

第七章 反馈放大电路

参考答案

一、填空题

1、正反馈；负反馈；电压串联；电压并联；电流串联；电流并联；输出电压；输出电阻；输出电流；输出电阻

2、串联；并联

3、电压并联；电流串联；电压串联；电压

$$4、\dot{A}_f = \frac{\dot{X}_o}{\dot{X}_i} = \frac{\dot{A}}{1 + \dot{A}\dot{F}}$$

5、自激振荡

二、分析计算题

1、解答：

(1) 在图 1(a) 中， R_2 在直流通路和交流通路中均将输入回路和输出回路连接起来，故电路引入了直流反馈和交流反馈，设 v_i 对地的瞬时极性为“+”，利用瞬时极性法可得电路各点的电位极性以及输入电流、反馈电流的方向如下图 (a) 所示，集成运放的输入电流等于输入电流 i_i 与 i_f 之差，故引入了并联负反馈。再利用输出短路法，令 $v_o = 0$ 时， $i_f = 0$ ，故电路引入路直流负反馈和交流电压并联负反馈。

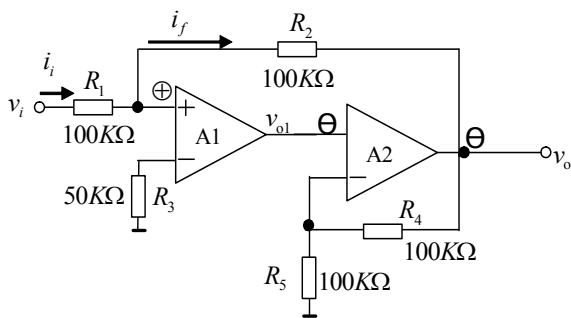
当集成运放为理想运放时，根据“虚短”和“虚断”的特点，可知， $i_i = i_f, v_+ = v_- = 0$ ，

$$A_{vf} = \frac{v_o}{v_i} \approx \frac{-R_2 i_f}{R_1 i_i} = \frac{-R_2}{R_1} = -1$$

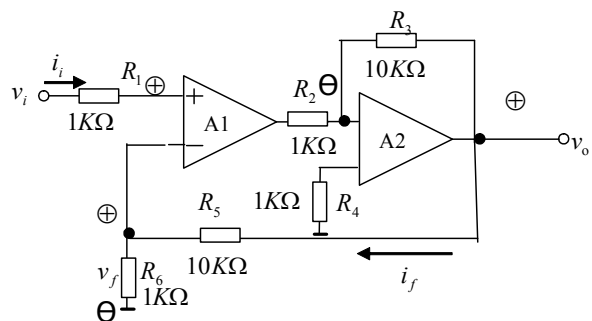
(2) 在图 1(b) 中， R_5 在直流通路和交流通路中均将输入回路和输出回路连接起来，故电路引入了直流反馈和交流反馈，设 v_i 对地的瞬时极性为“+”，利用瞬时极性法可得电路各点的电位极性以及输入电流、反馈电流的方向如图 (b)，集成运放的输入电压等于输入电压 v_i 与 v_f 之差，故引入了串联负反馈。再利用输出短路法，令 $v_o = 0$ 时， $i_f = 0$ ，故电路引入了直流负反馈和交流电压串联负反馈。

当集成运放为理想运放时，根据“虚短”和“虚断”的特点，可知， $v_i = v_f$ ，

$$Av_f = \frac{v_o}{v_i} \approx \frac{v_o}{v_f} = \frac{v_o}{\frac{R_6}{R_5 + R_6} \cdot v_o} = 1 + \frac{R_5}{R_6} = 11$$



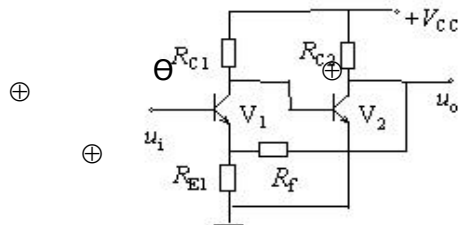
(a)



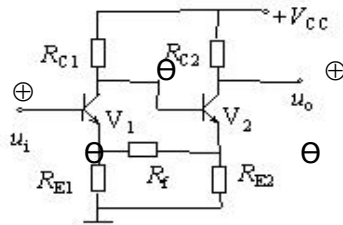
(b)

2、解：

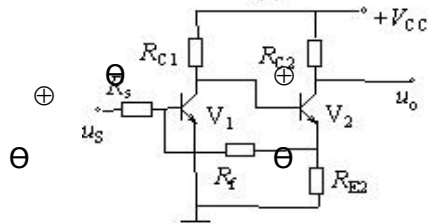
(1) 在图 2 (a) 中，设 u_i 对地的瞬时极性为 “+”，利用瞬时极性法可得电路各点的电位极性如图 (a) 所示，输出电压 u_o 作用于 R_f ， R_{E1} ，在 R_{E1} 上产生的电压即为反馈电压 u_f ，减小了三极管 b-e 之间的输入电压，故电路引入了串联负反馈；再利用输出短路法，



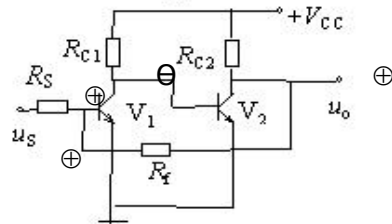
(a)



(b)



(c)



(d)

令 $u_o = 0$ 时， $u_f = 0$ ，因此，该电路引入了电压串联负反馈。

(2) 在图 2 (b) 中，设 u_i 对地的瞬时极性为 “+”，利用瞬时极性法可得电路各点的电位极性如图 (b) 所示，输出电压 u_o 在 R_{E1} 上产生的电压即为反馈电压 u_f ，增大了三极管 b-e 之间的输入电压，故电路引入了正反馈。

(3) 在图 2 (c) 中, 设 u_i 对地的瞬时极性为 “+”, 利用瞬时极性法可得电路各点的电位极性如图 (c) 所示, 反馈信号和输入信号加于输入回路同一点, 瞬时极性相反, 故电路引入了并联负反馈; 再利用输出短路法, 令 $u_o = 0$ 时, i_f 仍然存在, 故电路引入了电流并联负反馈。

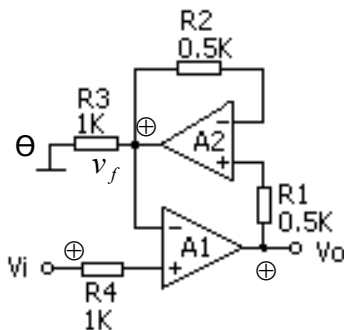
(4) 在图 2 (d) 中, 设 u_i 对地的瞬时极性为 “+”, 利用瞬时极性法可得电路各点的电位极性如图 (d) 所示, 反馈信号和输入信号加于输入回路同一点, 瞬时极性相同, 故电路引入了正反馈。

3、解:

在图 3 中, 设 v_i 对地的瞬时极性为 “+”, 利用瞬时极性法可得电路各点的电位极性如下图, 集成运放的输入电压等于输入电流 v_i 与 v_f 之差, 故电路引入了串联负反馈。再利用输出短路法, 令 $v_o = 0$ 时, $v_f = 0$, 故电路引入了电压串联负反馈。

当集成运放为理想运放时, 在深度反馈条件下, 根据“虚短”和“虚断”的特点, 可知 $v_+ = v_-$,

$i_+ = i_- = 0$, 因此 $v_o = v_f = v_i = 1V$



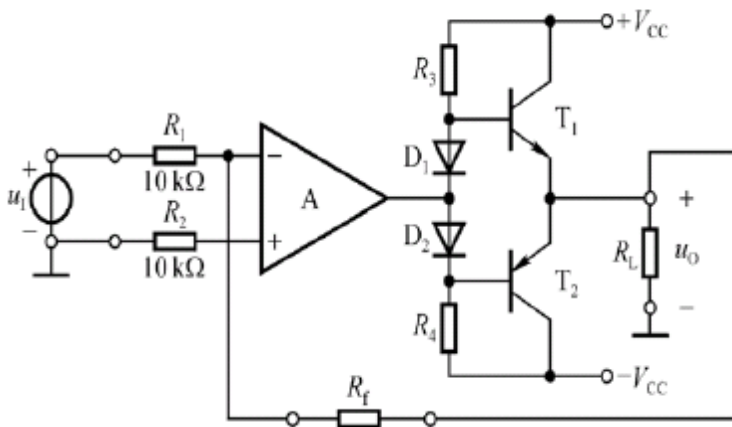
4、解:

(1) 为使电路增大输入电阻, 电路应引入串联负反馈, 减小输出电阻, 应引入电压负反馈, 故图 4 中的电路应引入电压串联负反馈。反馈电阻 R_f 应从三极管 V2 的发射极引向集成运放的反向输入端, 信号源从集成运放的反向端输入, 连接如下图所示。

(2) 当集成运放为理想运放时, 根据“虚短”和“虚断”的特点, 可知, $u_i \approx u_f$;

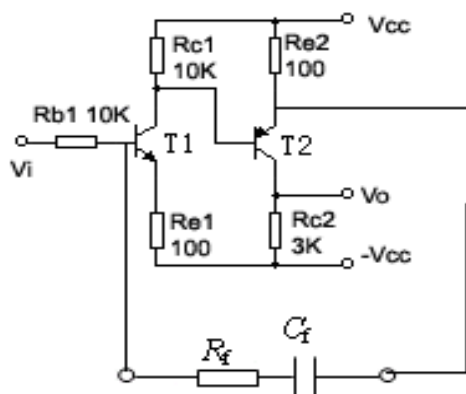
$$A_{uf} = \frac{u_o}{u_i} \approx \frac{u_o}{u_f} = \frac{u_o}{\frac{R_1}{R_1 + R_f} u_o} = 1 + \frac{R_f}{R_1} = 20$$

$$R_f = (20 - 1)R_1 = 190K\Omega$$



5、解：

为了在 R_{C2} 变化时仍能得到稳定的输出电流 I_o ，应引入电流负反馈，为使放大电路具有稳定的电流放大倍数（即输入为电流源），则放大电路应具有比信号源内阻小得多的输入电阻，以获取更大的电流，需引入并联负反馈，因此图 7.5-1 电路中，应引入电流并联负反馈；要使引入的反馈电阻不影响原静态工作点，可以在反馈电阻 R_f 上串接一个足够大的电容 C_f ，接法如下图所示，从 T2 的发射极引回到 T1 的基极。



6、解：

(1) 在图 6 中， R_1 和 R_3 在交流通路中将输入回路和输出回路连接起来，故 R_2 构成了反馈

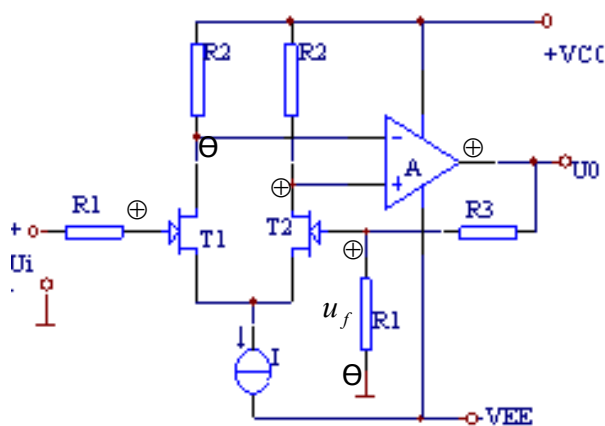
网络。

(2) 设 u_i 对地的瞬时极性为 “+”，利用瞬时极性法可得电路各点的电位极性如下图所示，差分放大器的输入电压等于输入电流 u_i 与 u_f 之差，故引入了串联负反馈。再利用输出短路法，令 $u_o = 0$ 时， $u_f = 0$ ，故电路引入了电压串联负反馈。

$$(3) \text{ 电压串联负反馈组合的反馈系数 } F = \frac{u_f}{u_o} = \frac{u_o \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_3}}{u_o} = \frac{R_1}{R_1 + R_3}$$

(4) 在深度反馈条件下，根据“虚短”和“虚断”的特点， $u_f = u_i$ ，

$$A_{vf} = \frac{u_o}{u_i} = \frac{u_o}{u_f} = \frac{1}{F} = 1 + \frac{R_3}{R_1}$$



7、解：

$$A_{vf} = \frac{A_v}{1 + A_v F_v} = \frac{2000}{1 + 2000 \times 0.0495} = 20$$

$$v_i = \frac{v_o}{A_{vf}} = \frac{2V}{20} = 0.1V$$

$$v_f = F_v v_o = 0.0495 \times 2V = 0.099V$$

$$v_{id} = \frac{v_o}{A_v} = \frac{2V}{2000} = 0.001V$$

8、解：

同相比例放大电路引入了电压串联负反馈，则

$$F_v = \frac{R_1}{R_1 + R_f} = \frac{5.1}{5.1 + 47} \approx 0.098$$

$$A_{vf} = \frac{A_{vo}}{1 + A_{vo} F_v} = \frac{10^6}{1 + 10^6 \times 0.098} \approx 10.2$$

9、解：

(1) R_f 引入了电压并联负反馈；

(2) 若要使电路提高输入电阻，降低输出电阻，需引入电压串联负反馈。连线可以做如下改动：

将 T_3 的基极与 T_1 的集电极相连，同时将 R_f 的一端从 T_1 基极移到 T_2 的基极；或将 T_2 的基极通过 R_{b2} 接 v_i ， T_1 的基极通过 R_{b1} 接地。

(3) 改接前

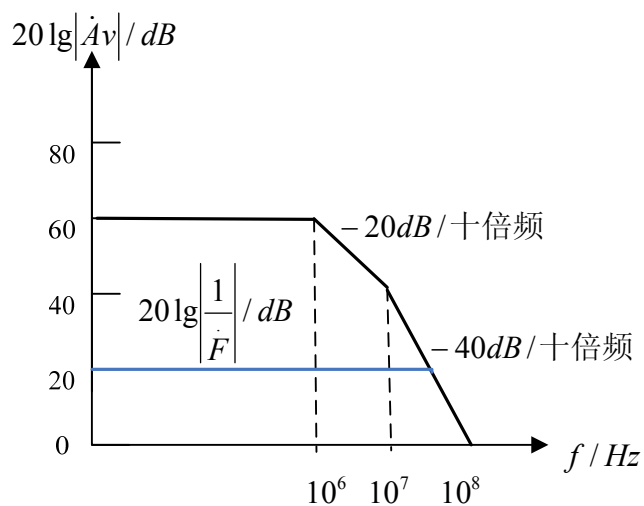
$$A_{vf} = -\frac{R_f}{R_{b1}} = -10$$

改接后

$$A_{vf} = 1 + \frac{R_f}{R_{b2}} = 11$$

10、解：

在深度反馈条件下， $A_{vf} \approx \frac{1}{F}$ ，故 $20 \lg \left| \frac{1}{F} \right| = 20 \text{dB}$ ，基本放大器的幅频特性如下图所示。



根据频率响应的基本知识，在高频段，当 $f = 10f_H$ ，则附加相移约为 -90° ，因此总附加相移约为 -225° ，产生 -180° 附加相移的频率在 $10^7\text{ Hz} \sim 10^8\text{ Hz}$ 之间，根据渐近波特图可知，此时 $20\lg|\dot{A}_v\dot{F}| > 0$ ，故电路一定会产生自激振荡。