



“模拟电子技术基础”考试试卷(A 卷)

考试方式: 闭卷 考试日期: 2023.2.14 考试时长: 150 分钟

专业班级: _____ 学 号: _____ 姓 名: _____

题号	一	二	三	四	五	六	七	总分
满分	10	24	10	12	16	20	8	100
得分								

分 数	
评卷人	

1、(10 分)

电路如图 1 所示, 假设所有运算放大器均为理想的。

- (1) 求 $v_o = f(v_i)$ 的关系式;
- (2) 若 $v_i = 1V$, 试求图中电流 i_o 的值。

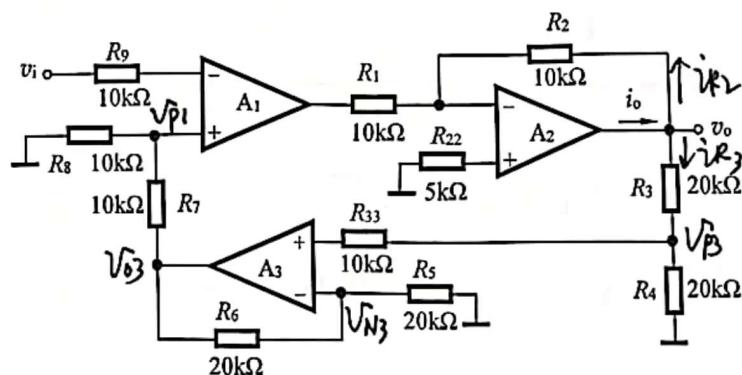


图 1

Sol:

$$(1) v_i = v_{p1}$$

$$v_{p1} = v_{o3} \cdot \frac{R_8}{R_8 + R_7} = \frac{1}{2} v_{o3}$$

$$v_{N3} = v_{o3} \cdot \frac{R_5}{R_5 + R_6} = \frac{1}{2} v_{o3} = v_{p3}$$

$$v_{p3} = v_o \cdot \frac{R_4}{R_3 + R_4} = \frac{1}{2} v_o \quad \therefore v_o = 2v_i$$

$$(2) v_i = 1V, \quad \therefore v_o = 2V. \quad i_o = i_{R2} + i_{R3} = \frac{2-0}{10k} + \frac{2-0}{40k} = 0.25mA$$

分 数	
评卷人	

2、(24 分)

放大电路如图 2 所示。已知 MOSFET 的 $K_n=1\text{mA/V}^2$, $\lambda=0$, $V_{TN}=2\text{V}$, 设通带内电容可视为交流短路。

- (1) 求静态工作点 Q (即 I_{DQ} 、 V_{GSQ} 、 V_{DSQ})，并判断 MOSFET 工作在哪个区；
- (2) 画出电路的小信号等效电路，要标出受控源的控制量和受控量；
- (3) 求电路的输入电阻 R_i 和输出电阻 R_o 的值，并说明电路中电阻 R_{g3} 的作用；
- (4) 求互导 g_m 、 $A_v=v_o/v_i$ 和 $A_{vs}=v_o/v_s$ 的值；
- (5) 若想降低该电路的下限截止频率 f_L ，应该首先调节哪个电容 C_1 、 C_2 、 C_3 ？
- (6) 说明电路中电阻 R_1 、 R_2 引入的反馈的类型和作用？

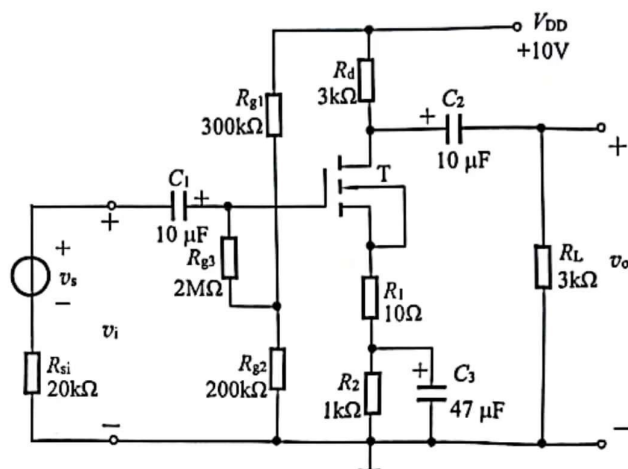


图 2

$$(1) V_{GQ} = \frac{R_{g2}}{R_{g1} + R_{g2}} \cdot V_{DD} = \frac{200k}{200k + 300k} \cdot 10 = 4V.$$

$$V_{SQ} = I_{DQ}(R_1 + R_2) \quad \because R_2 \gg R_1 \quad \therefore V_{SQ} \approx I_{DQ} \cdot R_2$$

$$V_{GSQ} = V_{GQ} - V_{SQ} = 4 - I_{DQ}$$

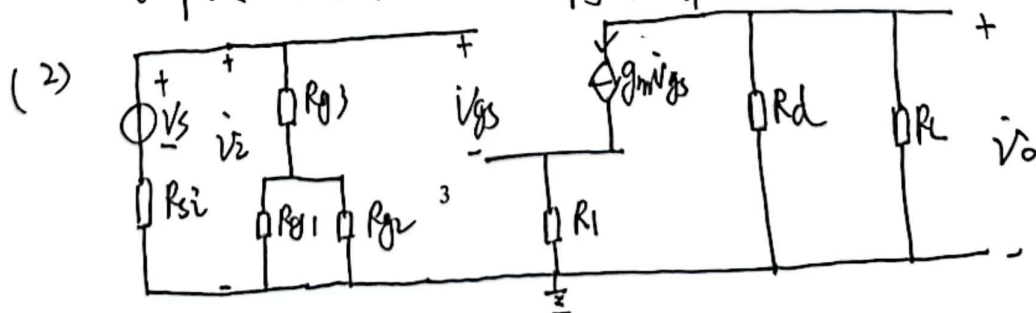
$$\text{假设 MOSFET 工作在饱和区, 有: } I_{DQ} = K_n (V_{GSQ} - V_{TN})^2$$

$$\therefore I_{DQ} = 1 \cdot (4 - I_{DQ} - 2)^2 \quad \therefore I_{DQ1} = 1\text{mA}, I_{DQ2} = 4\text{mA} (\text{舍去})$$

$$V_{GSQ} = 3V, \quad V_{DSQ} = V_{DD} - I_{DQ}(R_d + R_1 + R_L)$$

$$\approx V_{DD} - I_{DQ}(R_d + R_L) = 10 - 1 \times (3 + 1) = 6V \gg V_{GSQ} - V_{TN}$$

$$\therefore Q\text{-pt}(1\text{mA}, 3V, 6V), T \text{ 工作在饱和区.}$$



$$(3) R_i = R_{g3} + R_{g1} \parallel R_{g2} = 2000k + 300k \parallel 200k = 2120k\Omega.$$

$$R_o = R_d = 3k\Omega.$$

R_{g3} 提高输入电阻

$$(4) g_m = 2k_n(V_{gsQ} - V_{TN}) = 2\sqrt{K_n I_{DQ}} = 2mS$$

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{-g_m(R_d \parallel R_L)}{1 + g_m R_1} = \frac{-2 \times (3k \parallel 3k)}{1 + 2 \times 0.01} \approx -2.94$$

$$A_{vS} = A_v \cdot \frac{R_i}{R_i + R_{Si}} = A_v \cdot \frac{2120k}{2120k + 20k} \approx A_v = -2.94.$$

(5) f_L 降低, 首先增大 C_3 .

(6) R_1 引入了直流和交流反馈, 主要是交流负反馈, 减小增益, 拓展带宽
 R_2 引入了直流反馈, 用于稳定静态工作点

分 数	
评卷人	

3、(10分)

电路如图3所示, MOSFET的参数为 $V_{TN} = -V_{TP} = 1V$, $K_n = K_p = 1mA/V^2$,

$\lambda_n = \lambda_p = \lambda = 0.01 V^{-1}$, 若电路的差模电压增益 $|A_{vd}| = |v_o/v_{id}| = 200$, 共模抑制

比 $K_{CMR} = 500$ 。当输入电压 $v_{i1} = v_{i2} = 0$ 时, 输出 $v_o = 0$ 。确定电路中电阻 R 、 R_{d1} 、 R_{d2} 和 R_{d3} 的阻值。

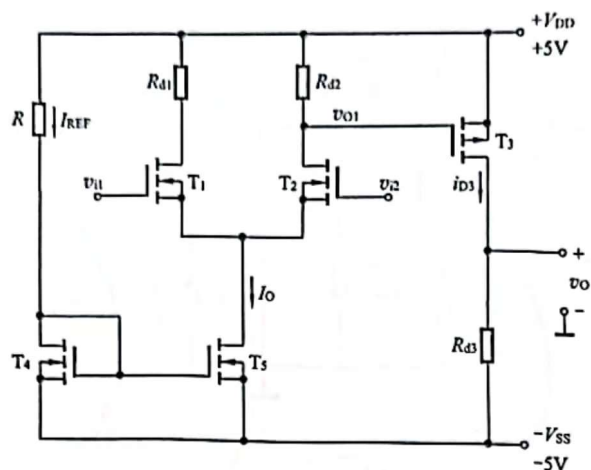


图 3

解: $g_m = 2\sqrt{K_n I_{OQ}} = 2\sqrt{K_n \cdot \frac{I_{OQ}}{2}} = \sqrt{2K_n \cdot I_{OQ}}$

R 、 T_4 、 T_5 电流源 $V_O = V_{DSS} = \frac{1}{\lambda I_O}$

而 $K_{CMR} \approx g_m V_O = 500 \quad \therefore I_O = \left(\frac{\sqrt{2K_n}}{500\lambda} \right)^2 = 0.08mA$

$\therefore g_m = \sqrt{2K_n I_{OQ}} = 0.4mS, I_{O1Q} = I_{O2Q} = 0.04mA$

$V_{DS1} = V_{DS2} = \frac{1}{\lambda I_{OQ2}} = 2500k\Omega \gg R_{d2} = R_{d1}$, 可忽略不计。

$I_{OQ} = K_n (V_{GSQ} - V_{TN})^2 \quad \therefore V_{GS2Q} = 1.2V$

$V_{GS4Q} = V_{GS5Q} = 1.28V. \quad R = \frac{V_{DD} - V_{GS4Q}}{I_O} = 109k\Omega$

$A_{vd1} \approx g_{m1} R_{d2} \quad A_{v2} = -g_{m3} R_{d3}$

$v_{i1} = v_{i2} = 0, v_o = 0, \therefore I_{O3Q} R_{d3} = 0 - (-V_{SS}) = 5V$

$I_{O3Q} = K_p (V_{GS3Q} - V_{TP})^2, g_{m3} = -2K_p (V_{GS3Q} - V_{TP})$

联立得: $R_{d1} = R_{d2} = 50k\Omega, R_{d3} = 5k\Omega$

$I_{O3Q} = 1mA, V_{GS3Q} = -2V, g_{m3} = 2mS$

分 数	
评卷人	

4、(12分)

电路如图4所示，

(1) 若要稳定电路的输出电流，试通过反馈电阻 R_f 引入合适的负反馈，判断电路级间交流反馈的组态和极性（注意在图上标明瞬时极性）；

(2) 设电路满足深度负反馈，求其闭环增益和闭环源电压增益。

(3) 若 i_o 的方向如图中虚线箭头所示，此时的闭环增益和闭环源电压增益如何变化。

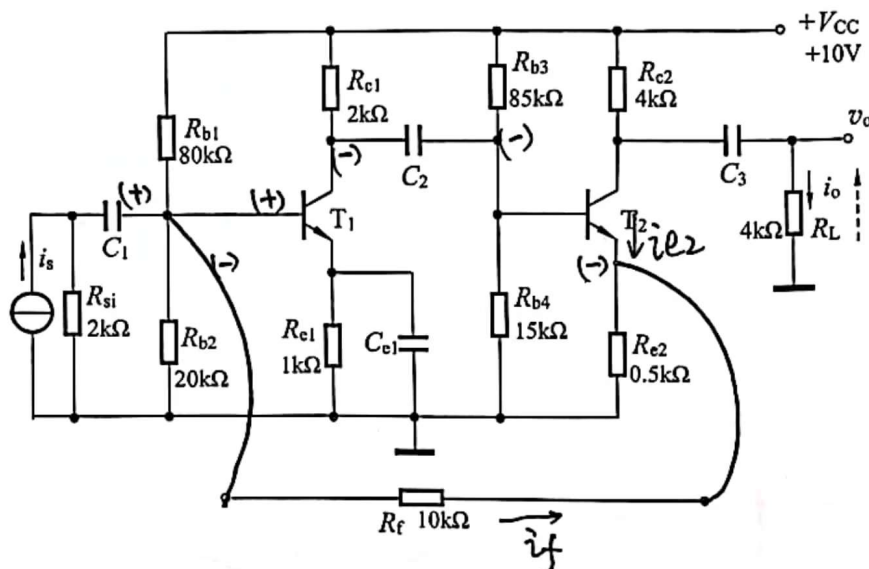


图4

(1) 电流并联负反馈. shunt-series, neg.

$$(2) A_{if} = \frac{i_o}{i_i} \quad i_o = -i_{e2} \cdot \frac{R_{c2}}{R_{c2} + R_L} = -0.5 i_{e2}$$

$$i_f = -i_{e2} \cdot \frac{R_{e2}}{R_{e2} + R_f} = -i_{e2} \cdot \frac{0.5}{0.5 + 10}$$

$$A_{if} = \frac{i_o}{i_i} = \frac{i_o}{i_f} = \frac{-0.5 i_{e2}}{-i_{e2} \cdot \frac{0.5}{0.5 + 10}} = 10.5$$

$$A_{vsf} = \frac{v_o}{v_s} = \frac{i_o \cdot R_L}{i_i \cdot R_{si}} = \frac{i_o}{i_i} \cdot \frac{R_L}{R_{si}} = 10.5 \times \frac{4}{2} = 21$$

(3) 若 i_o 反向, A_{if} 反向.
 A_{vsf} 不变.

分 数	
评卷人	

5、(16 分)

电路如图 5 所示，

(1) 说明图 (b) 电路中二极管 D_1 、 D_2 的作用；

(2) 假设 T_1 、 T_2 管的饱和压降为 $V_{CES}=2V$ ，求此时负载可能获得的最大功率？并求此时 T_1 或 T_2 管的最大管耗？当负载获得最大功率时， T_1 、 T_2 管工作于哪个区（截止、放大、饱和）；并选择合适的功放管（ P_{CM} 、 I_{CM} 、 $|V_{(BR)CEO}|$ ）；

(3) 为了克服图 (a) 电路驱动电流过小的缺点，希望在不增加和减少任何元器件的情况下，改变图中电阻 R_f 的位置，与图 (b) 组合，引入负反馈，试画出反馈通路的连线，并说明该反馈组态，并计算满足深度负反馈条件下的闭环增益。

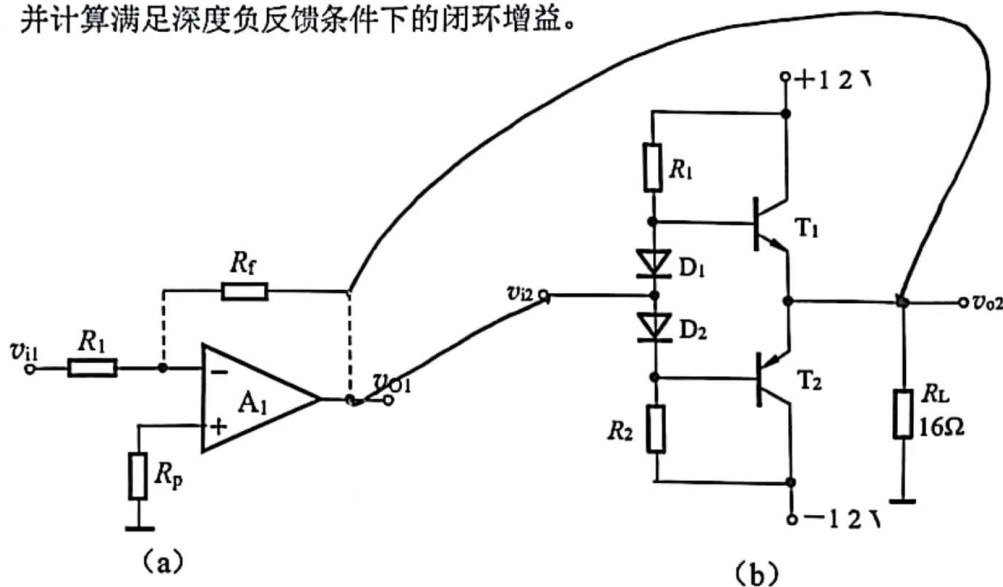


图 5

(1) 消除交越失真

$$(2) P_{om} = \frac{(V_{CC} - V_{CES})^2}{2R_L} = \frac{(12-2)^2}{2 \times 16} = 3.125W$$

$$P_{T1m} = P_{T2m} = 0.2P_{om} = 0.625W$$

饱和区. $P_{CM} > 0.625W$

$$I_{CM} > \frac{12-2}{16} = 0.625A \quad |V_{(BR)CEO}| > 2V_{CC} - V_{CES} = 22V$$

(3) 电压并联负反馈

$$A_{rf} = \frac{v_o}{v_i} = \frac{v_o}{v_{if}} = -R_f$$

分 数	
评卷人	

6、(20 分)

波形产生电路如图 6 所示，运算放大器均为理想的。

(1) 为使电路满足起振的相位条件，标出 A_1 的同相输入端和反相输入端？

(2) 为使电路满足起振的幅度条件， R_3 应该满足什么条件？

(3) 试求 $F(s)=v_f(s)/v_{o1}(s)$ ，并求正弦波 v_{o1} 的振荡频率；

(4) 画出 v_{o1} 与 v_{o2} 的传输特性曲线，标明关键参数值；

(5) 若电路中电阻 R_2 开路或者短路， v_{o1} 的波形将如何变化；

(6) 若运算放大器 A_2 的输出电压为 $\pm 12V$ ，稳压管 D_z 正常稳压时最大电流为 $20mA$ ，计算限流电阻 R_7 的最小值；

(7) 为了保证输出电压 v_{o3} 为三角波，电容 C_2 的取值该如何考虑？

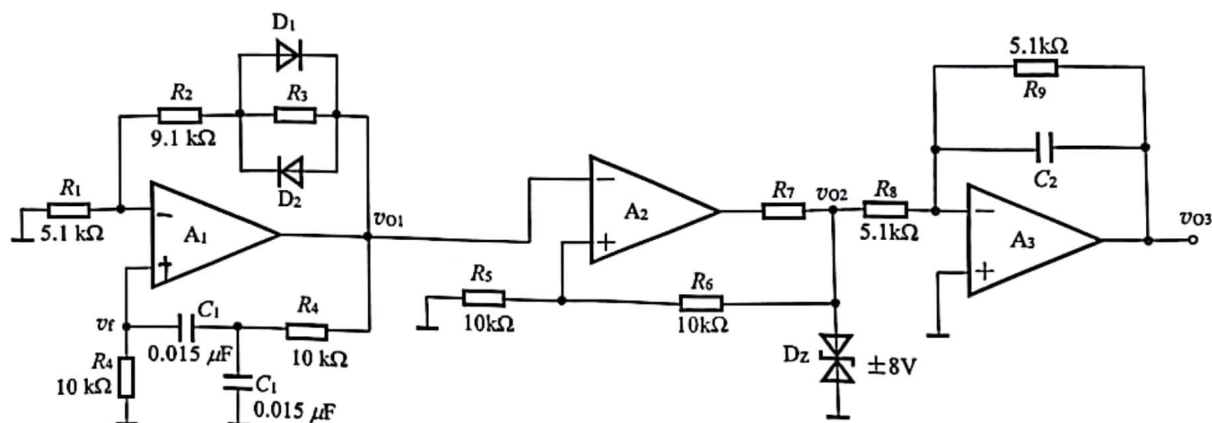


图 6

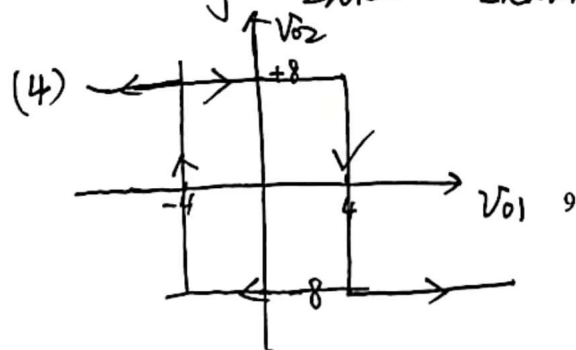
(1) 如图示。上-下+

$$(2) A_{f1} = 1 + \frac{R_3 + R_2}{R_1} > 3 \quad \therefore R_3 > 1.1 k\Omega$$

$$(3) \frac{v_f(s)}{v_{o1}(s)} = \frac{SRC}{1 + 3SRC + (SRC)^2} \quad T(s) = \left(1 + \frac{R_3 + R_2}{R_1}\right) \cdot \frac{SRC}{1 + 3SRC + (SRC)^2}$$

$$T(j\omega) = \left(1 + \frac{R_3 + R_2}{R_1}\right) \left[\frac{j\omega RC}{1 - \omega^2 R^2 C^2 + j\omega RC} \right] \quad \therefore 1 - \omega^2 R^2 C^2 = 0$$

$$\therefore f = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi \times 10k \times 0.015\mu F} = 1061 (Hz)$$



(5) R_2 短路 不振

R_2 开路 失真三角波

$$(6) I_{R7} = I_Z + I_{R6} = 20\text{mA} + \frac{8-0}{20\text{k}} = 20.4\text{mA} = \frac{12-8}{R7}$$

$$R7 > \frac{12-8}{20.4\text{mA}} = 196(\Omega)$$

(7) C_2 尽可能大。

分 数	
评卷人	

7、(8 分)

图 7 所示电路为输出-9V 的稳压电路。已知稳压管 D_z 的稳定电压 $V_z = 5.3V$ ，三极管 T_3 的 $V_{BE} = -0.7V$ ，整流滤波的电压关系按 1.2 计算。

- (1) 图中存在两个错误，请指出并在原图中改正；
- (2) 求电阻 R_3 的值；
- (3) 说明图中电阻 R_1 的作用；
- (4) 若将虚线框中的元件用集成三端稳压芯片代替，试选择合适的型号。

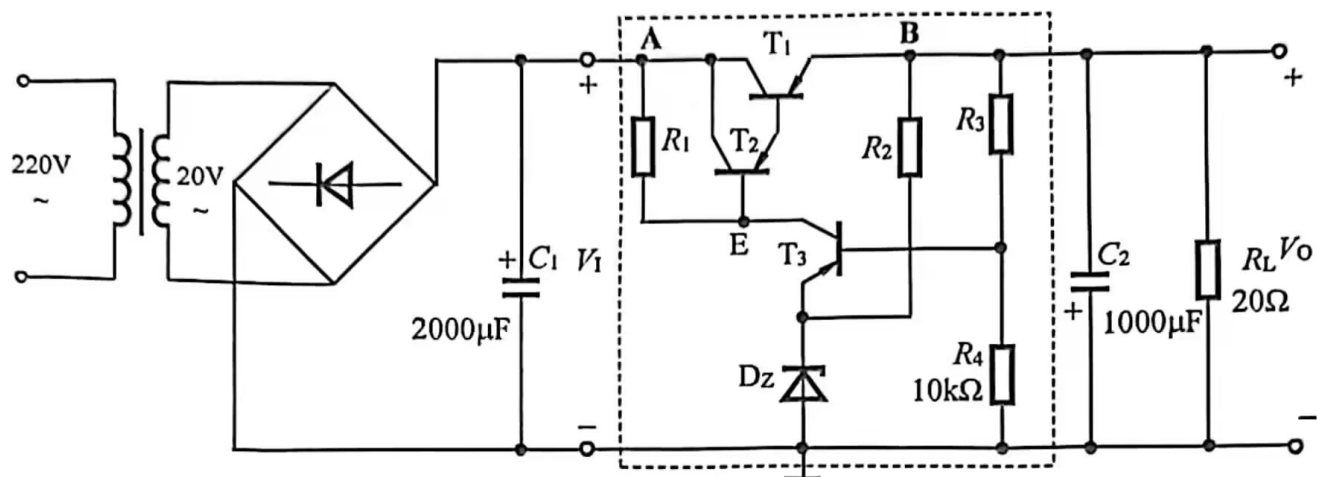


图 7

(1) C_1 , D_z 接反

$$(2) \frac{R_3 + R_4}{R_4} = \frac{9}{5.3 + 0.7} \Rightarrow R_3 = 5k\Omega$$

(3) R_1 限流电阻

(4) 7809