

• 折坏：并联 destroy 则短路；串联 destroy 则开路

## 习题及参考解答

### 知识点1：负反馈原理与组态分析

1、某仪表放大电路，要求输入电阻大，输出电流稳定，应选 \_\_\_\_\_ 型电路。

A. 电压串联负反馈 B. 电压并联负反馈

C. 电流串联负反馈 D. 电压串联负反馈

6、某传感器产生的是电压信号（几乎不能提供电流），经过放大后希望输出电压与信号成正比，这时放大电路应选 \_\_\_\_\_。

A. 输入电阻大，则说明输入信号是电压信号；输出已明确指出是电流信号。

2、对于放大电路，所谓开环是指 \_\_\_\_\_。

A. 无信号源 B. 无反馈通路 C. 无电源 D. 无负载

B

3、放大器深度负反馈的条件是 \_\_\_\_\_。

A.  $|1+AF| >> 1$  B.  $|A| >> 1$  C.  $|F| >> 1$  D.  $|1/F| >> 1$

A

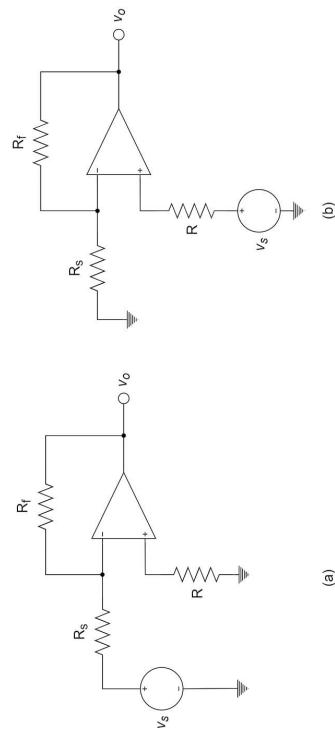
4、一个负反馈放大电路采样电压返回电流，则以下叙述正确的是 \_\_\_\_\_。

A. 输入阻抗变小，输出阻抗变小 B. 输入阻抗变小，输出阻抗变大

C. 输入阻抗变大，输出阻抗变小 D. 输入阻抗变大，输出阻抗变大

A。输出信号是电压信号，输入信号是电流信号。负反馈使输入输出电阻更加理想化。

5、判断下图所示电路 (a) 和 (b) 引入的反馈分别是 \_\_\_\_\_ 和 \_\_\_\_\_，其反馈系数分别为 \_\_\_\_\_ 和 \_\_\_\_\_。



(a)

电压并联负反馈  $\frac{R_s}{R_f}$

6、某传感器产生的是电压信号（几乎不能提供电流），经过放大后希望输出电压与信号成正比，

这时放大电路应选 \_\_\_\_\_。

A. 电流串联负反馈 B. 电压并联负反馈

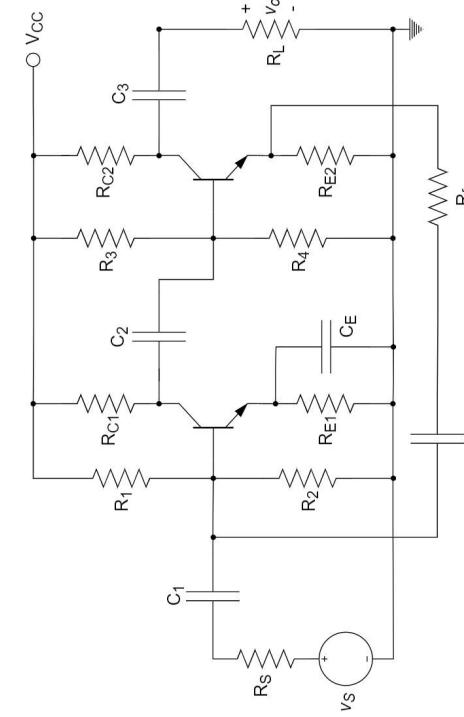
C. 电流并联负反馈 D. 电压串联负反馈

D

7、判断下图所示电路中包含电阻  $R_f$  的反馈网络的反馈类型为 \_\_\_\_\_。

A. 电压串联负反馈 B. 电压并联负反馈

C. 电流串联负反馈 D. 电流并联负反馈



D。输出为集电极电压， $R_{E2}$  感知电流  $I_C$ 。

8、射极跟随器是典型的 \_\_\_\_\_ 负反馈。

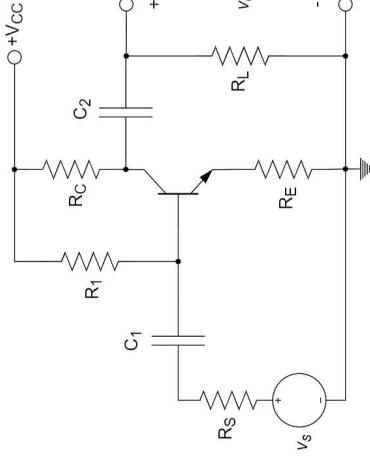
A. 电压串联 B. 电流并联 C. 电流串联 D. 电压并联

A

9、判断下图所示电路的反馈类型为 \_\_\_\_\_。

A. 电压串联负反馈 B. 电压并联负反馈

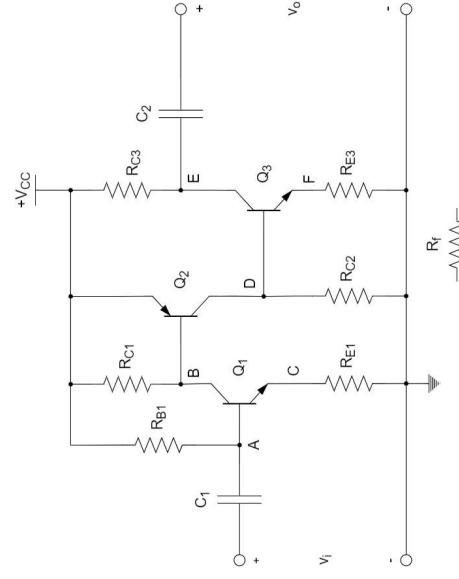
C. 电流串联负反馈 D. 电流并联负反馈



C. 发射极退化结构，发射极电阻感知  $I_C$ ，返回  $V_B$ （与  $V_B$  相减）。

10、如下图所示电路，要求达到以下目的，需要如何构建反馈网络。

- (1) 希望提高 A 端和地之间的输入电阻，则可以将电阻  $R_f$  接在 \_\_\_\_\_ 和 \_\_\_\_\_ 之间；  
(2) 在给定输入电压  $v_i$  下，希望输出端接上负载  $R_L$  后输出电压  $v_o$  基本不变，则可以将电阻  $R_f$  接在 \_\_\_\_\_ 和 \_\_\_\_\_ 之间。



- C F A E。 (1) 提高输入电阻，即输入为电压信号；极性判断：若 A 点为 +，则 B 点为 -，D 点为 +，F 点为 +，E 点为 -，故接 CF； (2) 接上负载后希望输出电压基本不变，即输出为电压信号，加反馈后输出电阻降低；故接 EF，接 E，极性判断：E 为 -，故接 A。

11、对于电压串联负反馈电路，由于反馈的引入，电路的 \_\_\_\_\_。

A. 输入阻抗变小，输出阻抗变小 B. 输入阻抗变大，输出阻抗变大

C. 输入阻抗变大，输出阻抗变小 D. 输入阻抗变大，输出阻抗变大

- 12、以下对于负反馈结构特性的描述，错误的是 \_\_\_\_\_。
- A. 可以提高增益 B. 可以增加带宽
  - C. 可以稳定增益 D. 可以改善非线性

- A。负反馈牺牲增益，获得其他方面性能的提升。  
13、设某个放大器开环时  $\frac{d|A_{of}|}{d|A_v|}$  为 20%，若要求  $\frac{d|A_{of}|}{d|A_v|}$  不超过 1%，且  $|A_{of}| = 100$ ，则要求开环增益  $|A_v|$  大于 \_\_\_\_\_，反馈系数  $|F|$  大于 \_\_\_\_\_。

- 20000.0095 (0.01)。采用深度负反馈近似，负反馈缩放因子  $(1 + A\beta) \approx A\beta$ ，  
 $\beta = 1/100$ ，所以开环增益  $A = 2000$ 。

14、在输入量不变的情况下，若引入反馈后 \_\_\_\_\_，则说明引入的反馈是负反馈。

A. 输入电阻增大 B. 输出量增大 C. 净输入量增大 D. 净输入量减小

D

- 15、由于射极跟随器引入了电压串联负反馈，因此电压放大倍数很小。但这种电路具有输入电阻 \_\_\_\_\_ (大/小)、输出电阻 \_\_\_\_\_ (大/小) 的突出特点。

大小。射极跟随电路的负反馈解释。

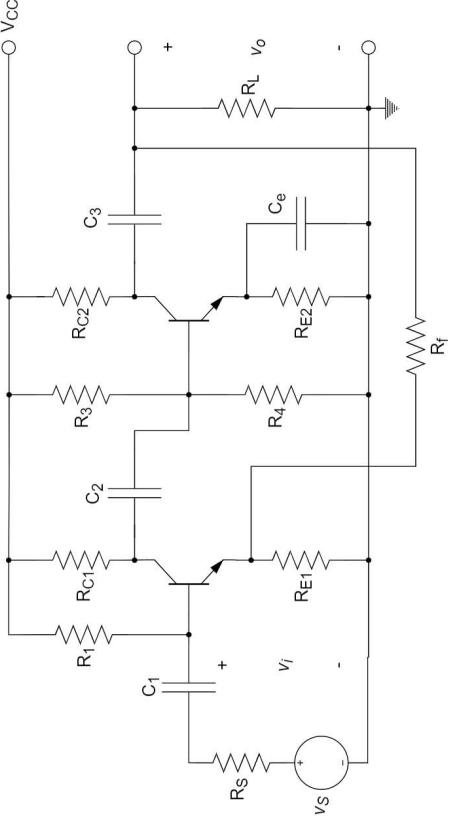
## 知识点2：负反馈电路的分析

- 1、已知三极管共射放大电路如下图所示，设三极管在静态工作点附近的  $\beta = 50$ ， $V_T = 26 \text{ mV}$ ，试计算：

(1) 电压增益  $A_v$  和输入输出电阻  $R_i$ 、 $R_o$ 。

(2) 为了提高输入电阻，降低输出电阻，应该引入什么类型负反馈？

(3) 设引入负反馈的反馈系统的  $A_v F = 9$ , 请问该电路系统的输入、输出电阻相对原开环放大器变化多少倍?



$$(1) V_B' = \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} V_{CC} = \frac{6.2}{15+6.2} \times 12 \approx 3.5V$$

$$R_b = R_{B1} // R_{B2} = \frac{15}{\beta} // 6.2 \approx 4.4k\Omega$$

$$I_{EQ} \approx \beta I_{BQ} = \beta \frac{V'_B - 0.7}{R_b + (1+\beta)R_e} = 1.3 \text{ mA}$$

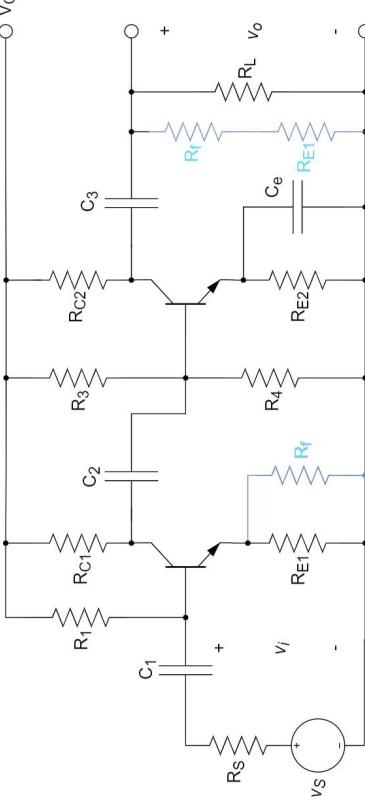
$$r_{be} = (1 + \beta) \frac{26}{I_{EQ}} = 51 \times \frac{26}{13} = 1.02 \text{ k}\Omega$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \dot{A}_v = R_{b1} / (R_{b2} // r_{be}) \approx 0.83k\Omega \\ R_o = R_c / r_{ce} \approx R_c = 3k\Omega \end{cases}$$

(2) 引入电压串联负反馈电路。输入输出皆为电压信号  
 (3) 输入电阻增加10倍, 而输出电阻下降了10倍。缩放因子皆为  $(1 + A\beta)$

2. 如下图所示电路, 问:
- (1) 判断反馈类型
  - (2) 画出拆环后的电路
  - (3) 求出反馈系数
  - (4) 假定反馈为深度负反馈, 求放大器电压增益  $v_o/v_i$ 、输入电阻和输出电阻。

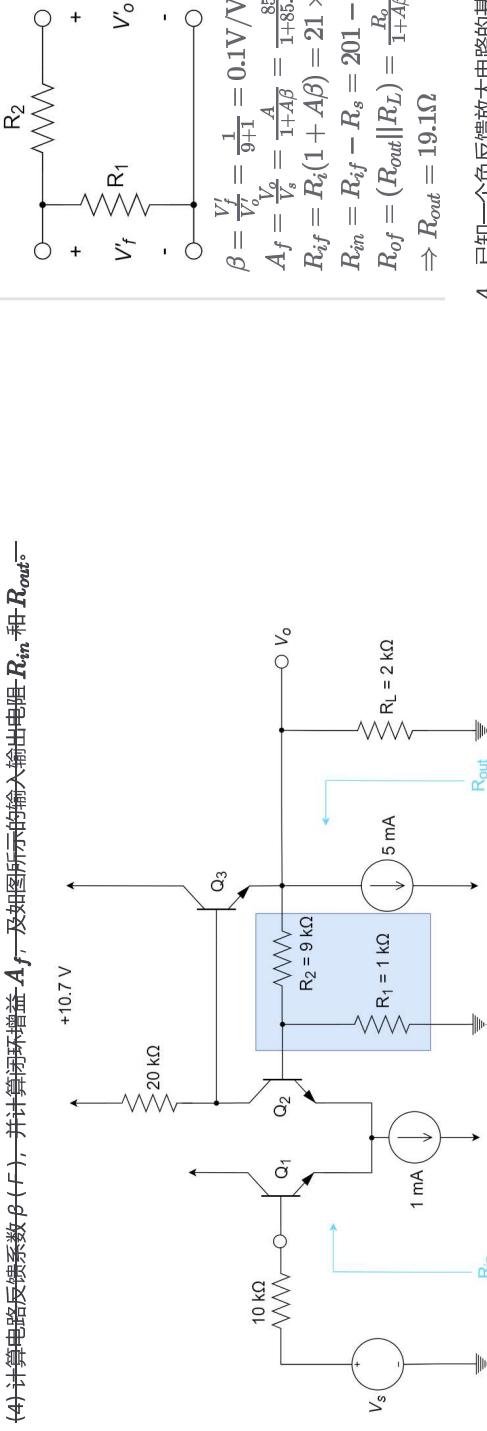
(1) 电压串联负反馈。感知电压, 返回电压  
 (2) 拆环后的电路如下图所示: 输出并联, destroy则开路



- (3) 反馈系数  $F = \frac{R_{E1}}{R_{E1} + R_f}$ 。输入/destroy(开路), 输出加电压激励, 求输入的电压响应, 即电阻分压
  - (4)  $A_v \approx \frac{1}{F} = \frac{R_{E1} + R_f}{R_{E1}}, R_{of} \approx \infty, R_{if} \approx 0$
3. 分析如图所示的负反馈电路, 其中输入信号  $V_s$  的直流偏置电压为 0V,  $-Q_3$  的  $V_{BE} \approx 0.7V$ 。
- (1) 指出这是什么类型的负反馈电路;
- (2) 假设管子的电流放大倍数很大, 写出二个晶体管的直流通偏置电流  $I_{C1} - I_{C2} - I_{C3}$ , 以及输出电压  $V_o$  的直流偏置值;

- (3) 假设  $V_T \approx 25 \text{ mV}$ , 管子的电流放大倍数  $\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 100$ , 画出该电路的开环电路, 并计算开环增益  $A_{open}$ ,

(4) 计算电路反馈系数  $\beta(F)$ , 并计算闭环增益  $A_f$ , 及如图所示的输入输出电阻  $R_{in}$  和  $R_{out}$ 。



(4) 电压串联负反馈电路; 感知的是电压信号, 返回构成差分对,

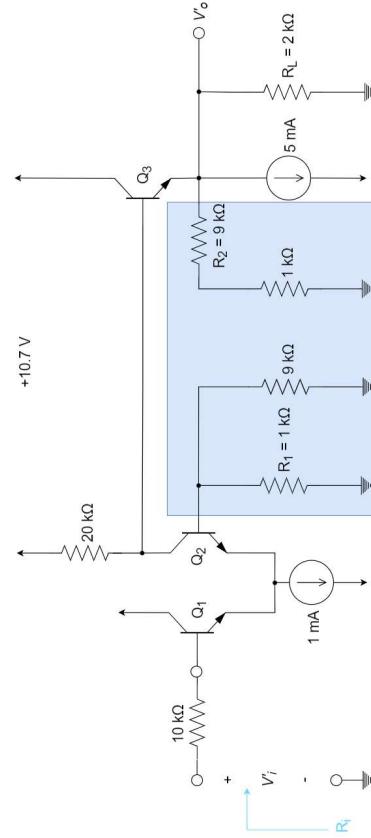
$$\{2\} I_{C1} = I_{C2} = 0.5 \text{ mA}, I_{C3} = 5 \text{ mA}$$

$$V_{C2} = 10.7 - 0.5 \times 20 = 0.7 \text{ V}$$

$$V_0 = 0.7 - 0.7 = 0 \text{ V}$$

**【注】**假设差分对的管子均工作在放大区, 则忽略厄零效应时, 电流依归可看作平分; 输入  $V_s$  的量流偏置为 0V, 则 Q1 的基极电压小于 0V, 而 Q2 的基极电压也小于 0V, 而 Q2 的集电极电压为 0.7V, 满足是工作在放大区的假设。

(5) 拆坏, 输出并联, destroy 则短路, 输入串联, destroy 则开路



$$g_{m1} = \frac{I_{C1}}{V_T} = \frac{(50\Omega)^{-1}}{(50\Omega)^{-1}} = 1, g_{m2} = \frac{(50\Omega)^{-1}}{(50\Omega)^{-1}} = 1, g_{m3} = (5\Omega)^{-1}$$

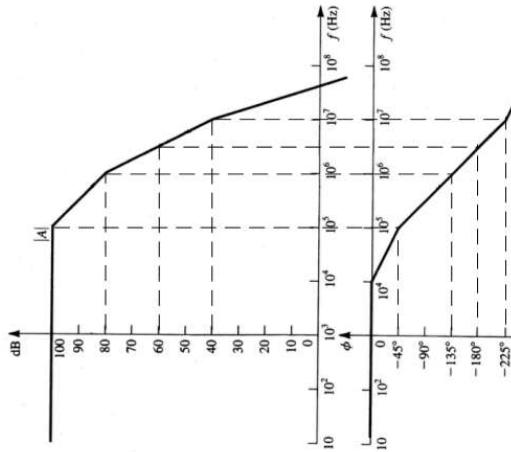
$$A = \frac{V'_o}{V_i} = \frac{|20|(\beta_2+1)(r_{e3}+2||10|)}{r_{el}+r_{e2}+\frac{10}{\beta_1+1}+\frac{10}{\beta_2+1}} \times \frac{(2||10)}{\tau_{e3}+(2||10)} = 85.7 \text{ V/V}$$

$$R_i = R_s + (\beta + 1)(r_{el} + r_{e2}) + R_E || R_4 = 10 + 101 \times (50 + 50) + (1||9) = 21 \text{ k}\Omega = 21$$

$$R_o = 2||10||[r_{e3} + \frac{20}{\beta_2+1}] = 181 \Omega$$

(4)

4、已知一个负反馈放大电路的基本放大电路的幅频和相频特性如下图所示, 反馈网络由纯电阻组成。若要求电路稳定工作, 即不产生自激振荡, 则反馈系数  $(20 \lg |\dot{F}|)$  的上限值为 \_\_\_\_。

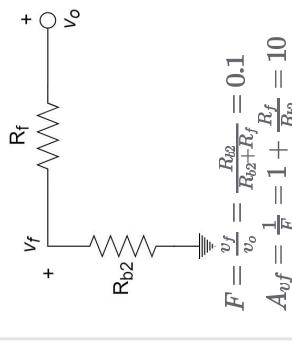


-60 dB。题目中没有指定 Phase Margin, 按 Phase Margin 为 0 的临界情况分析, -180 度时  $A\beta = 0 \text{ dB}$ , 即  $1/\beta$  为 60 dB。

5. 如下图所示电路, 问:

- (1) 若要实现电压串联负反馈, 运放的输入端极性如何?
- (2) 若要实现电压串联负反馈为深度负反馈, 闭环电压放大倍数如何确定?
- (3) 若引入的电压串联负反馈为深度负反馈, 闭环电压放大倍数。

- (4) 若要实现电压串联负反馈, 运放的输入端极性如何?
- (5) 若要实现电压串联负反馈为深度负反馈, 闭环电压放大倍数。

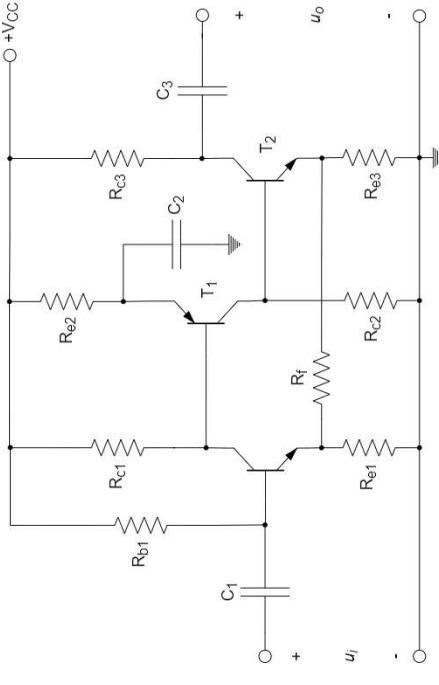


$$F = \frac{v_f}{v_o} = \frac{R_{f2}}{R_{f2} + R_f} = 0.1$$

$$A_{vf} = \frac{1}{F} = 1 + \frac{R_f}{R_{f2}} = 10$$

6、对于如下电路：

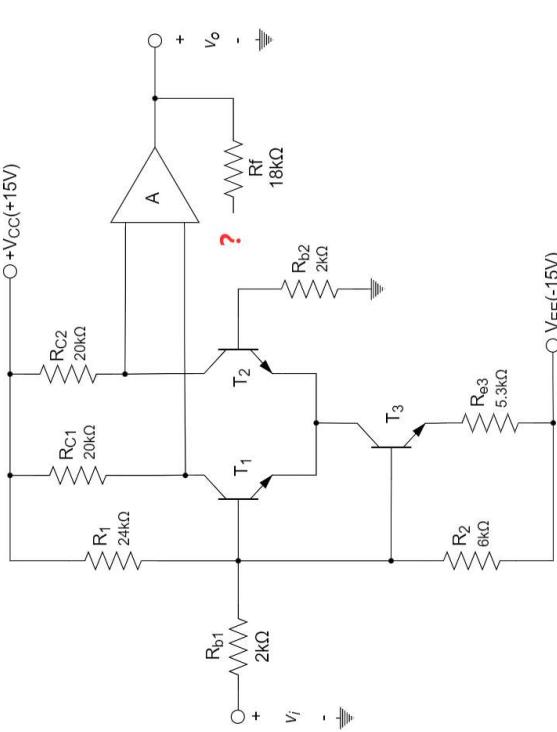
- (1) 判断由  $R_f$ 、 $R_{e1}$  和  $R_{e3}$  引入了什么交流反馈？
- (2) 深度负反馈条件下，推导反馈系数  $F$  和闭环增益  $A_{uf} = u_o/u_i$ 。



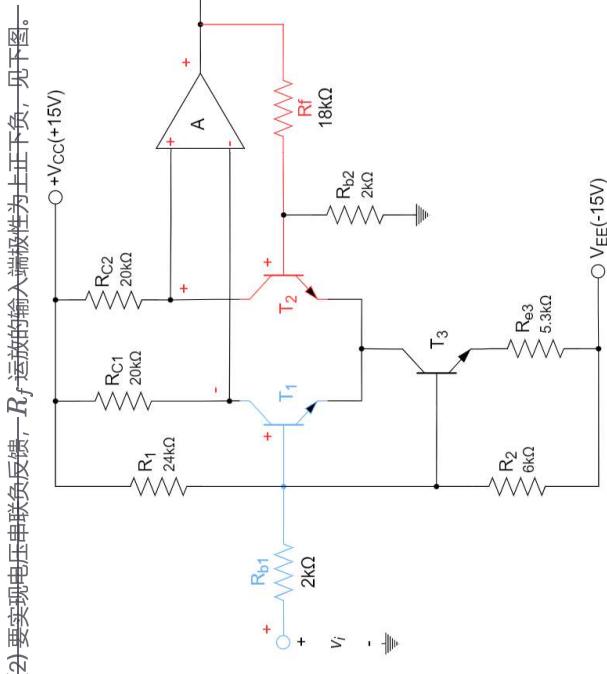
$$(1) \text{ 电流串联负反馈。感知电流，返回电压} \\ (2) F = \frac{v_f}{i_o} = \frac{R_{e1}R_{e3}}{R_{e1}+R_f+R_{e3}}$$

$$A_{uf} = \frac{u_o}{u_i} = -\frac{R_{f2}}{R_{e1}} = -\frac{R_{f2}}{\frac{R_{e1}R_{e3}}{R_{e1}+R_f+R_{e3}}} = -\frac{R_{f2}(R_{e1}+R_f+R_{e3})}{R_{e1}R_{e3}} \cdot R_{e3}$$

- 7、已知电容耦合的放大器的中频增益为  $1000 \text{ V/V}$ ，高频单极点在  $10 \text{ kHz}$ ，低频单极点在  $100 \text{ Hz}$ 。放大器加入负反馈后中频增益减小到  $10 \text{ V/V}$ ，则闭环增益的  $3 \text{ dB}$  低频和高频截止频率分别为  $1 \text{ Hz}$  和  $1000 \text{ kHz}$ 。负反馈的缩放因子皆为  $(1 + A\beta) = 100$ ，所以低频和高频截止频率分别也
- (1) 该电路是什么类型的负反馈电路？



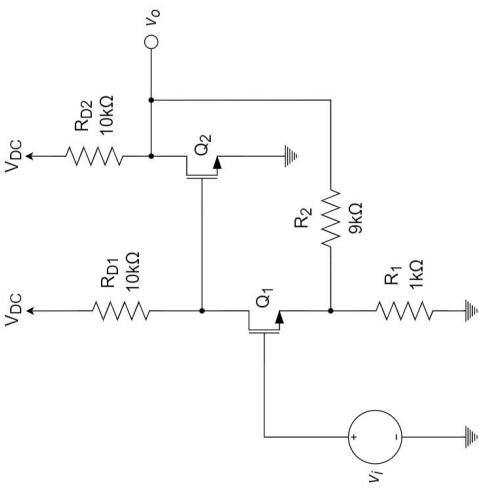
(1) 要实现电压串联反馈， $R_f$  应接向晶体管  $T_2$  的基极，见下图。【输入差分对共模电压相减】



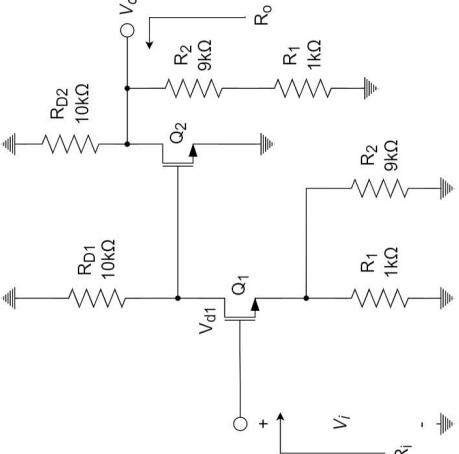
(2) 若引入的为深度负反馈，则

- 8、有一反馈电路如下图所示，问：
- (1) 该电路是什么类型的负反馈电路？

(2) 假设  $g_{m1} = g_{m2} = 4\text{mA/V}$ ,  $R_{D1} = R_{D2} = 10\text{k}\Omega$ ,  $R_1 = 1\text{k}\Omega$ ,  $R_2 = 9\text{k}\Omega$ , 忽略沟道调制效应, 画出折环电路和反馈网络, 求输入阻抗  $R_{in}$ 、输出阻抗  $R_{out}$  和电压增益  $v_o/v_i$ 。



- (1) 电压串联负反馈。感知电压, 返回电压  
(2) 拆分 A 电路、 $\beta$  电路。输出并联, destroy 则开路



$$A_1 = \frac{V_d}{V_i} = -\frac{R_{D2}}{1/g_{m1} + R_1/R_2} = -\frac{g_{m2}R_{D2}}{1 + g_{m1}(R_1||R_2)}$$

$$A_2 = \frac{V_o}{V_d} = -g_{m2}[R_{D2}][R_1 + R_2]$$

$$A = \frac{V_o}{V_i} = A_1 A_2 = \frac{g_{m2}R_{D2}[R_1||R_2][R_1 + R_2]}{1 + g_{m1}(R_1||R_2)} = \frac{4 \times 10 \times 4 \times [10][1 + 9]}{1 + 4 \times [1][9]} = 173.9 \text{V/V}$$

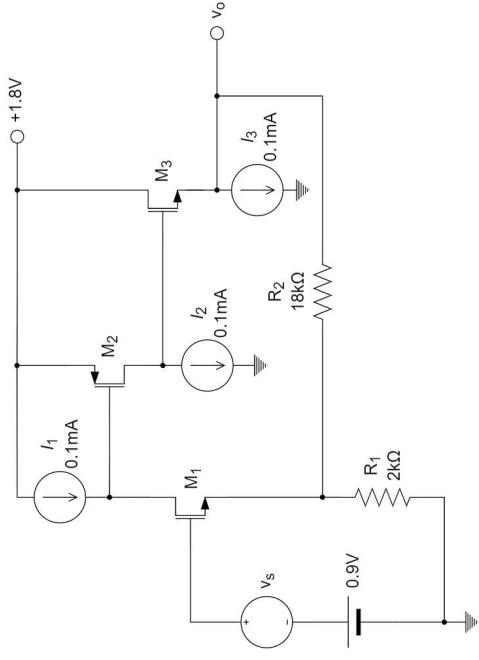
$$\beta = \frac{V_o}{V_i} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} = 0.1$$

$$\frac{V_o}{V_s} = A_f = \frac{A}{1 + A\beta} = \frac{173.9}{1 + 173.9 \times 0.1} = 9.46 \text{V/V}$$

$$R_{out} = R_{of} = \frac{R_2}{1 + A\beta} = \frac{R_2}{1 + 173.9} = 272 \Omega$$

$$R_{in} = \infty$$

9、判断如下图所示电路的反馈类型, 求反馈系数  $F$ , 并计算在深度负反馈条件下该电路的闭环电压增益  $A_v$ 、输入电阻  $R_i$  和输出电阻  $R_o$ 。



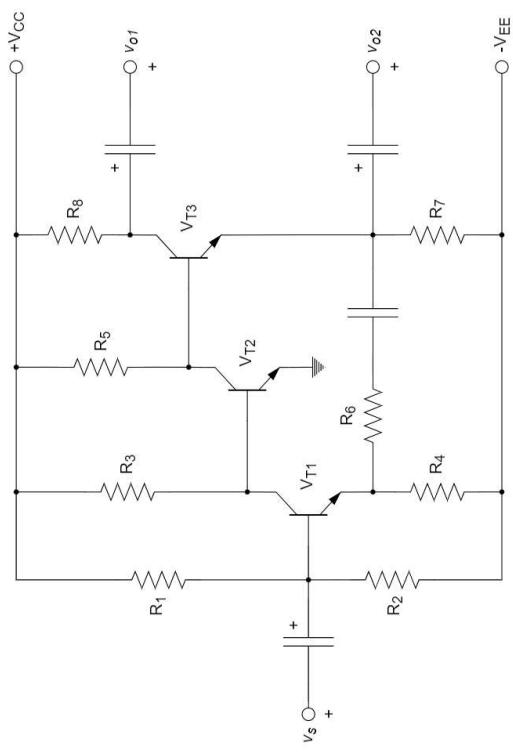
- (1) 电压串联负反馈。感知电压, 返回电压  
(2) 反馈系数  $F = \frac{R_1}{R_1 + R_2} = 0.1$   
(3)  $A_v = \frac{1}{F} = 10$

$$R_i = \infty$$

$$R_o = 0$$

10、如下图所示电路, 已知  $R_3 = 3000\Omega$ ,  $R_4 = 2\text{k}\Omega$ ,  $R_5 = 5.1\text{k}\Omega$ ,  $R_6 = 3\text{k}\Omega$ ,  $R_7 = 1\text{k}\Omega$ ,  $R_8 = 1\text{k}\Omega$ , 问:

- (1) 当采用  $V_{o1}$  输出时, 该电路属于何种类型与极性的反馈放大电路?  
(2) 当采用  $V_{o2}$  输出时, 该电路属于何种类型与极性的反馈放大电路?  
(3) 假设满足深度负反馈条件, 试求两种情况下的电压增益  $A_{vf}$ 。



(1) 电流串联负反馈。感知电流 ( $R_7$ )，返回电压

(2) 电压串联负反馈。感知电压，返回电压

(3) 第一种情况： $V_{o1} \approx -I_{o1}R_8$   
反馈网络的结构可看成  $R_4$  与  $R_6$  串联后与  $R_7$  并联， $V_f$  为  $R_4$  上的分压。

即  $V_f = I_o \frac{R_4 \cdot R_7}{R_4 + R_6 + R_7}$

$$F = \frac{V_f}{I_o} = \frac{R_4 \cdot R_7}{R_4 + R_6 + R_7} = \frac{1}{3} \text{V/A}$$

$$A_{vf} = \frac{V_f}{V_s} \approx \frac{-I_o R_8}{V_f} = -\frac{R_8}{F} = -3 \text{V/V}$$

第二种情况：

该反馈为电压串联深度负反馈，因此  $V_f$  为  $R_4$  在  $R_4$  和  $R_6$  串联回路中的分压。

$$F = \frac{V_f}{V_s} = \frac{R_4}{R_4 + R_6} = 0.4 \text{V/V}$$

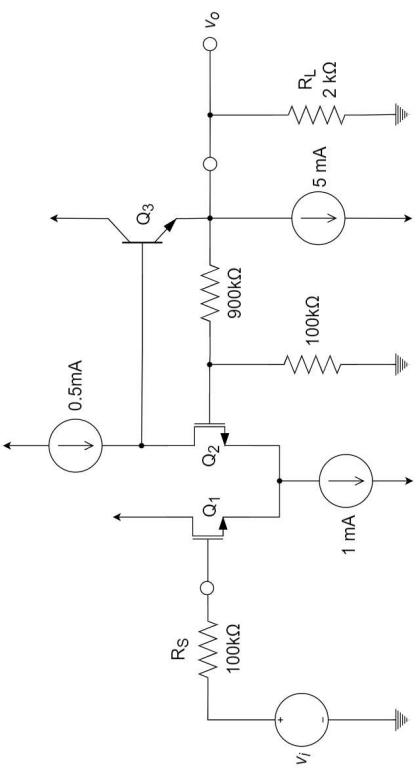
$$A_{vf} = \frac{V_f}{V_s} \approx \frac{v_{o2}}{v_f} = \frac{1}{F} = \frac{R_4 + R_6}{R_4} = 2.5 \text{V/V}$$

14、如下图所示电路，回答如下问题。

(1) 判断电路中所引入的级间反馈类型。

(2) 求出反馈系数。

(3) 求出深度负反馈条件下该电路的电压增益、输入电阻和输出电阻。

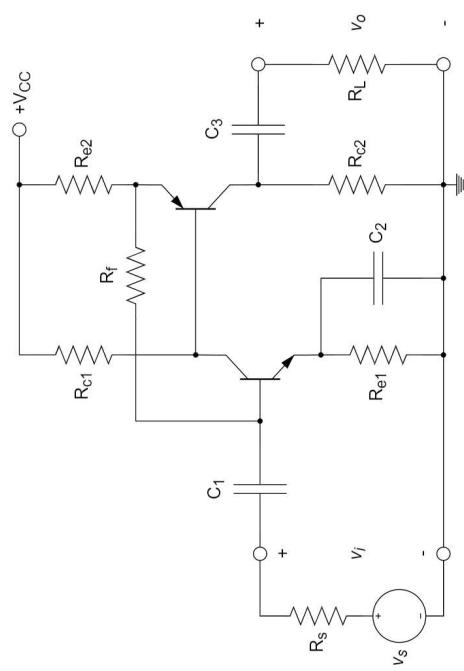


- (1) 电压串联负反馈。感知电压，返回电压  
(2) 反馈系数为  $F = \frac{100}{100+900} = 0.1 \text{V/V}$   
 $\Theta A_v = \frac{1}{F} = 10 \text{V/V}$

$$R_0 = 0$$

12、分析下图所示电路：

- (1) 判断电路中引入了哪两种组态的交流负反馈。  
(2) 推导深度负反馈下电压增益  $A_{vf} = \frac{v_o}{v_s}$  的表达式。



- (1) 电流并联负反馈。感知电流，返回电流  
(2)  $F = \frac{i_f}{i_o} = \frac{R_{e2}}{R_{e2} + R_f}$   
 $A_{if} \approx \frac{1}{F} = 1 + \frac{R_{e2}}{R_f}$