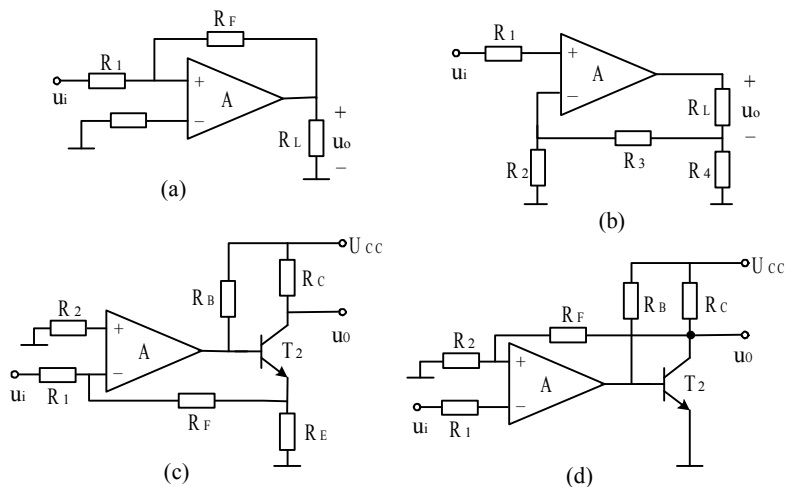


第八章 放大电路中的负反馈

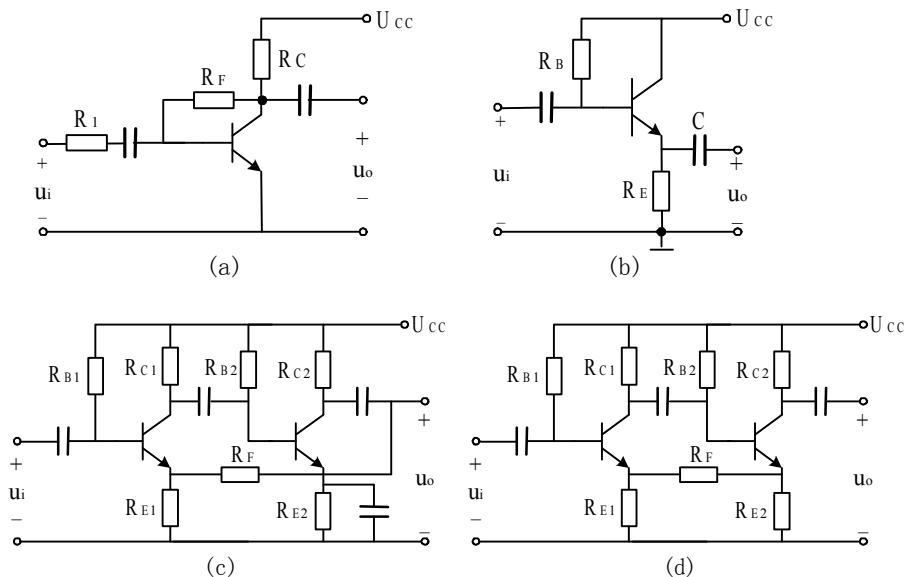
8.1 试判断题 8.1 图所示各电路中反馈的极性和组态。



题8.1图

解：用瞬时极性法可确定 (a) 是正反，(b) (c) (d) 是负反馈。若 $u_o=0$ ，则 (a)、(d) 中反馈消失，而 (b)、(c) 中反馈不消失，故 (a)、(d) 是电压反馈，(b)、(c) 是电流反馈；另外 (a)、(c) 中反馈支路和输入支路接在运放的同一输入端，是并联反馈，(b) (d) 中反馈支路和输入支路接在运放的不同输入端，故是串联反馈。

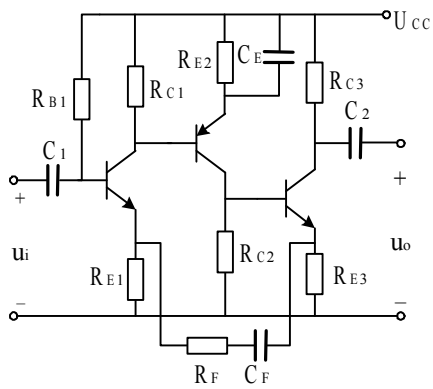
8.2 试判断题 8.2 图所示各电路中反馈的极性和组态，指出反馈元件。



题8.2图

解：用瞬时极性法可确定 (a)、(b)、(c) 是负反馈，(d) 是正反馈，(c、d 只考虑级间反馈)，令 $u_o=0$ ，则 (a)、(b)、(c) 中反馈均消失，而 (d) 中反馈不消失，故 (a) (b)、(c) 是电压反馈，(d) 是电流反馈；另外 (a) 中反馈支路与输入支路接在晶体管的同一输入端（基极），故是并联反馈，而 (b) (c) (d) 中反馈支路与输入支路接在晶体管的不同输入端，故是串联反馈。(a) 中反馈元件是 R_F ；(b) 中反馈元件是 R_E ；(c) 中反馈元件是 R_F 、 R_{E1} ；(d) 中反馈元件是 R_F 、 R_{E1} 、 R_{E2} 。

8.3 在题 8.3 图所示电路中，既有交流反馈，又有直流反馈，分别指出构成交流反馈的反馈元件和构成直流反馈的反馈元件，并分析级间交流反馈的反馈组态。



题8.3图

解：直流反馈的反馈元件是 R_{E1} 、 R_{E2} 和 R_{E3} ，无级间反馈；交流反馈的反馈元件是 R_F 、 C_F 、 R_{E1} 和 R_{E3} ，由瞬时极性法可确定级间交流反馈是负反馈； $u_o=0$ 时，反馈不消失，是电流反馈；反馈支路与输入支路接在晶体管的不同输入端，故是串联反馈，因此，该电路的级间反馈是串联电流交流负反馈。

8.4 指出题 8.1 图和题 8.2 图中哪些电路能稳定输出电压，哪些能稳定输出电流，哪些能提高输入电阻，哪些能降低输出电阻。

解：由于电压负反馈能稳定输出电压，降低输出电阻，电流负反馈能稳定输出电流，故题 8.1 图中 (d) 和题 8.2 图中 (a)、(b)、(c) 能稳定输出电压，降低输出电阻，题 8.1 图中 (b)、(c) 能稳定输出电流。又由于串联负反馈能提高输入电阻，因此题 8.1 图中 (b)、(d) 和题 8.2 图中 (b)、(c) 能提高输入电阻。

8.5 如果要求当负反馈放大电路的开环放大倍数变化 25% 时，其闭环放大倍数变化不超过 1%，又要求闭环放大倍数为 100，问开环放大倍数和反馈系数应选什么值？如果引入的反馈为电压并联负反馈，则输入电阻和输出电阻如何变化？变化了多少？

解：由 $\frac{dA_f}{A_f} = \frac{1}{1+AF} \frac{dA}{A}$ 可得

$$\frac{0.25}{1+AF} \leq 0.01, \quad AF \geq 24$$

又 $A_f = \frac{A}{1+AF} = 100$, 故 $A \geq 2500$, 选 $A=2500$, 则 $F=9.6 \times 10^{-3}$, 如引入的反馈为电压并联负反馈, 则输入电阻和输出电阻均降为原值的 $1/25$ 。

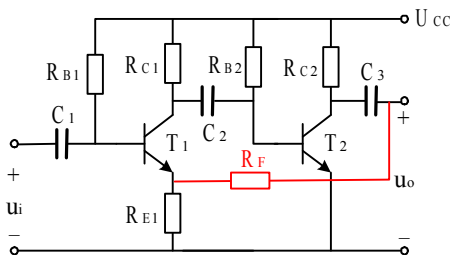
8.6 在题 8.6 图所示的两级放大电路中, 出现了非线性失真。输入信号为正弦波, 其有效值为 10mV , 输出信号由基波和二次谐波组成, 基波分量有效值为 10V , 二次谐波分量有效值为 1V 。求

(1) 若要求二次谐波减小至 0.1V , 如何引反馈, 反馈系数为多少? 反馈电阻如何取值?

(2) 引入反馈后, 如要求其波输出仍为 10V , 应采取什么措施?

解: (1) 原放大电路的电压放大倍数是 1000 , 现要使二次谐波分量由 1V 降为 0.1V , 降为原值的 $1/10$, 则 $1+AF=10$, $F=0.009$, 由于对输入、输出电阻无特别要求, 故可引入电压串联负反馈, 如图所示, 反馈系数

$$F = \frac{R_{E1}}{R_{E1} + R_F} = \frac{9}{1000}, \quad R_F = \frac{991}{9} R_{E1}$$



题8.6图

(2) 引入负反馈后, 电路的电压放大倍数

为 $A_f = \frac{A}{1+AF} = \frac{1000}{10} = 100$, 因此若要求基波输出仍为 10V , 则应提高输入电压,

$$U_i = \frac{U_o}{A_f} = \frac{10}{100} = 0.1\text{V}, \quad \text{即将输入电压提高到 } 100\text{mV}.$$

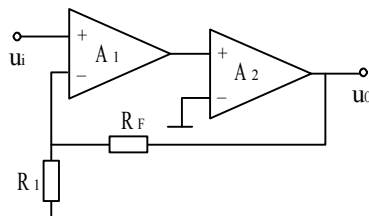
8.7 判断题 8.7 图所示电路的反馈组态, 估算电压放大倍数, 并说明对输入、输出电阻的影响。

解: 电路的反馈组态是电压串联负反馈, $A_f = A_u$,

反馈系数 $F = \frac{R_1}{R_1 + R_F}$ 。由于运放的开环放大倍数很大,

AF 远大于 1 , 因此

$$A_{uf} = A_f = \frac{A}{1+AF} \approx \frac{A}{AF} = \frac{1}{F} = 1 + \frac{R_F}{R_1}$$



题8.7图

又由于运放的输入电阻很大, 引入串联负反馈后, 输入电阻增大到开环时的 $(1+AF)$ 倍, 因此, 电路的输入电阻可看作无限大; 另外, 引入电压负反馈后, 输出电阻要降到开环时的 $1/(1+AF)$, 而运放的输出电阻本来就较小, 因此, 电路的输出电阻可看作为零。

8.8 在深度负反馈条件下，估算题 8.1 中图 (b)、(c)、(d) 三个电路的电压放大倍数。

解：题 8.1 图 (b) 是串联负反馈， $u_f = U_{R2} \approx U_i$ ，

由反相输入端虚断可得 $U_{R4} = \frac{U_i}{R_2}(R_2 + R_3)$

对结点 a 应用 KCL 得

$$\frac{U_0}{R_L} = \frac{U_i}{R_2} + \frac{U_i}{R_2}(R_2 + R_3) \frac{1}{R_4}$$

故 $A_u = \frac{U_0}{U_i} = \frac{(R_2 + R_3 + R_4)R_L}{R_2 R_4}$

题 8.1 图 (c) 电路为并联负反馈， $I_i \approx I_f$ ，由虚短可得

$$I_i = \frac{U_i}{R_1}, \quad I_f = \frac{R_E}{R_F + R_E} I_e = \frac{R_E}{R_F + R_E} I_C = \frac{R_E}{R_F + R_E} \frac{U_0}{R_C}$$

由 $\frac{U_i}{R_1} = \frac{R_E}{R_F + R_E} \frac{U_0}{R_C}$ 可得

$$A_u = \frac{U_0}{U_i} = \left(1 + \frac{R_F}{R_E}\right) \frac{R_C}{R_1}$$

题 8.1 图 (d) 电路为串联负反馈

$$U_i \approx U_f = U_{R2} = \frac{R_2}{R_2 + R_F} U_0,$$

故 $A_u = \frac{U_0}{U_i} = 1 + \frac{R_F}{R_2}$

8.9 设题 8.2 中图 (a)、(c) 电路满足深度负反馈条件，试估算其电压放大倍数。

解：题 8.2 图 (a) 电路为电压并联负反馈，在深度负反馈条件下， $I_b=0$ ， $I_i=I_f$ ，基极电位可看作零，这样

$$I_i = \frac{U_i}{R_1} = I_f = \frac{-U_0}{R_F}$$

因此 $A_u = \frac{U_0}{U_i} = -\frac{R_F}{R_1}$

题 8.2 图 (c) 电路为电压串联负反馈，在深度负反馈条件下，

$$U_i \approx U_f = U_{R_{E1}} = \frac{R_{E1}}{R_{E1} + R_F} U_0$$

故
$$A_u = \frac{U_0}{U_i} = 1 + \frac{R_F}{R_{E1}}$$

8.10 负反馈电路如题 8.10 图所示，若要降低输出电阻，应从 C 点和 E 点中哪点引出输出电压？设负载电阻为 R_L ，分别估算从 C 点输出电压和从 E 点输出电压时的电压放大倍数。

解：要降低输出电阻，应引入电压负反馈，因此，输出电压要从 E 点引出。

电路从 C 点引出输出电压时

$$I_e = I_c = \frac{-U_0}{R'_L}$$

$$U_i = U_f = R_E I_e = -\frac{R_E}{R'_L} U_0$$

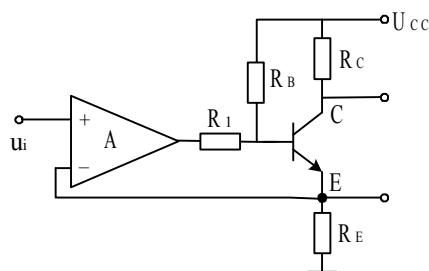
电压放大倍数

$$A_u = \frac{U_0}{U_i} = -\frac{R'_L}{R_E} = -\frac{R_C \parallel R_L}{R_E}$$

电路从 E 点引出输出电压时

$$U_i = U_f = U_0$$

$A_u = 1$ ，与 R_L 无关。



题8.10图