 10}{3.14 \times 8} W \approx 22.5W$$

$$\text{总的管耗为 } P_T = P_V - P_o = (22.5 - 12.5)W = 10W$$

$$\text{每管的管耗为 } P_{T1} = P_{T2} = \frac{P_T}{2} = 5W \quad \text{效率为 } \eta = \frac{P_o}{P_V} = \frac{12.5}{22.5} \times 100\% \approx 55.6\%$$

（2）当输入信号 v_i 的幅值为 $V_{im} = V_{CC} = 20V$ 时，输出电压的幅值

$$V_{om} = 20V \text{ 时，此时，电路的输出功率为 } P_o = \frac{V_{om}^2}{2R_L} = \frac{20^2}{2 \times 8} W = 25W$$

$$\text{直流电源供给的功率为 } P_V = \frac{2V_{CC}V_{om}}{\pi R_L} = \frac{2 \times 20 \times 20}{3.14 \times 8} W \approx 31.85W$$

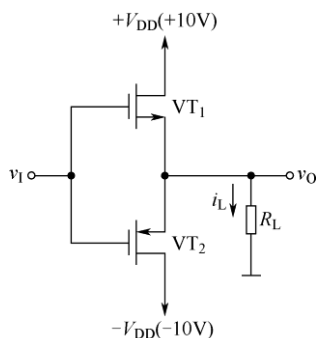
$$\text{总的管耗为 } P_T = P_V - P_o = (31.85 - 25)W = 6.85W$$

$$\text{每管的管耗为 } P_{T1} = P_{T2} = P_T / 2 = 6.85 / 2 W = 3.425W$$

$$\text{效率为 } \eta = \frac{P_o}{P_V} = \frac{25}{31.85} \times 100\% \approx 78.5\%$$

6.7 如图题 6.4 所示带互补 MOSFET 的 B 类输出级电路。晶体管参数为 $V_{in} = V_{tp} = 0$ ， $k'_n(W/L) = 0.8mA/V^2$ ， $R_L = 5k\Omega$ 。

- （1）试求使 VT_1 保持偏置在饱和区的最大输出电压。此种情况下的 i_L 和 v_i 值为多少？
- （2）若输出信号为对称正弦波，其峰值如（1）中所求的结果，试求相应的转换效率。



图题 6.4

解：（1）使 VT_1 保持偏置在饱和区的临界状态下， $v_{DS} = v_{GS} - V_m = v_{GS} - 0 = v_{GS}$

此时，输出电压 $v_O = V_{DD} - v_{DS} = 10 - v_{DS}$ ，则流过负载 R_L 的电流 $i_L = \frac{v_O}{R_L} = \frac{10 - v_{DS}}{5k}$ （1）

VT_1 工作时 VT_2 截止，则 $i_L = i_{D1} = \frac{1}{2} k'_n (W/L)(v_{GS} - V_m)^2 = 0.4v_{GS}^2 = 0.4v_{DS}^2$ （2）

联立（1）（2），可解得 $v_{DS} = 2V$ 或 $v_{DS} = -2.5V$ （舍去）

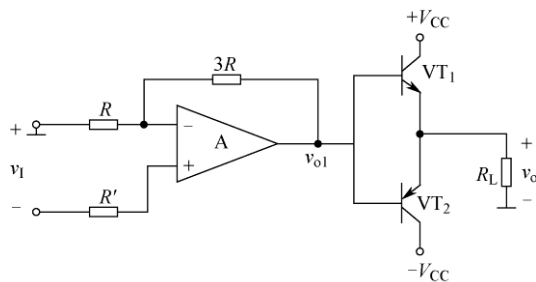
则 $v_O = 10 - v_{DS} = 10 - 2 = 8V$ ，此时 $v_I = v_{GS} + v_O = v_{DS} + v_O = 2 + 8 = 10V$ ， $i_L = \frac{v_O}{R_L} = \frac{8}{5k} = 1.6mA$

（2）峰值如（1）中所求结果，即 $V_{OM} = 8V$ ，此时 $\eta = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{V_{OM}}{V_{DD}} = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{8V}{10V} = 62.8\%$

6.8 电路如图题 6.5 所示，试求：

（1）运放的输出 v_{o1} 与输入 v_I 之间的函数表达式；

（2）设 $R_L = 8\Omega$ ，当电路的输出功率 $P_o = 1W$ 时，计算输出 v_o 的幅值 v_{om} ，并计算此时输入 v_I 的幅值 V_{Im} 。



图题 6.5

解：（1）运算 A 构成同相比值运算电路，则 $v_{o1} = \left(1 + \frac{3R}{R}\right)v_I = 4v_I$

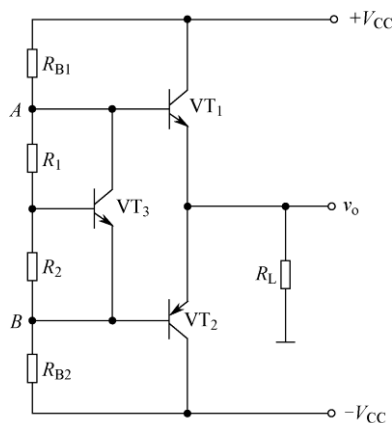
（2） VT_1 与 VT_2 构成乙类功放电路，则 $P_o = \frac{v_{om}^2}{2R_L} = 1W$

代入 $R_L = 8\Omega$ ，得 $v_{om} = 4V$ ，则 $v_{o1m} \approx v_{om} = 4V$ ，又由 $v_{o1} = 4v_I$ ，得 $v_{Im} = 1V$

6.9 在图题 6.6 所示电路中，设 VT_1 、 VT_2 管饱和压降 $V_{CE(sat)} = 0$ ， $I_{CEO} = 0$ ， VT_3 管发射结导通

压为 V_{BE3} ，试写出：

- (1) 电压 V_{AB} 的表达式；
- (2) 最大不失真输出功率表达式；
- (3) 确定功放管的极限参数；
- (4) 电路可能产生什么失真？
- (5) 如果要求静态时输出电压等于零，应调整哪个元件来实现？



图题 6.6

解：(1) 由于流入 VT_3 的基极电流小于流过 R_1 、 R_2 的电流，由分压定理可得

$$V_{BE3} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{AB}, \text{ 所以 } V_{AB} = (1 + R_1 / R_2) V_{BE3}.$$

(2) VT_1 、 VT_2 管构成 OCL 功放电路，代入相应参数计算公式可得结果。

$$\text{最大不失真输出功率表达式 } (P_o)_M = \frac{1}{2} \frac{V_{CC}^2}{R_L}$$

$$(3) \text{ 功放管的极限参数: 单管最大功耗 } (P_{V1})_M = \frac{1}{\pi^2} \frac{V_{CC}^2}{R_L}$$

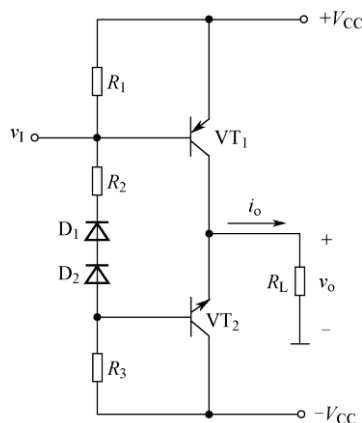
$$\text{最大允许集电极电流 } I_{CM} > \frac{V_{CC}}{R_L}$$

$$\text{反向电压 } U_{(BR)CEO} > 2V_{CC}$$

(4) 电路可能产生交越失真。

(5) 如果要求静态时输出电压等于零，应调整 R_{B1} 来实现。

6.10 功率放大器如图题 6.7 所示，设三极管 $\beta_1 = \beta_2 = 15$ ，电源电压 $V_{CC} = 16V$ ，负载 $R_L = 4\Omega$ ，BJT 饱和压降 $V_{CE(sat)} = 0V$ ，试求电路最大不失真输出功率、输出功率最大时的管耗及最大管耗、功率放大电路的效率和输入信号的功率。



图题 6.7

解：最大输出电流为 $I_{om} = \frac{U_{CC}}{R_L} = \frac{16}{4} = 4(A)$

最大输出功率为 $P_{om} = \frac{1}{2} I_{om} \times U_{cem} = \frac{1}{2} \times 4 \times 16 = 32(W)$

电源供给的直流功率为 $P_{DC} = \frac{2}{\pi} I_{om} \times U_{CC} = \frac{2}{\pi} \times 4 \times 16 \approx 40.7(W)$

输出功率最大时的管耗 $P_{VT_1} = P_{VT_2} = \frac{1}{2} (P_{DC} - P_{om}) = \frac{1}{2} \times (40.7 - 32) = 4.35(W)$

最大管耗 $P_{VT_{1m}} \approx 0.2 P_{om} = 0.2 \times 32 = 6.4(W)$

输入信号电流和电压的峰值分别为

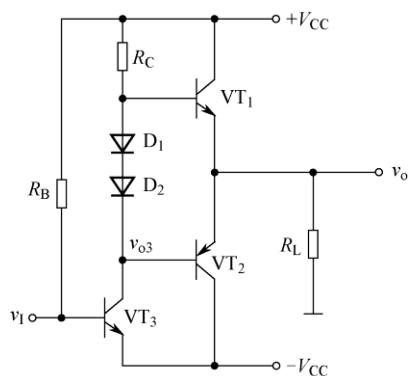
$$I_{im} = I_{bm} = \frac{I_{om}}{\beta} = \frac{4}{15} \approx 0.267(A) \quad U_{im} \approx U_{cem} = U_{CC} = 16(V)$$

所以，输入信号的功率应为 $P_i = \frac{1}{2} I_{bm} \cdot U_{cem} = \frac{1}{2} \times 0.267 \times 16 = 2.13(W)$

6.11 互补对称电路如图题 6.8 所示， $V_{CC}=20V$ ， $R_L=8\Omega$ ， VT_1 、 VT_2 管的饱和压降 $V_{CE(sat)}=2V$ 。

(1) 当 VT_3 管输出信号 $V_{o3}=10V$ (有效值) 时，计算电路的输出功率、管耗、直流电源供给的功率和效率；

(2) 计算该电路的最大不失真输出功率、效率、和所需的 V_{o3} 有效值。



图题 6.8

解：（1）该电路由两级放大电路组成，其中 VT_3 管电路为推动极， VT_1 与 VT_2 管组成互补对称功放电路。 VT_3 管的输出信号 V_{o3} 就是功放电路的输入信号电压。故当

$$V_{o3} = 10V \text{ (有效值) 时, 电路的输出功率为 } P_o = \frac{V_{o3}^2}{R_L} = \frac{10^2}{8} W = 12.5W$$

$$\text{直流电源供给的功率为 } P_V = \frac{2V_{CC}V_{om}}{\pi R_L} = \frac{2 \times 20 \times \sqrt{2} \times 10}{3.14 \times 8} W \approx 2.5W$$

$$\text{管耗为 } P_T = P_V - P_o = (2.5 - 12.5)W = 10W, \quad P_{T1} = P_{T2} = 5W$$

$$\text{效率为 } \eta = \frac{P_o}{P_V} = \frac{12.5}{2.5} \times 100\% \approx 55.6\%$$

（2）该电路的最大不失真输出功率为

$$P_{om} = \frac{1}{2} \frac{(V_{CC} - V_{CES})^2}{R_L} = \frac{1}{2} \times \frac{(20 - 2)^2}{8} W = 20.25W$$

$$\text{直流电源供给的功率为 } P_V = \frac{2V_{CC}V_{om}}{\pi R_L} = \frac{2 \times 20 \times (20 - 2)}{3.14 \times 8} W \approx 28.66W$$

$$\text{效率为 } \eta = \frac{P_o}{P_V} = \frac{20.25}{28.26} \times 100\% \approx 70.7\%$$

$$\text{所需的 } V_{o3} \text{ 的有效值为 } V_{o3} = \frac{V_{om}}{\sqrt{2}} = \frac{V_{CC} - V_{CES}}{\sqrt{2}} = \frac{20 - 2}{\sqrt{2}} V \approx 12.73V$$

功放电路的输出功率、效率，除与电路类型、电源电压等有关外，还与激励信号的大小有关。

6.12 有一个 BJT 的热阻为 $\theta_{JA} = 2^\circ C/W$ ，工作的环境温度为 $30^\circ C$ ，集射电压为 $20V$ 。长时间工作允许的最高结温为 $130^\circ C$ ，求相应的晶体管管耗，集电极电流的最大平均值是多少？

$$\text{解: } T_J - T_A = \theta_{JA} P_D, \quad 130^\circ - 30^\circ = 2 \times P_D, \quad P_D = 50W, \quad I_C = \frac{P_D}{V_{CE}} = \frac{50W}{20V} = 2.5A$$

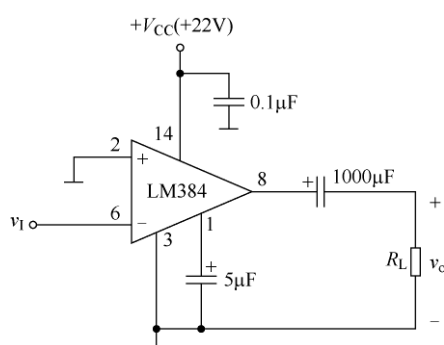
6.13 某功率管在 25°C 时的功耗为 200mW ，最大结温为 150°C ，求它的热阻 θ_{JA} 。如果工作在 70°C 的环境温度下，它的功耗应该是多少？若环境温度为 50°C ，此时的管耗是 100mW ，求此时的结温。

$$\text{解: } T_J - T_A = \theta_{JA} P_D, \theta_{JA} = \frac{150^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C}}{200\text{mW}} = 625^{\circ}\text{C/W}, P_D = \frac{150^{\circ}\text{C} - 70^{\circ}\text{C}}{625^{\circ}\text{C/W}} = 0.128\text{W},$$

$$T_J = 0.1\text{W} \times 625^{\circ}\text{C/W} + 50^{\circ}\text{C} = 112.5^{\circ}\text{C}$$

6.14 一个集成功放 LM384 组成的功率放大器如图题 6.9 所示。已知电路在通带内的电压增益为 40dB ，在 $R_L=8\Omega$ 时最大输出电压（峰-峰值）可达 18V ，当 v_i 为正弦信号时，求：

- (1) 最大不失真输出功率 $P_{O\max}$ ；
- (2) 输出功率最大时的输入电压有效值。



图题 6.9

$$\text{解: (1) } P_{O\max} = \frac{1}{2} \frac{V_{om}^2}{R_L} = \frac{1}{2} \times \frac{(18/2)^2}{8} \text{W} \approx 5.1\text{W}$$

(2) 由于 $V_{om} = 18/2 = 9\text{V}$ ，而 $20\lg A_v = 40\text{dB}$ ，即 $A_v = 100$ ，所以

$$V_{im} = \frac{V_{om}}{A_v} = \frac{9}{100} \text{V} = 0.09\text{V} \quad V_i = \frac{V_{im}}{\sqrt{2}} = \frac{0.09}{\sqrt{2}} \text{V} \approx 64\text{mV}$$