

中国科学技术大学
2014 年秋季学期考试试卷 (A 卷)

考试科目: 线性电子线路

得分: _____

学生所在系: _____ 姓名: _____ 学号: _____

(提示: 请在答题纸上答题, 试卷上答题无效)

一、填空题 (每空 1 分, 共 14 分)

1. 已知某线性电路的系统函数为 $A(s) = \frac{10s}{(s+10)(s+500)}$, 则该电路的中频增益为 _____, 其 3dB 下截止频率为 _____ rad/s。
2. 用砷原子 (元素周期表中第 V 族元素) 对硅材料掺杂, 可形成 _____ 型半导体, 该材料中多数载流子为 _____。
3. 某放大电路选用的晶体管参数为 $\beta_0 = 50$, $C_c = 0.2\text{pF}$, $f_T = 200\text{MHz}$, 在室温下测得该管的发射极静态电流 $I_{EQ} = 2\text{mA}$, 则 $f_\beta =$ _____ MHz, 电容 $C_\pi =$ _____ pF。
4. N 沟道耗尽型 MOSFET 的参数为 $V_{PG} = 2\text{V}$, $K_n = 1.5\text{mA/V}^2$, 若测得当 $V_{GS} = 0$ 时 $V_{DS} = 3.6\text{V}$, 则该晶体管偏置在 _____ 区, 此时漏极电流 $I_D =$ _____ mA。
5. 具有 20dB 共模抑制比的某射级耦合差分放大器, 已知 $A_d = -200$, 输入 $V_1 = 20\text{mV}$, $V_2 = 10\text{mV}$, 则等效共模输入电压为 _____ mV, 反相端输出电压 $V_o =$ _____ mV。
6. 由电流串联负反馈放大器驱动一纯阻负载 $R_L = 2\text{K}\Omega$, 已知其闭环电压增益 $A_{vf} = 120$, 若放大器开环增益 $A_g = 2000\text{mS}$, 则反馈函数 $F_r =$ _____ Ω , 反馈深度为 _____。
7. 某反相运放基本电路的电压增益为 -50, 所用运放的输入失调电压为 2.5mV, 其他参数均为理想值, 若使输出电压为零, 则输入信号应为 _____ mV, 而当输入 20mV 电压信号时, 输出电压为 _____ mV。

二、计算题 (86 分)

1. (10 分) 图 1 所示电路用来为汽车收音机提供 $V_Z = 9\text{V}$ 的稳定电压, 已知汽车电池的电压 V_{DD} 在 11~13.6V 之间波动, 收音机中的电流可变范围为 0~100mA, 且稳压二极管 D_Z 允许的最大额定电流与最小额定电流之间满足 $I_{Z\max} = 0.1I_{Z\min}$ 。试分别计算 D_Z 上和限流电阻 R 上允许消耗的最大功率。
2. (12 分) 观察图 2 所示电路, 已知晶体管 T 的参数 $\beta = 100$, 发射结导通电压 $V_{BEON} = 0.7\text{V}$, 饱和压降 $V_{CES} = 0.3\text{V}$, $r_b = 0$, $r_c' = \infty$, 其它参数如图所示。测得电路中的静态电流 $I_{CQ} = 0.25\text{mA}$, $V_{CEQ} = 3\text{V}$ 。
(1) 试判断晶体管工作状态, 并计算电阻 R_C 和 R_E ;
(2) 画出中频交流等效电路, 分析该电路的中频电压增益 A_v 。

3. (14分) 图3所示电路中, A_1 和 A_2 均为理想运算放大器。
- (1) 请推导该电路输出电压 V_o 与输入电压 V_1 和 V_2 之间的关系;
 - (2) 试分析该电路的共模抑制比, 并指出使共模抑制比无穷大的条件。
4. (16分) 图4为恒流源偏置的场效应管放大电路, 已知 $I_{DQ} = 1\text{mA}$, $R_G = 500\text{K}\Omega$, 绝缘栅型场效应管 T 的参数为 $V_T = 2\text{V}$, $I_{D0} = 1\text{mA}$, $r_{ds} = 100\text{K}\Omega$ 。
- (1) 请计算静态工作点 I_{DQ} 和 V_{DSQ} ;
 - (2) 试求输出阻抗 R_o ;
 - (3) 若要求产生的中频电压增益为负载开路时的一半, 计算所需的负载阻值。
5. (16分) 室温下, 由电流源偏置的差动放大电路如图5所示, 已知晶体管 T_1 与 T_2 参数完全相同: $\beta = 60$, $r_b = 100\Omega$, $r'_c = \infty$ 。电流源交流内阻为 r_o , $R = 1\text{K}\Omega$, $R_C = 5\text{K}\Omega$ 。
- (1) 若该电流源的交流内阻 $r_o = 20\text{K}\Omega$, 请分别计算该电路的差模增益和共模增益;
 - (2) 若为理想电流源 ($r_o = \infty$), 试求当 $V_1 = 15\text{mV}$, $V_2 = -5\text{mV}$ 时电路的输出电压 V_o 。
6. (18分) 某放大器 A 的开环增益函数 $A(s) = \frac{10^{23}}{(s+10^5)(s+10^6)(s+10^7)}$, 由其构成的深度负反馈电路如图6所示。
- (1) 请画出反馈网络, 并判断该电路的反馈类型;
 - (2) 若 $R_2 = 100\Omega$, 试求该电路的闭环中频电压增益 A_{Vf} ;
 - (3) 若 R_2 阻值可调, 求使该电路稳定工作的最小 R_2 。

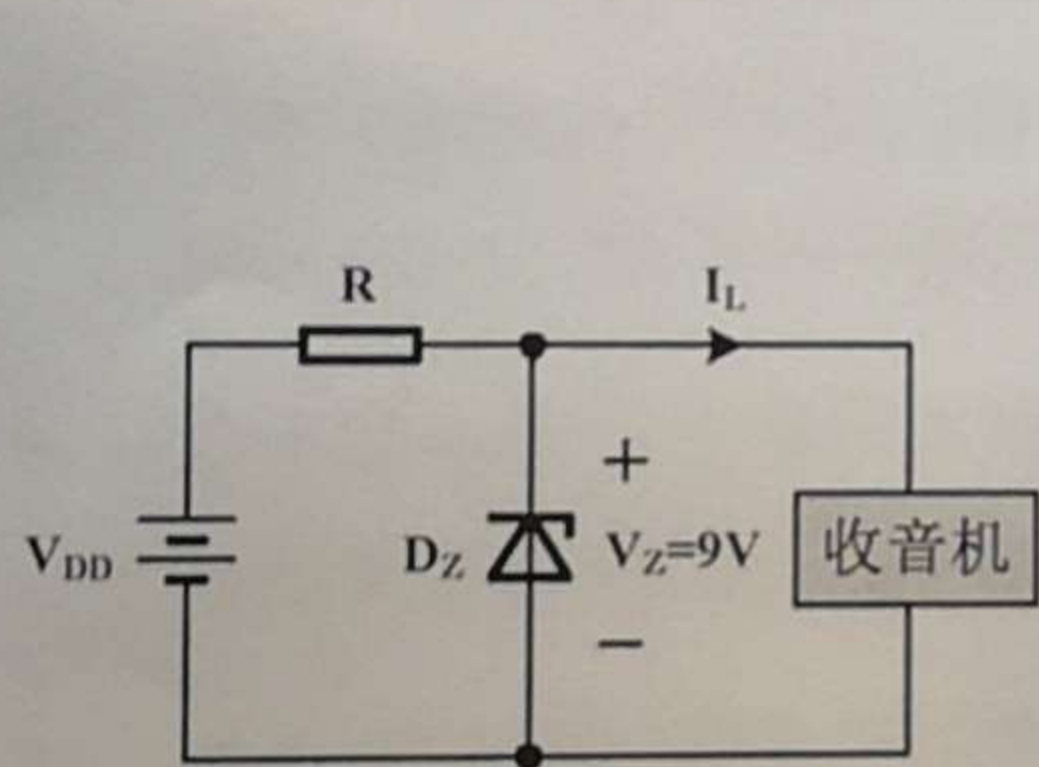


图1

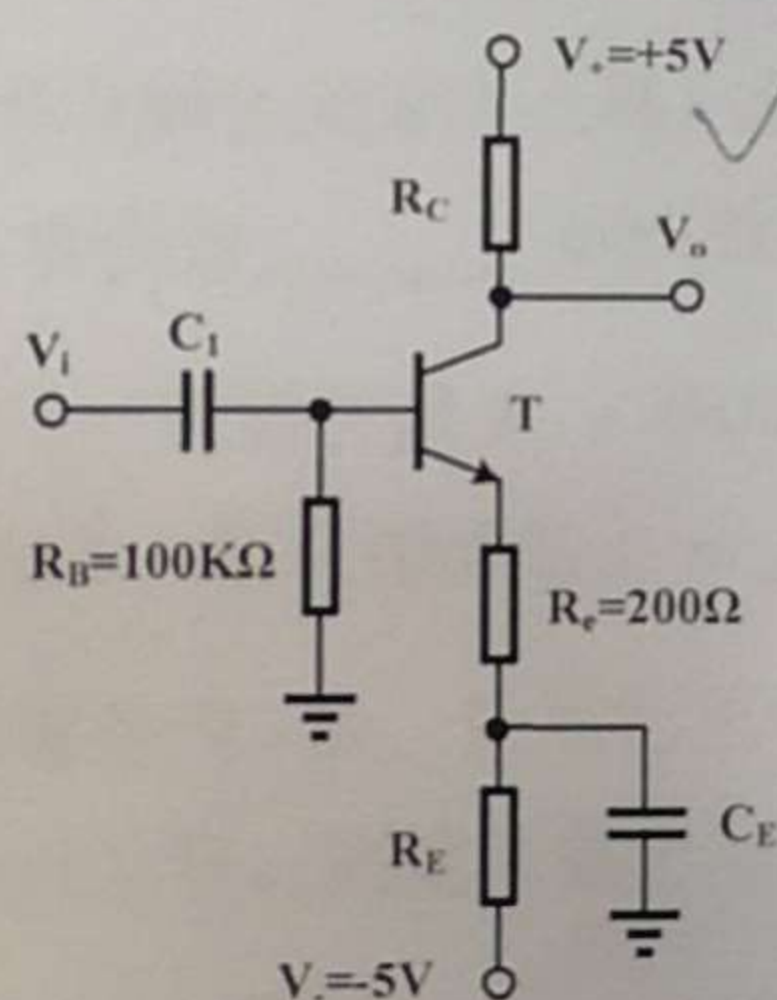


图2

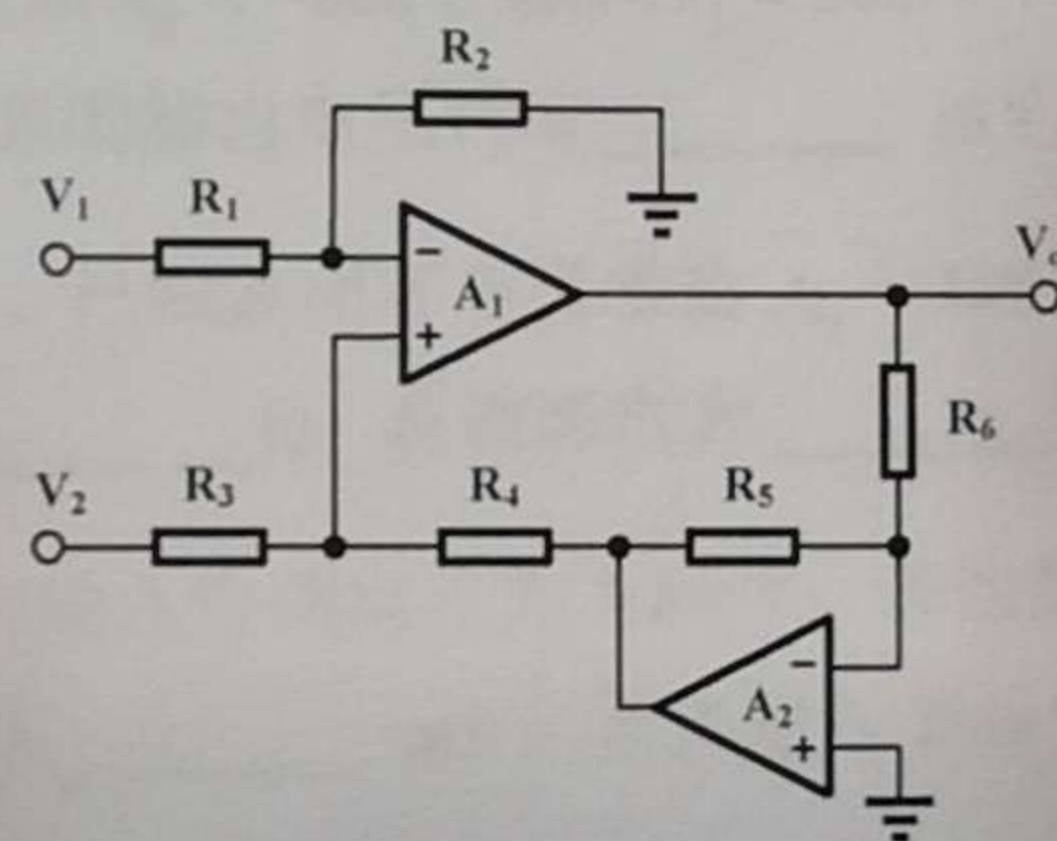


图3

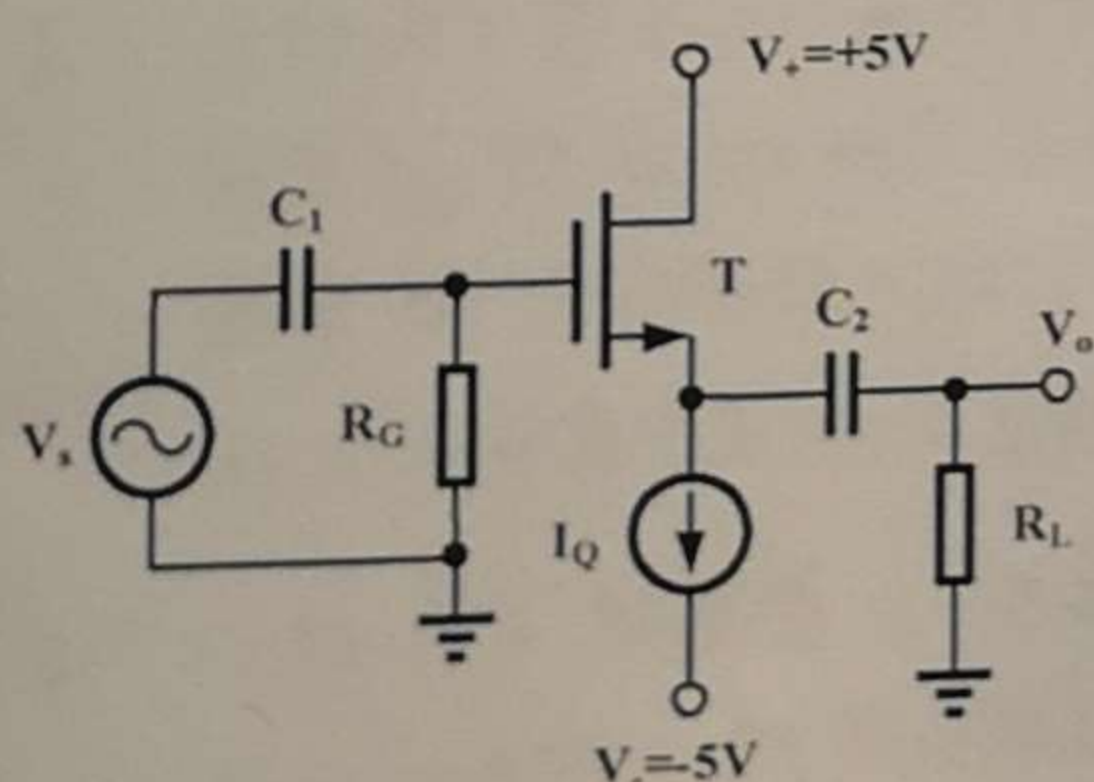


图4

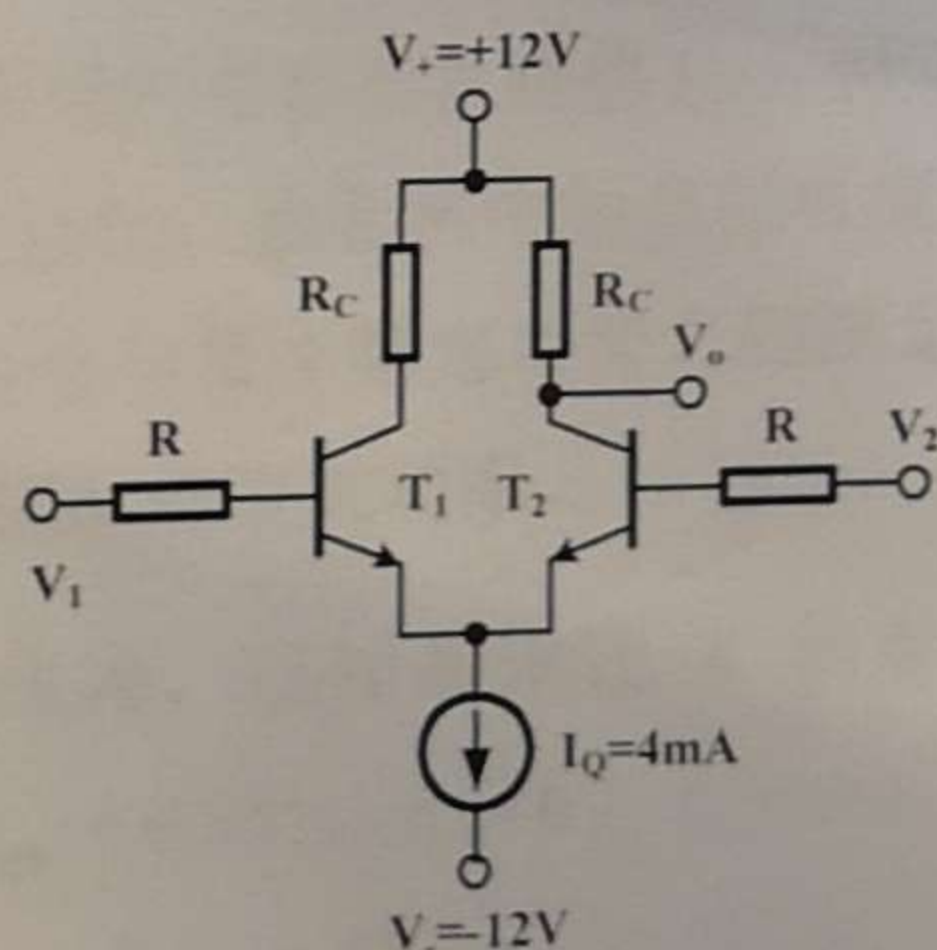


图5

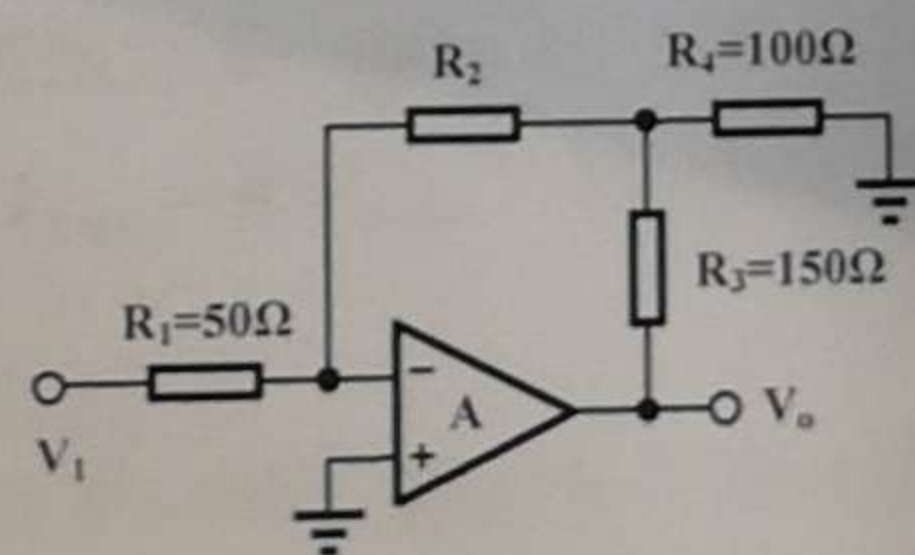


图6

中国科学技术大学

2014 年秋季学期试卷答案 (A 卷)

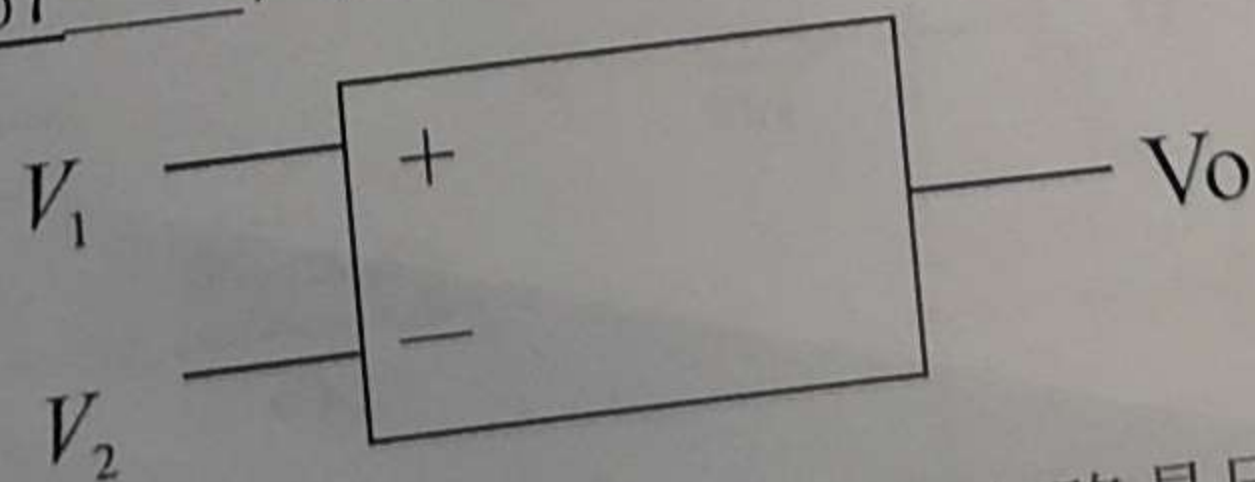
考试科目: 线性电子线路 (B)

得分: _____

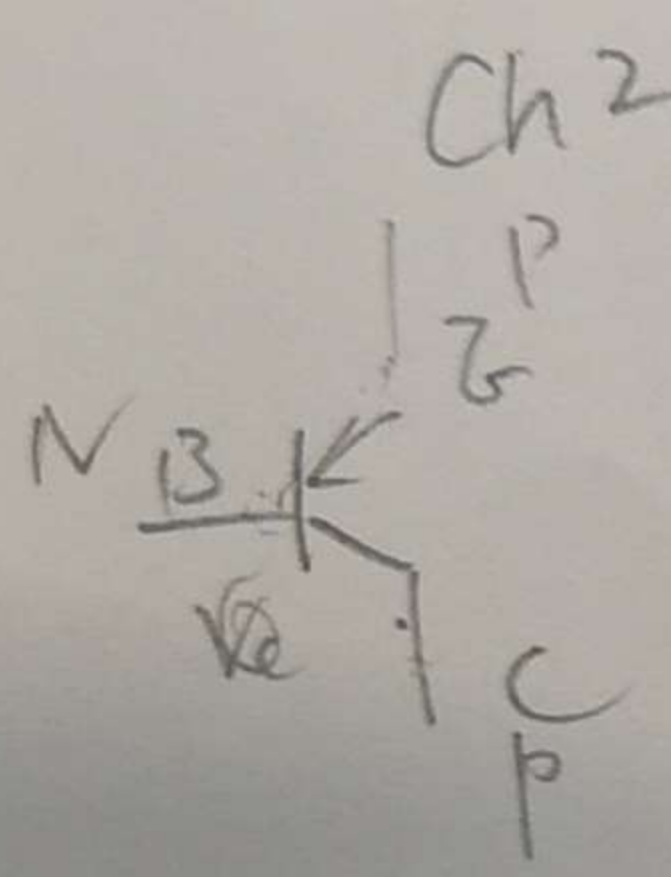
学生所在系: _____ 姓名: _____ 学号: _____

一. 选择填空 (每空 2 分, 共 20 分)

1. 室温下, 当温度升高时, P 型半导体中自由电子浓度将 增加 (增加, 减少, 基本不变)。
2. 工作在放大状态的 PNP 型晶体管, 各电极电位关系为 $V_C < V_B < V_E$ ($V_C < V_B < V_E$, $V_C > V_B > V_E$, $V_C < V_E < V_B$, $V_C > V_E > V_B$)。
3. 当某放大电路负载变化很大时, 输出电压基本不变, 说明该电路输出电阻 很小 (电压增益很大, 电压增益很小, 输出电阻很大, 输出电阻很小)。
4. 一个双极型晶体管构成的单极共射放大电路, 若负载电阻 R_L 变大, 则电压增益的大小 $|A_V|$ 将 增加 (增加, 减小, 不变), 带宽将 减小 (增加, 减小, 不变)。
5. P 沟道增强型 MOSFET 开启电压为 $-1V$, 若工作在饱和区, 则要求 V_{GS} 与 V_{DS} 电压范围各为 $V_{GS} < -1V$ 且 $V_{DS} < V_{GS} + 1V$ 。
6. 两级放大器级联, 已知每级放大器 3dB 截止频率 $\omega_{L1} = \omega_{L2} = 100Hz$, 则整个放大器的 3dB 截止频率 = 156Hz。
7. 单端输出的差动放大器如图所示, 当 V_1 加 10mV 直流信号、 V_2 接地时的输出为 5V; 当 V_1 接地、 V_2 加 15mV 直流信号时输出为 -7V, 则差动放大器差模电压增益 = 967, 共模抑制比 = 29。



8. 集成运算放大器第一级一般采用差分放大电路是因为 抑制零点漂移 (温度漂移)。



$$CE = -\frac{\beta R_c'}{h_{ie}}$$

$$C_i \uparrow \rightarrow f_{bd} \downarrow$$

$$S_n = \sqrt{2^n - 1}$$

$$100 \times \sqrt{2^2 - 1} = 156.12$$

$$V_1 = 10mV, V_2 = 0 \rightarrow V_o = 5V$$

$$V_1 = 0, V_2 = 15mV \rightarrow V_o = -7V$$

$$A_d = \frac{V_o}{V_d} = \frac{5V}{5mV} = 1000$$

$$A_c = \frac{V_o}{V_c} = \frac{-7V}{7.5mV} = -933$$

$$K_{CMR} = \frac{A_d}{|A_c|} = \frac{1000}{933} = 1.07$$

二. (12分) 观察图示电路, 已知晶体管T的参数 $\beta = 100$, 发射结导通电压 $V_{BE(on)} = 0.7V$, 饱和压降 $V_{CES} = 0.3V$, $r_b = 0\Omega$, $r_c' = \infty$, 其它参数如图所示。测得电路中的静态电流 $I_{CQ} = 0.25mA$, $V_{CEQ} = 3V$ 。

- (1) 试判断晶体管工作状态, 并计算电阻 R_C 和 R_E ;
- (2) 画出中频交流等效电路, 分析该电路的中频电压增益 A_V 。

解: 1) 发射级正偏且 $V_{CEQ} > V_{CES}$, 故处于放大状态。

$$V_{BQ} = 0 - 100 \times \left(\frac{I_{CQ}}{\beta} \right) = -0.25V$$

$$V_{EQ} = V_{BQ} - V_{BE(on)} = -0.95V$$

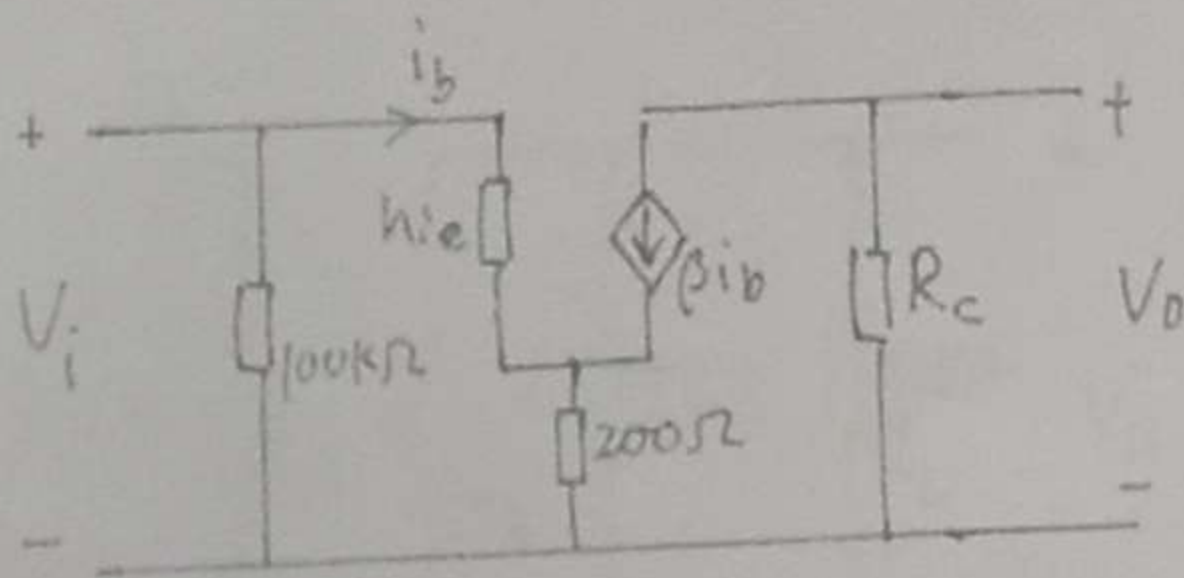
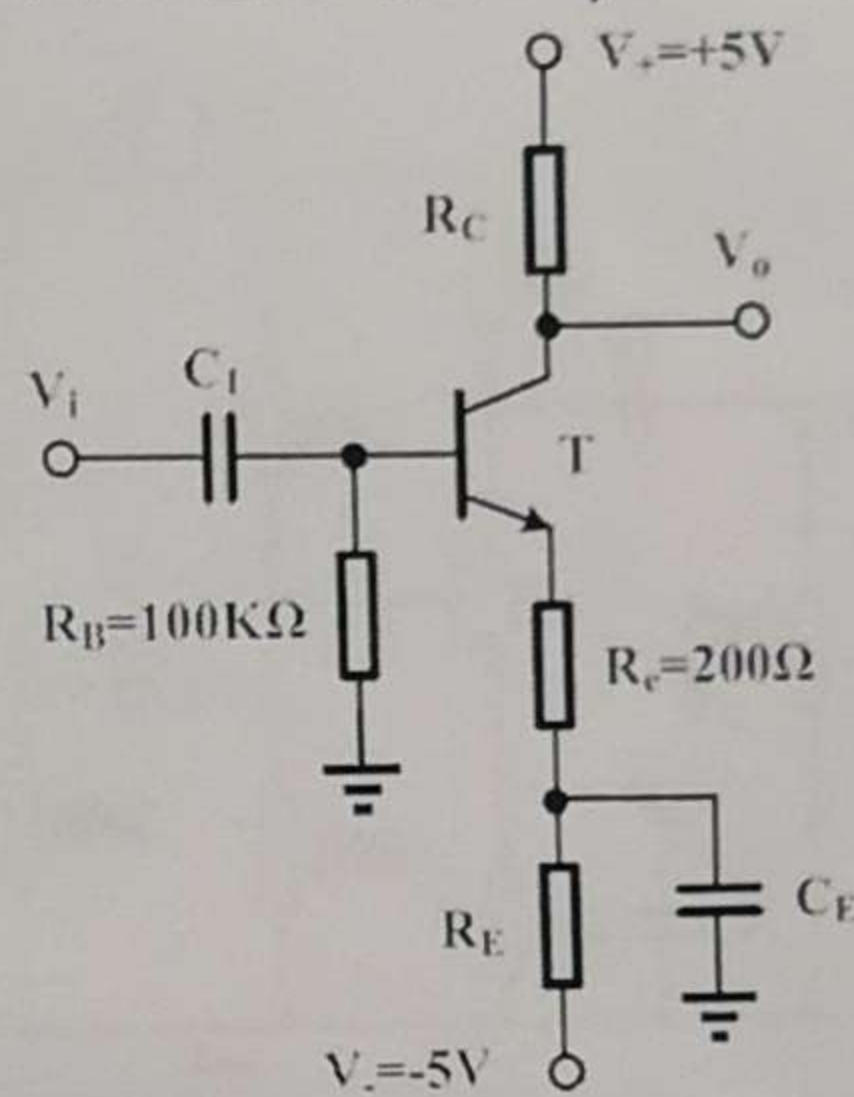
$$V_{CQ} = V_{CEQ} + V_{EQ} = 2.05V$$

$$R_C = (5 - V_{CQ}) / I_{CQ} = 11.8k\Omega$$

$$R_E = (V_{EQ} - (-5V)) / I_{CQ} - 0.2 = 16k\Omega$$

$$2) h_{ie} = r_b + (\beta + 1)26mV / I_{CQ} = 10.5k\Omega$$

$$A_V = -\frac{\beta R_C}{h_{ie} + (\beta + 1)R_E} \approx -38.4$$



三. (12分) 由三极管和理想运放组成的反馈放大器如图所示,

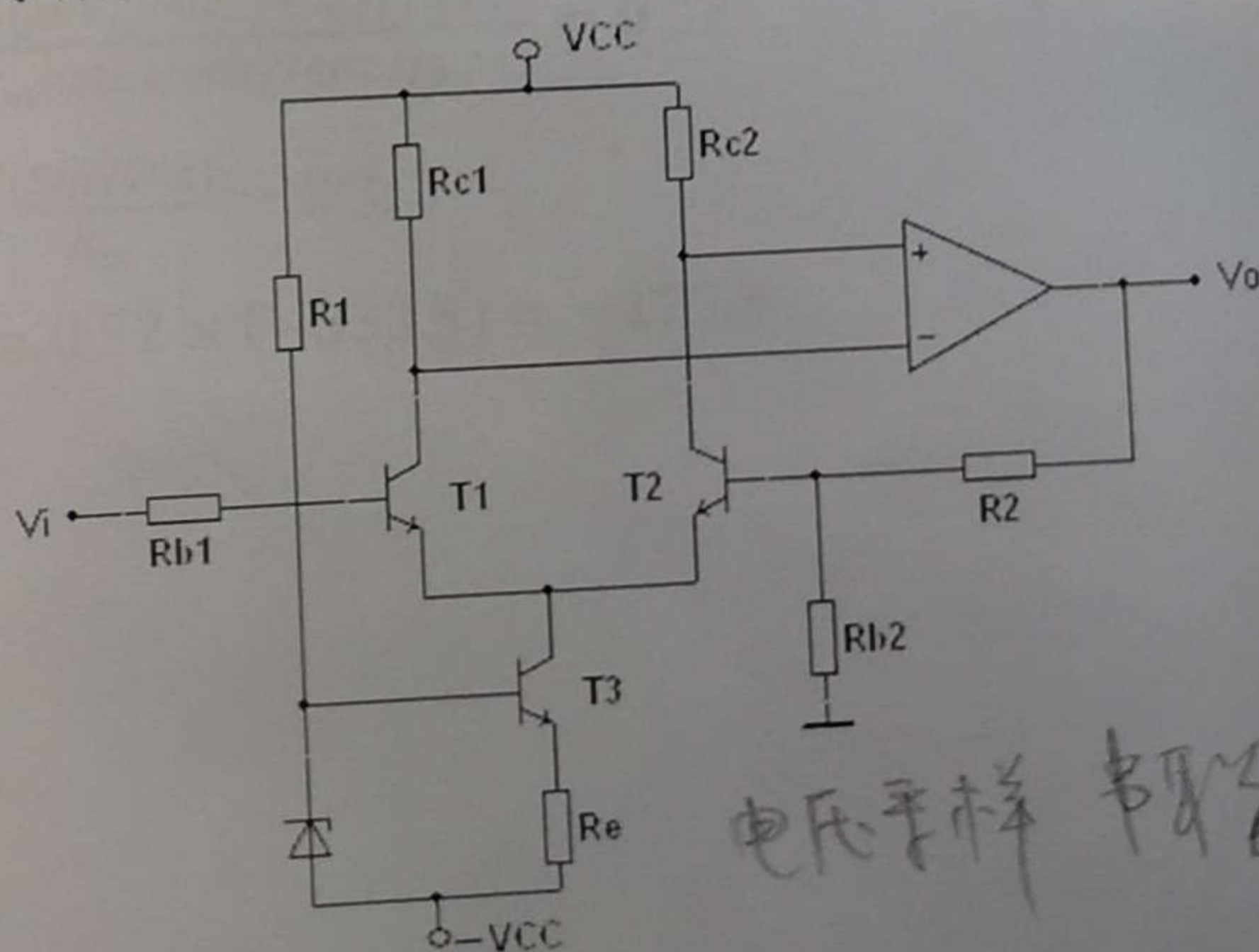
- (1) 指出其中的反馈支路, 并判断反馈类型 (即输出端是电压采样还是电流采样, 输入端是并联反馈还是串联反馈);
- (2) 在深度负反馈的假定下, 求放大器的电压增益。

解:

- 1) 反馈支路是 R_2 和 R_{b2} , 输出端电压采样, 输入端为串联反馈。

$$2) F_V = \frac{R_{b2}}{R_{b2} + R_2}$$

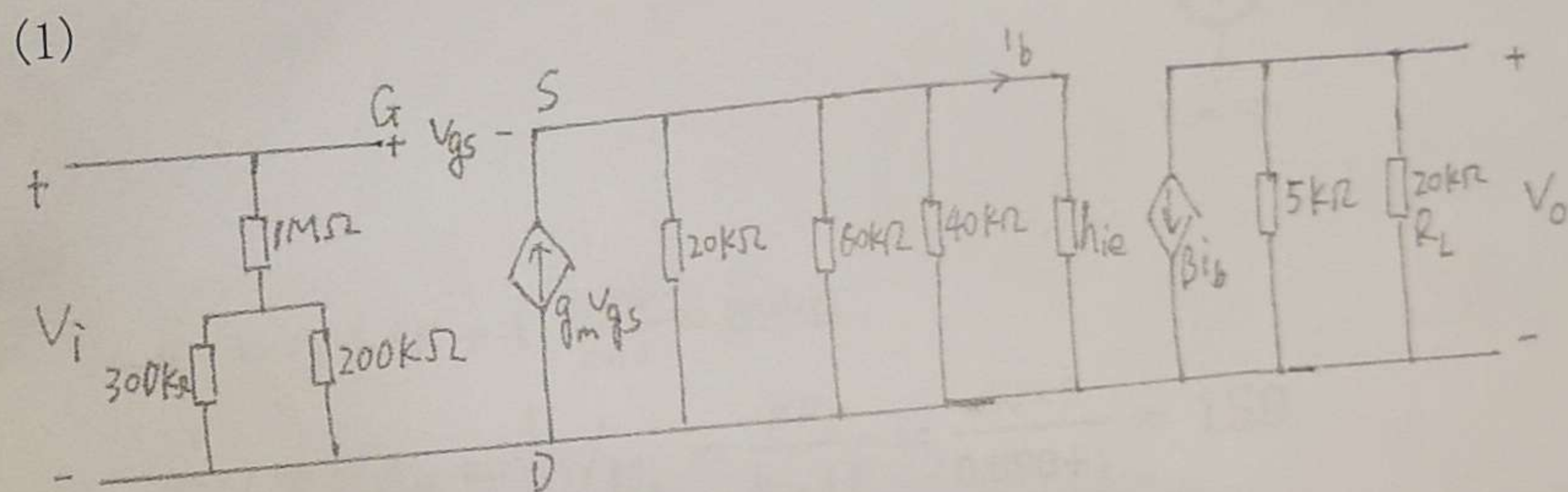
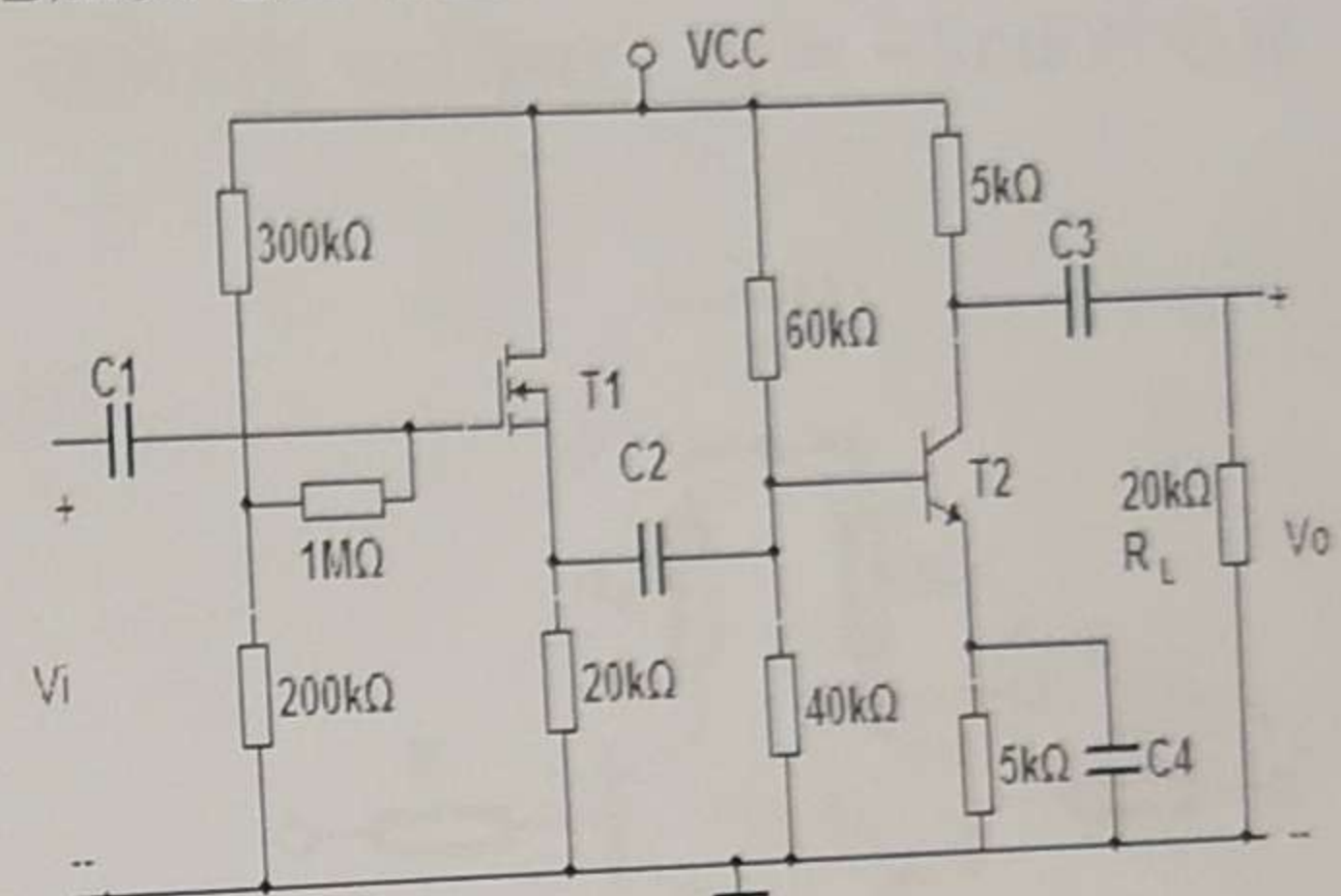
$$A_{Vf} = \frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{F_V} = \frac{R_{b2} + R_2}{R_{b2}}$$



电压采样 串联

四. (14分) 两级放大电路如图所示。已知 T1 管为 N 沟道增强型 MOS 管，其 $g_m = 1\text{mA/V}$, $r_{ds} = \infty$; T2 管的 $h_{ie} = 1.2\text{k}\Omega$, $\beta = 100$, $r'_c = \infty$; 电路中 C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 容量足够大，可视为交流短路。

- (1) 画出电路的交流小信号等效电路;
- (2) 求电路的输入电阻、输出电阻及电压增益。



(2) 输入电阻: $R_i = 1\text{M}\Omega + 200\text{k}\Omega // 300\text{k}\Omega = 1.12\text{M}\Omega$

输出电阻: $R_o = 5\text{k}\Omega$

第一级电压增益: $A_{V1} = \frac{g_m(20\text{k}\Omega // 60\text{k}\Omega // 40\text{k}\Omega // 1.2\text{k}\Omega)}{1 + g_m(20\text{k}\Omega // 60\text{k}\Omega // 40\text{k}\Omega // 1.2\text{k}\Omega)} = 0.52$

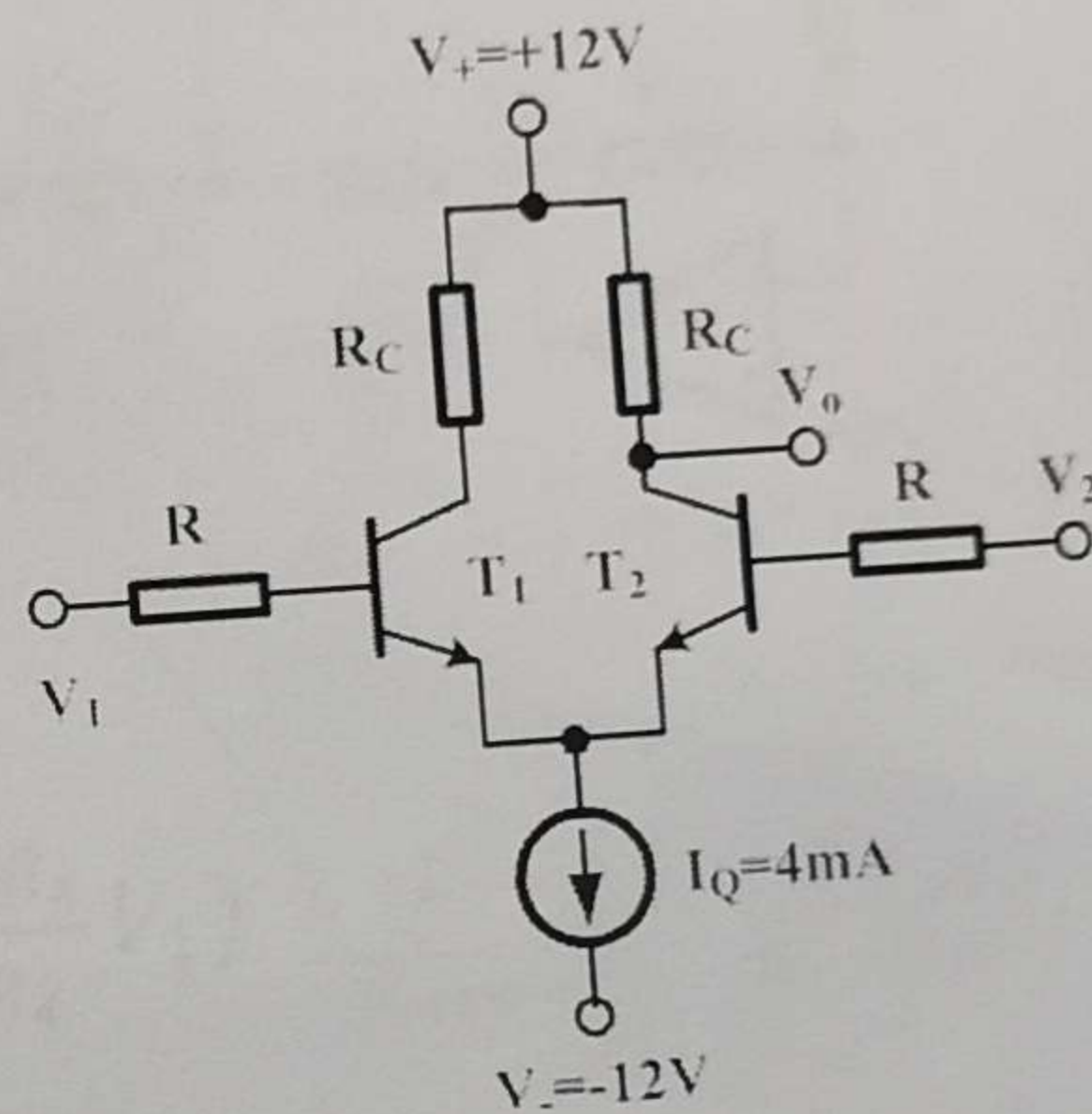
第二级电压增益: $A_{V2} = -\frac{\beta(5\text{k}\Omega // 20\text{k}\Omega)}{h_{ie}} = -333.3$

总电压增益: $A_V = A_{V1}A_{V2} = 0.52 \times (-333.3) = -173.3$

五. (14分) 室温下, 由电流源偏置的差动放大电路如下图所示, 已知晶体管 T1 与 T2 参数完全相同: $\beta = 60$, $r_b = 100\Omega$, $r_c' = \infty$ 。电流源交流内阻为 r_o , $R = 1K\Omega$, $R_c = 5K\Omega$ 。

(1) 若该电流源的交流内阻 $r_o = 20K\Omega$, 请分别计算该电路的差模增益和共模增益;

(2) 若为理想电流源 ($r_o = \infty$), 试求当 $V_1 = 15mV$, $V_2 = -5mV$ 时电路的输出电压 V_o 。



解:

$$1) h_{ie} = r_b + (\beta + 1) \frac{26mV}{2mA} = 898\Omega$$

$$\text{差模增益 } A_d = \frac{V_o}{V_d} = \frac{\beta R_c}{h_{ie} + R} = \frac{60 \times 5}{0.898 + 1} \approx 158$$

$$\text{共模增益 } A_c = \frac{-\beta R_c}{h_{ie} + R + 2(\beta + 1)r_o} = \frac{60 \times 5}{0.898 + 1 + 2 \times 61 \times 20} \approx -0.125$$

$$2) \text{ T2 集电极的静态电压为 } V_{CQ} = 12 - R_c \times (I_Q/2) = 2V$$

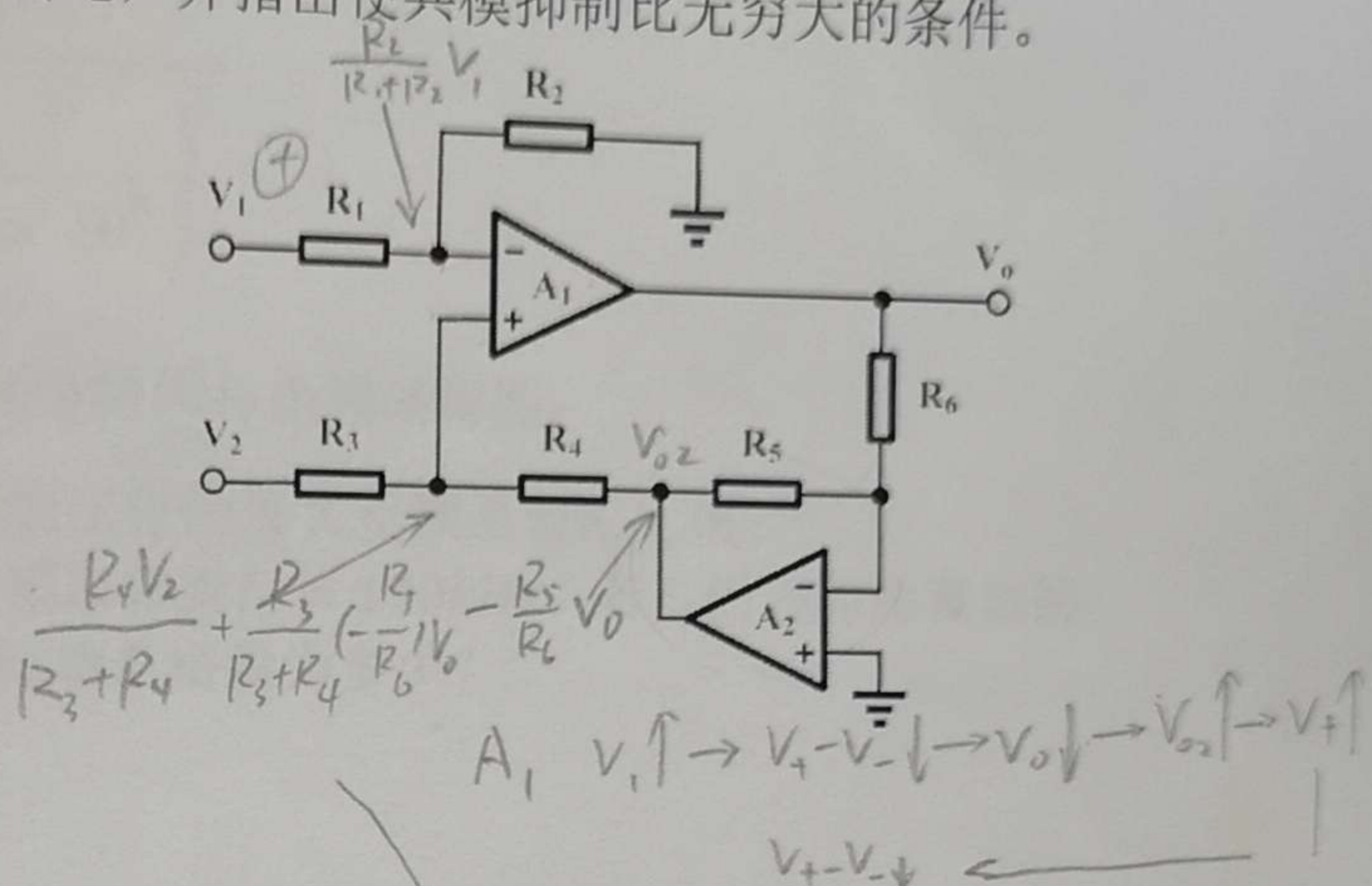
因为 $r_o = \infty$, 所以共模增益 $A_c = 0$

$$V_o = V_{CQ} + A_d V_d = 2 + 158 \times (15 - (-5)) \times 10^{-3} / 2 = 3.59V$$

六. (12分) 图示电路中, A1 和 A2 均为理想运算放大器。

(1) 请推导该电路输出电压 V_o 与输入电压 V_1 和 V_2 之间的关系;

(2) 试分析该电路的共模抑制比, 并指出使共模抑制比无穷大的条件。



解:

$$1) V_o = \frac{R_6 R_4}{R_5} \left(\frac{1}{R_3} V_2 - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \frac{R_3 + R_4}{R_3 R_4} V_1 \right)$$

2) 要使电路 CMRR 无穷大, 须:

$$\frac{1}{R_3} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \frac{R_3 + R_4}{R_3 R_4}$$

可推出:

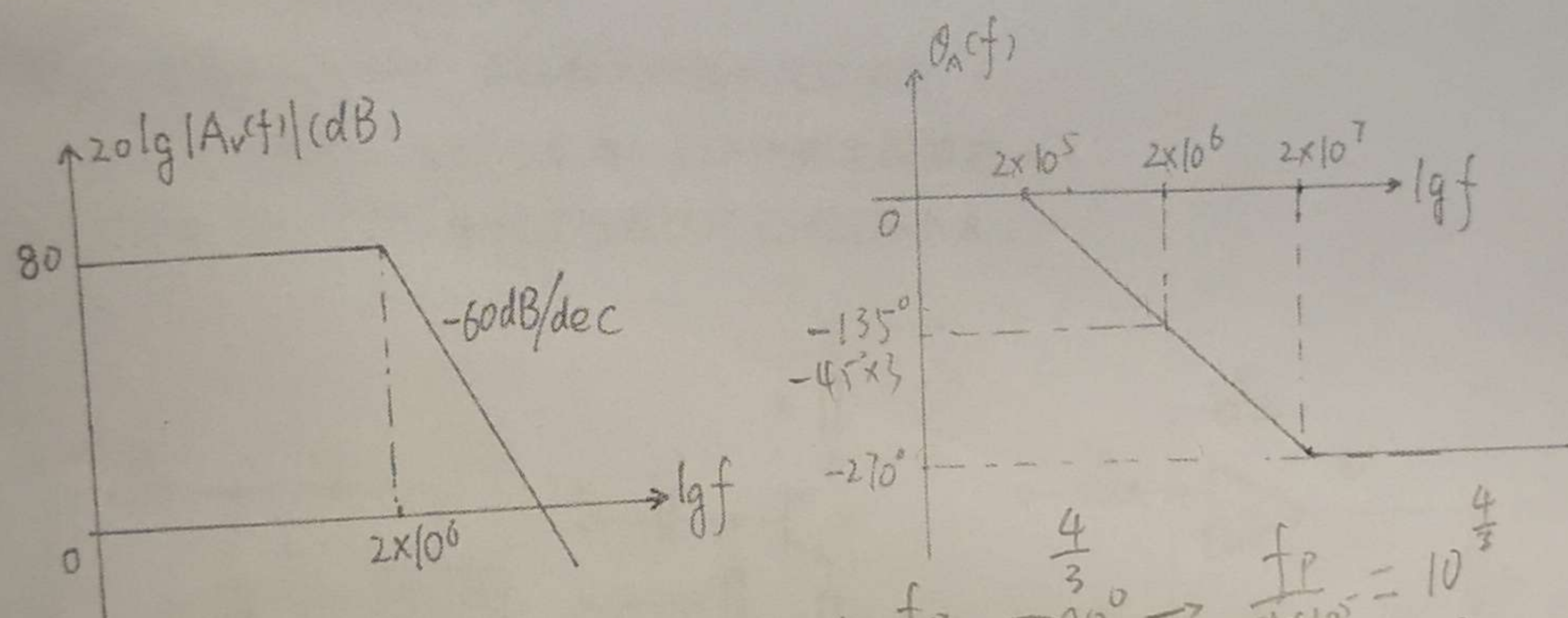
$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_4}{R_3}$$

七. (16分) 一个三级负反馈放大电路的基本放大电路, 其电压放大倍数表达式为

$$A_v(f) = \frac{10^4}{\left(1 + j \frac{f}{2 \times 10^6}\right)^3}$$

- (1) 试画出 $A_v(f)$ 的幅频波特图与相频波特图;
- (2) 求电路闭环时能稳定工作的最大反馈系数 F_{max} 值;
- (3) 若将其中一个转折频率移到 $f_1 = 100\text{kHz}$, 若 F_v 仍为前面算出的最大反馈系数 F_{max} , 试求此时增益裕量为多少?

解: 1)



2) $F_{max} = 10^{-3}$;

3) 此时新的相频波特图易得到相位交界频率 $f_p = 2 \times 10^6$,

$$A_v(f_p) = 80 - 20\lg\left(\frac{f_p}{10^5}\right) = 80 - 26 = 54 \text{ (dB)}$$

$$\text{则增益裕量} = 0\text{dB} - (54 + 20\lg(F_{max})) = 6 \text{ (dB)}$$

若考虑到 $f_p = 2 \times 10^6$ 处的 6dB 波特图误差,

$$\text{则 } A_v(f_p) = 54 - 6 = 48 \text{ (dB)},$$

$$\text{此时增益裕量} = 12 \text{ (dB)}$$

(以上两个答案都算正确)

中国科学技术大学

2016-2017 学年第一学期考试试卷 A 卷

考试科目: 线性电子线路(B) 得分: _____

学生所在系: _____ 姓名: _____ 学号: _____

一、选择填空 (每空 2 分, 共 24 分)

- ch2 1. N 型半导体中, 空穴浓度随温度上升而 增加 (增加, 降低, 基本不变), 自由电子浓度随温度上升而 基本不变 (增加, 降低, 基本不变)。
- ch2 2. 二极管伏安特性可分为正向导通及 反向截止、反向击穿 等三个工作区间; 稳压二极管正常工作时, 工作于 反向击穿。
- ch3 3. 由双极型晶体管组成的共发、共集、共基三种基本放大电路, 一般来说, 输入电阻最小的是 共基 电路, 不具备电流放大能力的是 共基 电路。
- ch3 4. 图 1-1 所示放大电路中, 电容 Ce (C_1 、 C_2 、 C_e) 对电路 3dB 下截止频率 ω_L 影响最大; 当负载 R_L 阻值降低时, 电路的 3dB 上截止频率 ω_h 一般会 增加 (增加、降低、基本不变)。
- ch7 5. 图 1-2 所示的基本反相放大电路中, 电阻 R_p 取值一般等于 $R_1 // R_2$ 或 $5k // 20k$ 或 $4k$, 目的是为了 消除运放输入偏置电流产生的误差。
- ch7 6. 图 1-3 所示电路中, 若运放是理想运放, 则输出电压 V_o 和输入电压 V_{i1} 、 V_{i2} 的关系是 $V_o = 5(V_{i2} - V_{i1})$; 若运放共模抑制比为 CMR_1 , 则整个电路的共模抑制比 = $CMR_1 + 1$ 。

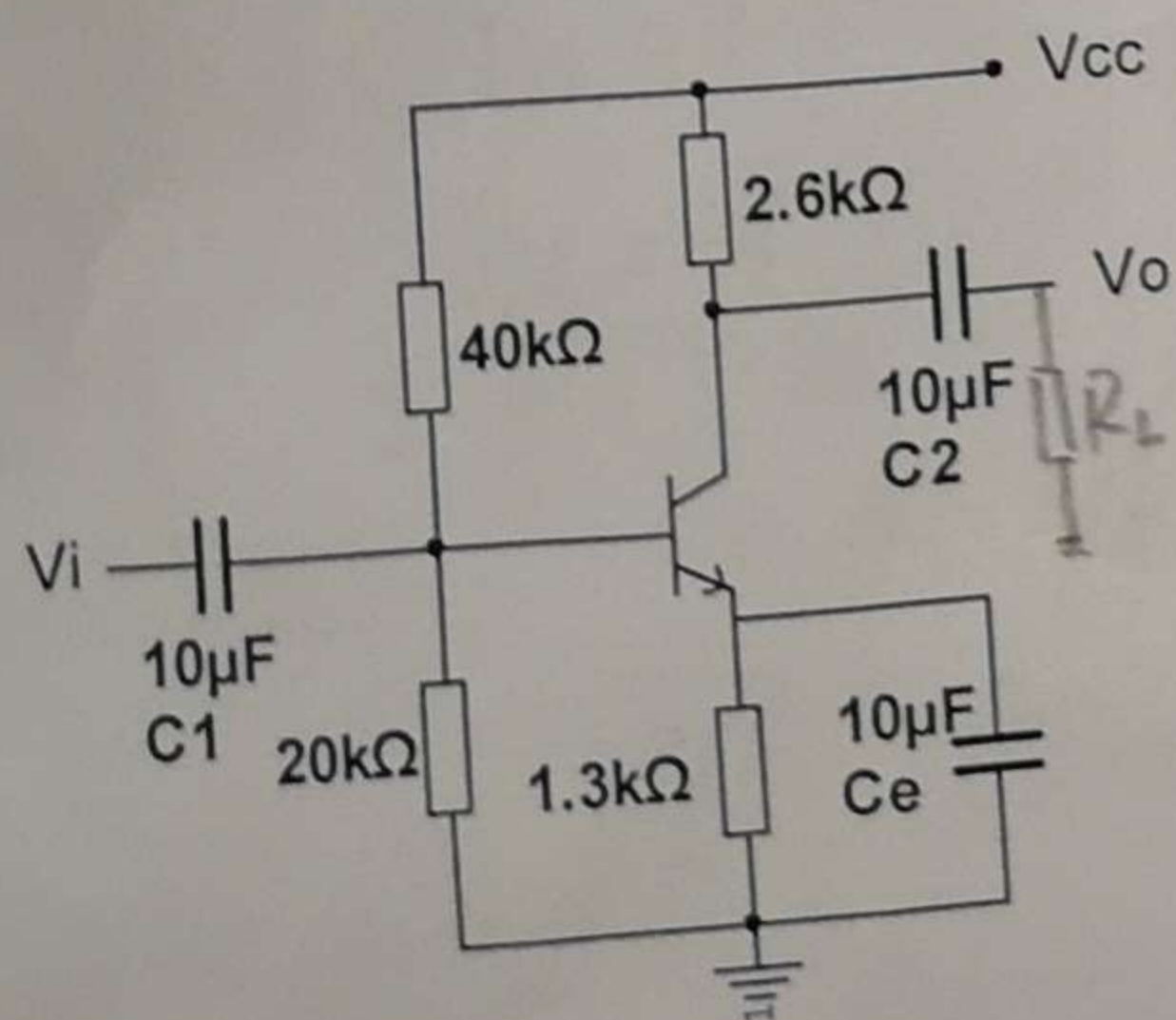


图 1-1

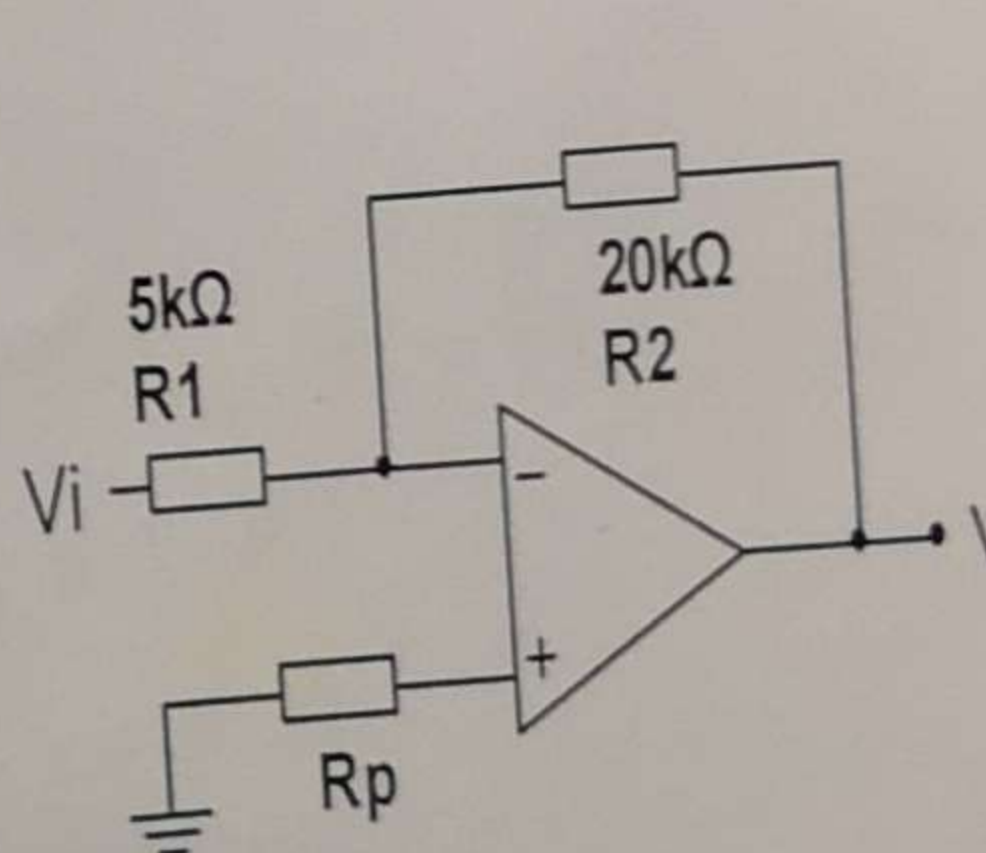


图 1-2

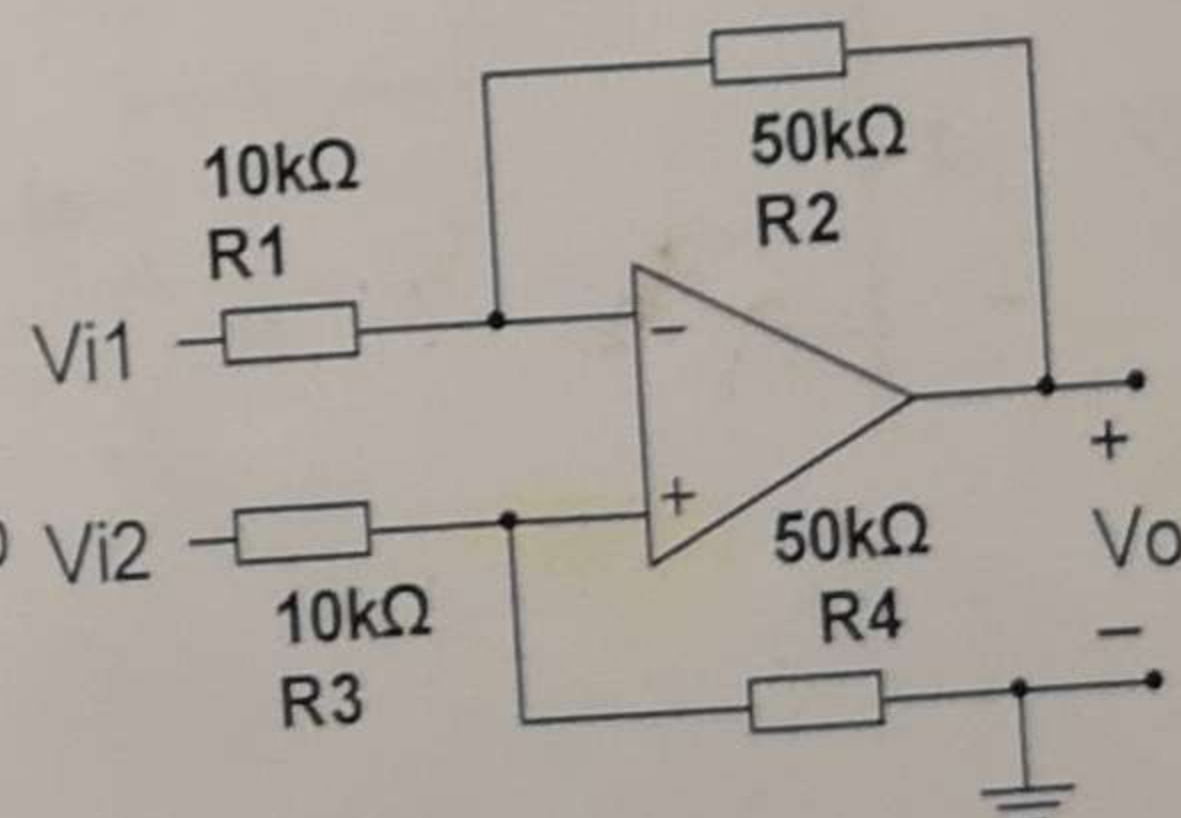


图 1-3

二、分析与计算

1、(12分) 图 2-1 电路中，二极管 D1、D2、D3 为理想二极管。试求 A 点、B 点、C 点的电压，以及二极管 D1、D2 承受的最大反向电压值。其中变压器次级所标为峰值电压，稳压二极管 $V_Z = 6V$ 。

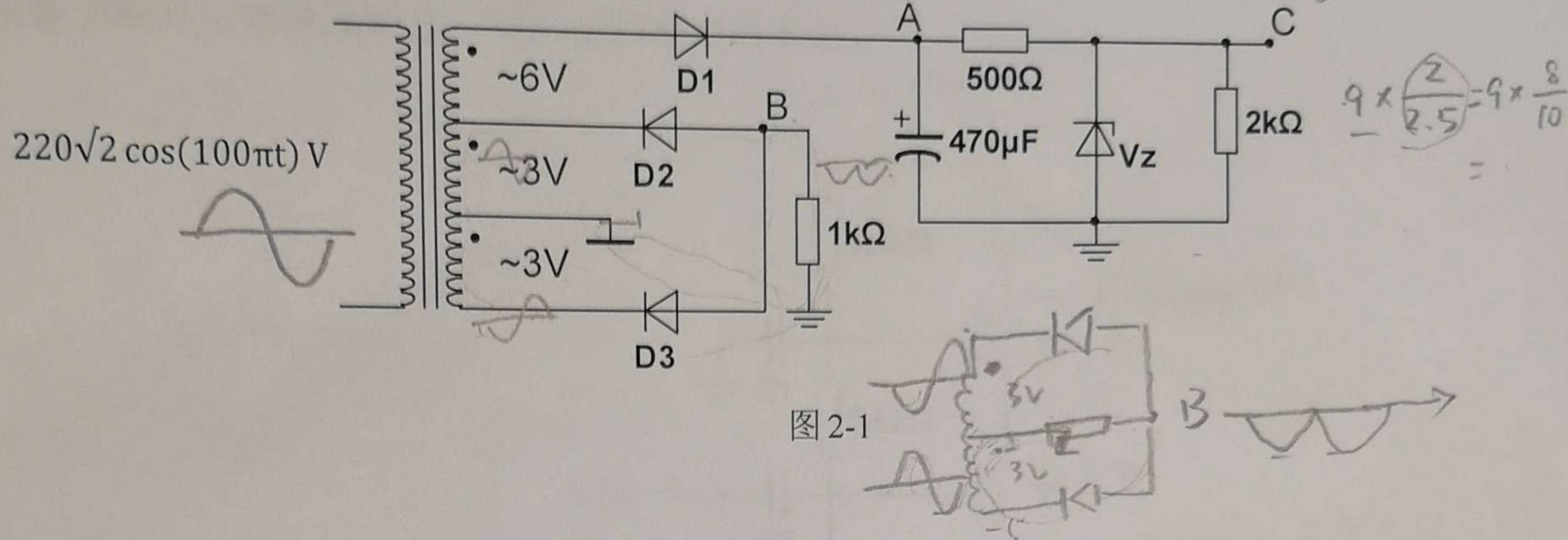


图 2-1

2、(12分) 镜像电流源电路如图 2-2，T1、T2 为 P 沟道增强型 MOS 管，两管参数匹配，开启电压 $V_T = -0.7V$ ， $K = 1mA/V^2$ ， $r_{ds} = \infty$ 。

1) 叙述 MOS 管工作于饱和区的条件，并证明 T1 管工作于饱和区。

2) 若要 $I_R = 100\mu A$ ，电阻 R 应取多大？

$$\begin{aligned} V_{GS} &= -3V + I_D R \\ I_D &= 1 \cdot (V_{GS} + 0.7)^2 \\ 0.1 &= 1 \cdot (V_{GS} + 0.7)^2 \\ \pm \sqrt{0.1} &= V_{GS} + 0.7 \rightarrow V_{GS} \approx -1V \\ -1V &= -3V + 0.1 \cdot R \\ R &\approx \frac{2}{0.1mA} = 20k\Omega \end{aligned}$$

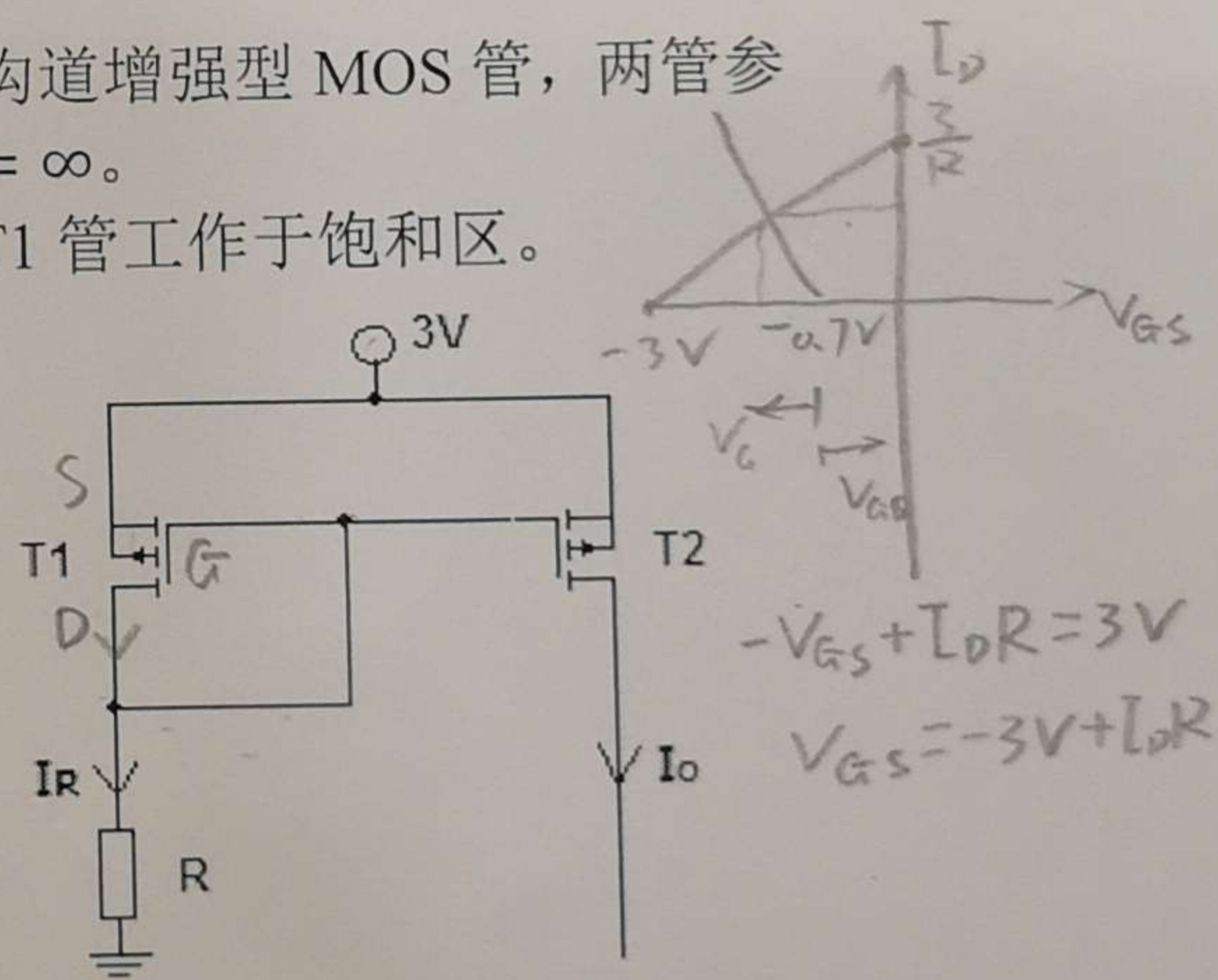


图 2-2

ch6

3、(12 分) 两级晶体管放大电路如图 2-3 所示，两管 β 值均为 200, $r_b = 0\Omega$ 。

(1) 指出 T1、T2 管分别是三种基本放大电路组态 (CE、CC、CB) 的哪种组态；

(2) 已知两管均工作于放大状态，且 $I_{CQ1} = 3.8\text{mA}$ ，画出交流小信号等效电路，并计算空载时中频电压增益、输入电阻和输出电阻。

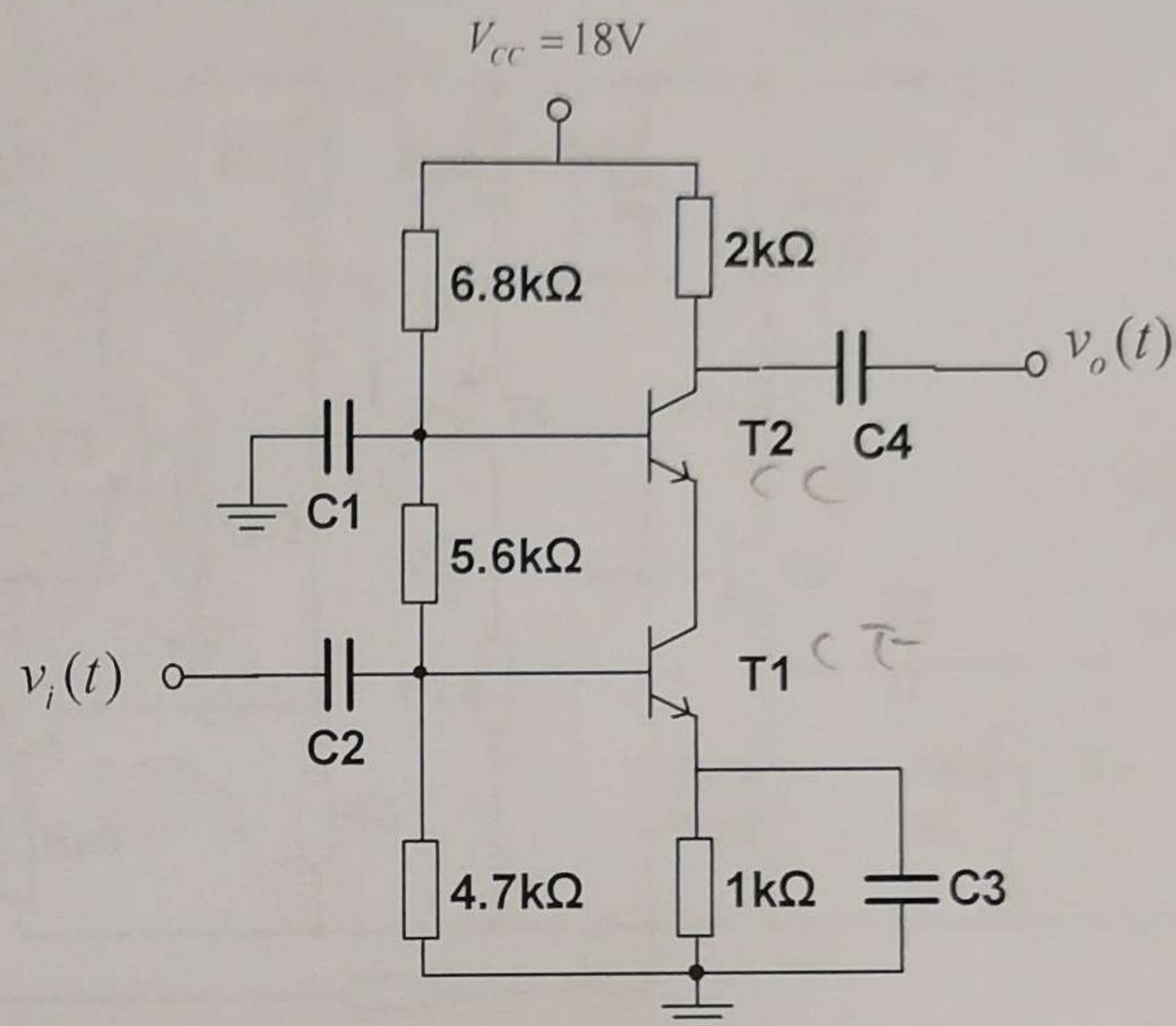


图 2-3

- 4、(14 分) 电路如图 2-4 所示，已知晶体管 T1~T5 均工作于线性放大区；
- 1) 简述各管在电路中的作用；
 - 2) 找出级间反馈支路，利用瞬时极性法证明反馈为负反馈；
 - 3) 在深度负反馈条件下，计算电路的源电压增益 $A_{vsf} = \frac{V_o}{V_s}$ 。

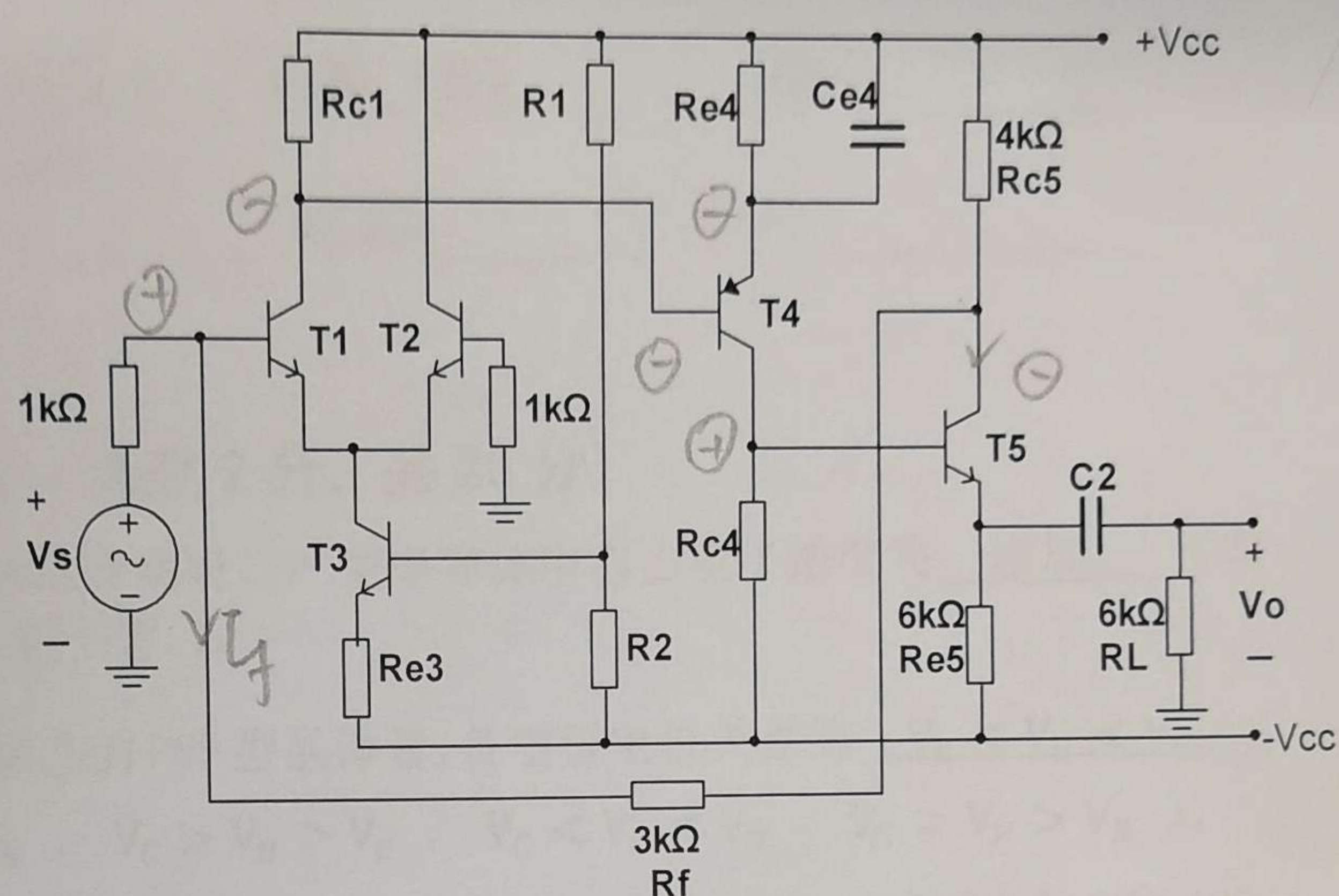


图 2-4

Handwritten analysis and calculations:

Input signal V_s is applied through a $1k\Omega$ resistor to the base of T1. The feedback resistor $R_f = 3k\Omega$ connects the output of T5 back to the input of T1.

Currents and gains are calculated as follows:

$$F_T = \frac{I_1}{I_o} = \frac{4}{7}$$

$$A_{vf} = \frac{I_o}{I_i} = \frac{7}{4}$$

$$A_{vsf} = \frac{V_o}{V_s} = \frac{I_o \cdot (6k\Omega // 6k\Omega)}{I_i \cdot 1k\Omega} = \frac{21}{4}$$