

6.2 负反馈对放大电路性能的影响

6.2.1 降低了放大倍数

$$A_f = \frac{A}{1 + AF} < A$$

6.2.2 稳定被取样的输出信号

电压反馈可以稳定输出电压

电流反馈可以稳定输出电流

6.2.3 提高放大倍数的稳定性

由
$$A_f = \frac{A}{1 + AF} \quad (1)$$

得
$$dA_f = \frac{1}{(1 + AF)^2} dA \quad (2)$$

将 (2) / (1)
$$\frac{dA_f}{A_f} = \frac{1}{1 + AF} \frac{dA}{A}$$

或
$$\frac{\Delta A_f}{A_f} = \frac{1}{1 + AF} \frac{\Delta A}{A}$$

6.2.4 扩展通频带

已知高频区电路开环放大倍数

$$\dot{A}_H = \frac{\dot{A}_m}{1 + j \frac{f}{f_H}}$$

式中

A_m 为中频区的开环放大倍数

f_H 为上限截止频率

设反馈系数为实数F（为方便）

引入负反馈后高频区闭环放大倍数为

$$\dot{A}_{Hf} = \frac{\dot{A}_H}{1 + \dot{A}_H F} \quad \text{将 } \dot{A}_H = \frac{A_m}{1 + j \frac{f}{f_H}} \quad \text{代入上式得}$$
$$\dot{A}_{Hf} = \frac{\frac{A_m}{1 + j \frac{f}{f_h}}}{1 + \frac{A_m}{1 + j \frac{f}{f_h}} F} = \frac{\frac{A_m}{1 + j \frac{f}{f_h}}}{1 + j \frac{f}{f_h (1 + A_m F)}} = \frac{A_{mf}}{1 + j \frac{f}{f_{hf}}}$$

$$\dot{A}_{\text{Hf}} = \frac{A_{\text{mf}}}{1 + \text{j} \frac{f}{f_{\text{Hf}}}}$$

式中

$$A_{\text{mf}} = \frac{A_{\text{m}}}{1 + A_{\text{m}}F}$$

$$f_{\text{Hf}} = f_{\text{H}}(1 + A_{\text{m}}F)$$

f_{Hf} 为引入负反馈后的电路**上限截止频率**

同理可证，引入负反馈后的电路下限截止频率

$$f_{Lf} = \frac{f_L}{1 + A_m F}$$

引入负反馈后**电路的通频带**

$$f_{bwf} = f_{Hf} - f_{Lf}$$

$$\approx f_{Hf}$$

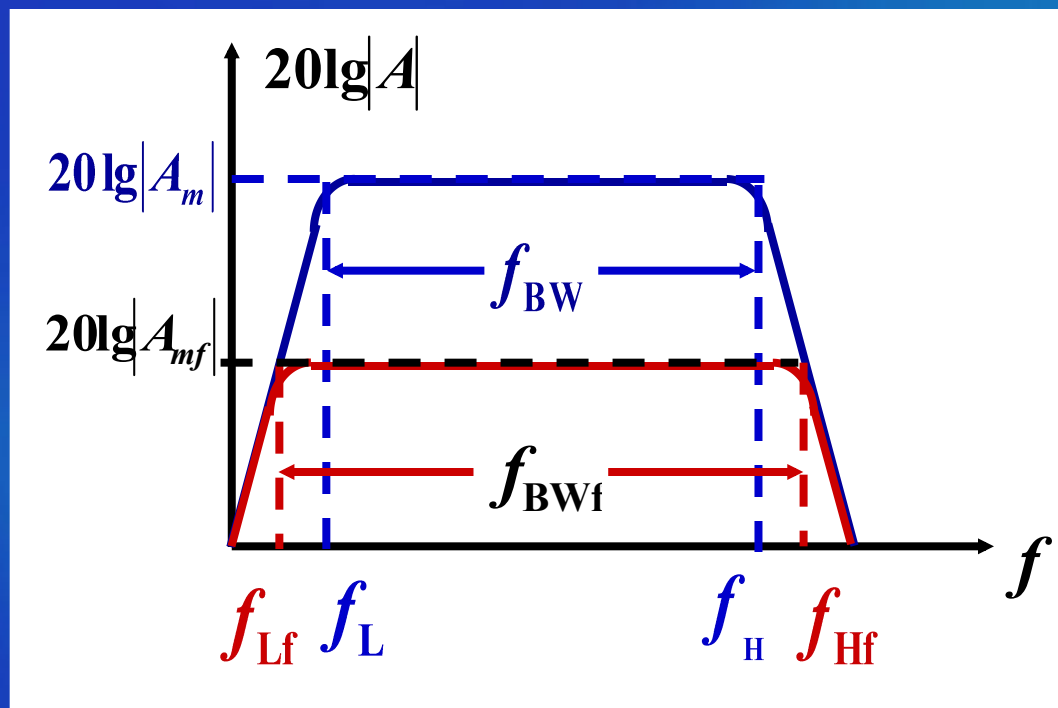
$$= (1 + A_m F) f_H$$

由于开环电路的通频带

$$f_{bw} = f_h - f_L \approx f_h$$

故 $f_{bwf} = (1 + A_m F) f_h$
 $\approx (1 + A_m F) f_{bw}$

增益带宽积



$$A_{mf} f_{bwf} = A_m f_{bw} = \text{常数}$$

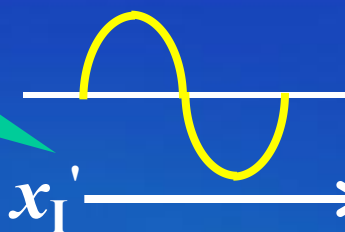
(注：只适合一阶惯性环节的放大电路)

可见，放大电路扩展通频带是以牺牲放大倍数来换取的。

6.2.5 减小非线性失真

减小非线性失真原理

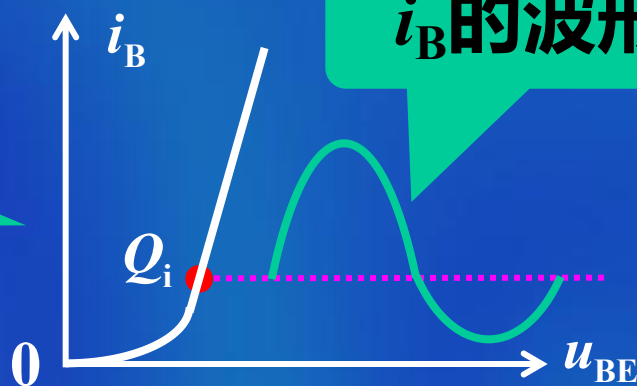
输入信号



开环放大电路

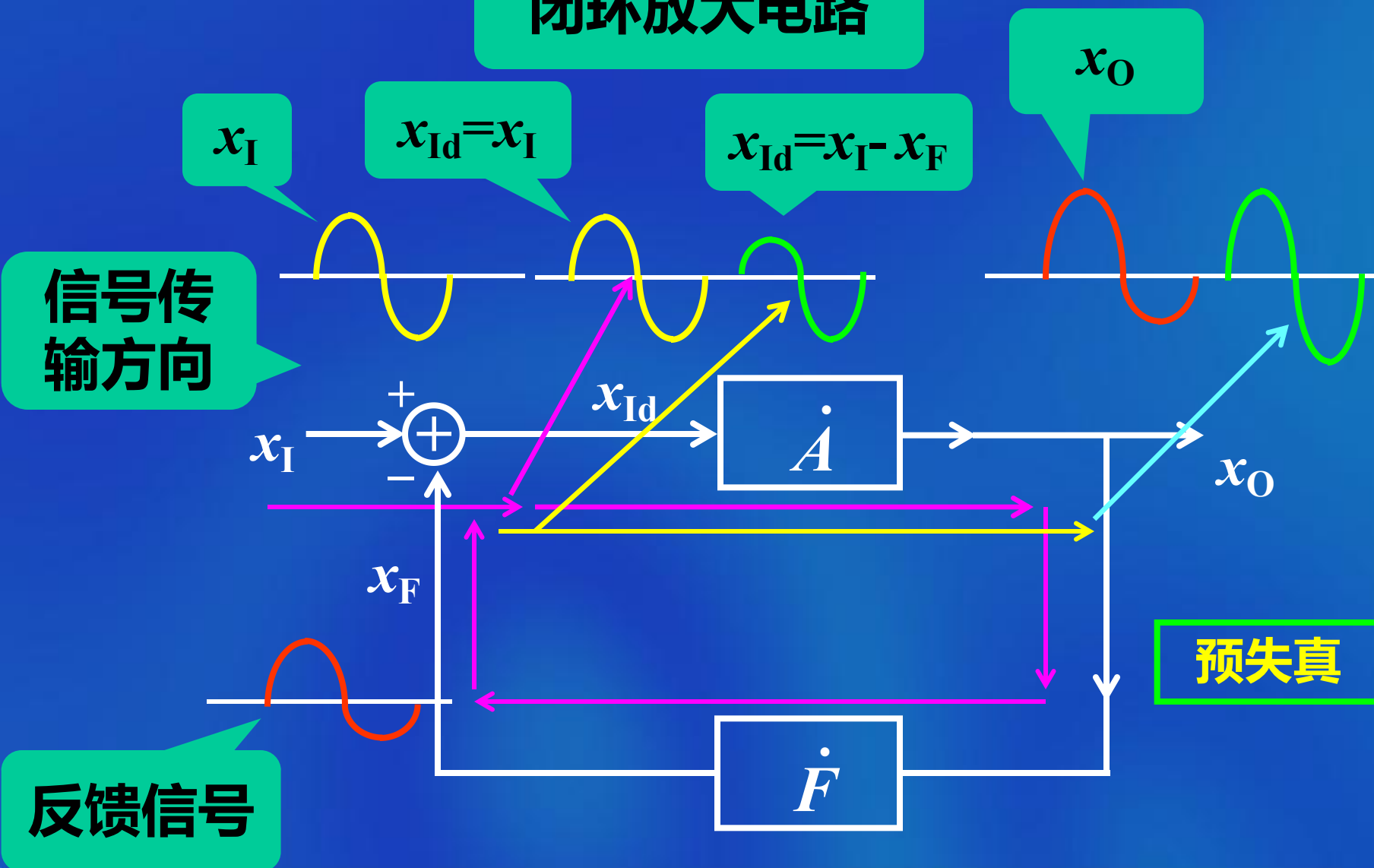
输出信号

非线性失真



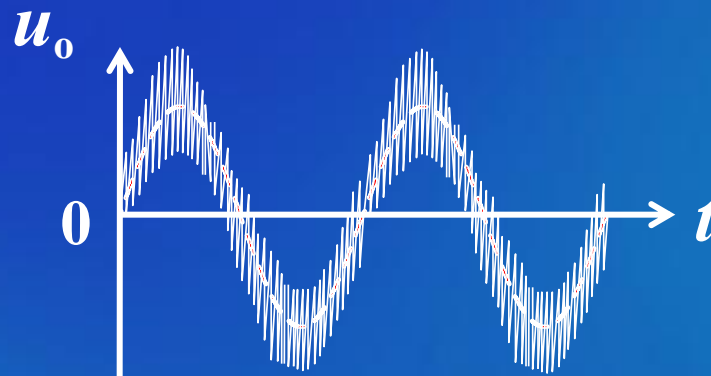
i_B 的波形图

闭环放大电路

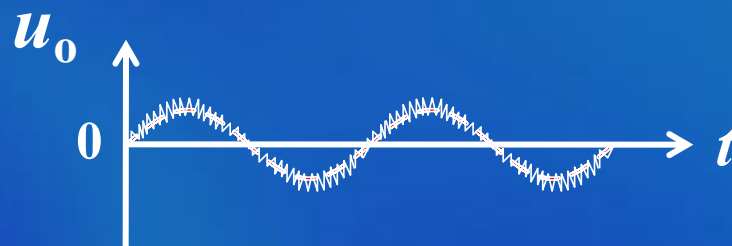


5.2.6 抑制反馈环内的干扰和噪声

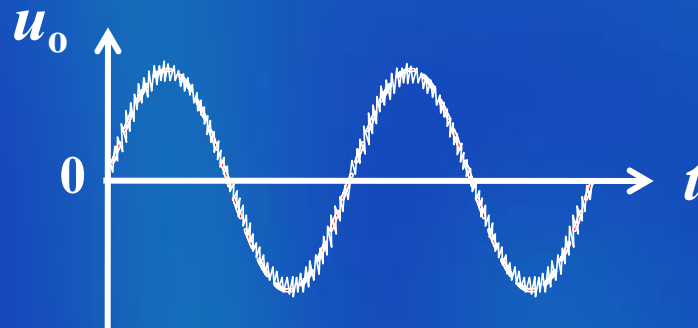
无反馈时信号与噪声
的输出波形



有反馈 时信号与噪
声的输出波形



提高输入信号幅度
后的输出波形



6.2.7 对输入电阻和输出电阻的影响

1. 对输入电阻的影响

(1) 串联负反馈

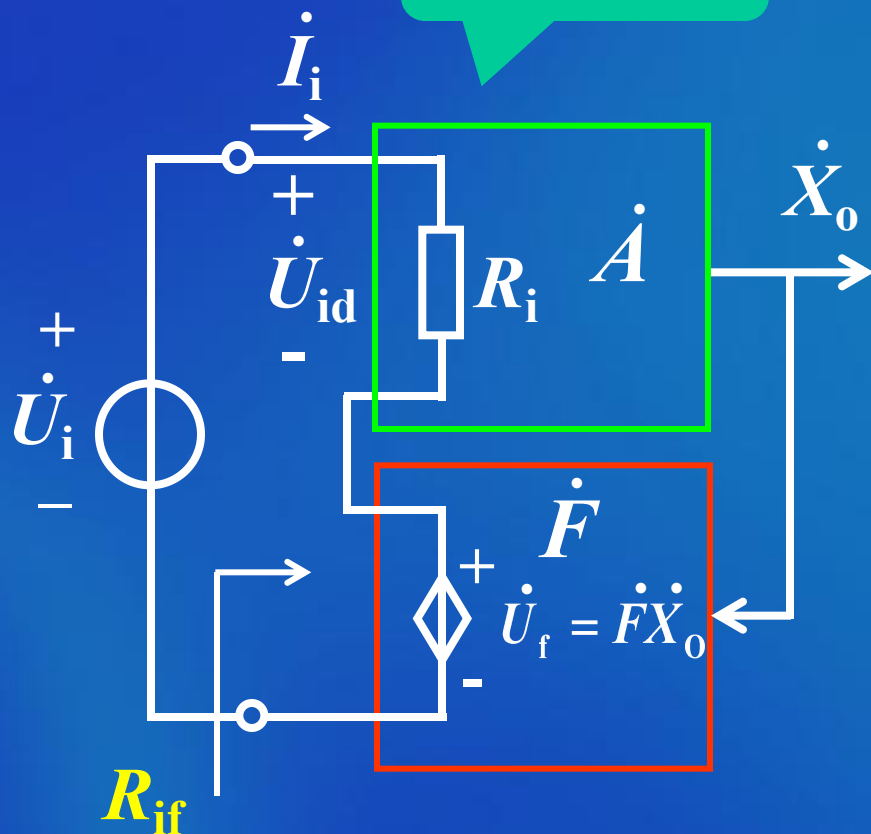
基本放大电路的输入电阻

$$R_i = \frac{U_{id}}{I_i}$$

负反馈放大电路的输入电阻

$$R_{if} = \frac{U_i}{I_i} = \frac{U_{id} + U_f}{I_i}$$

方框图



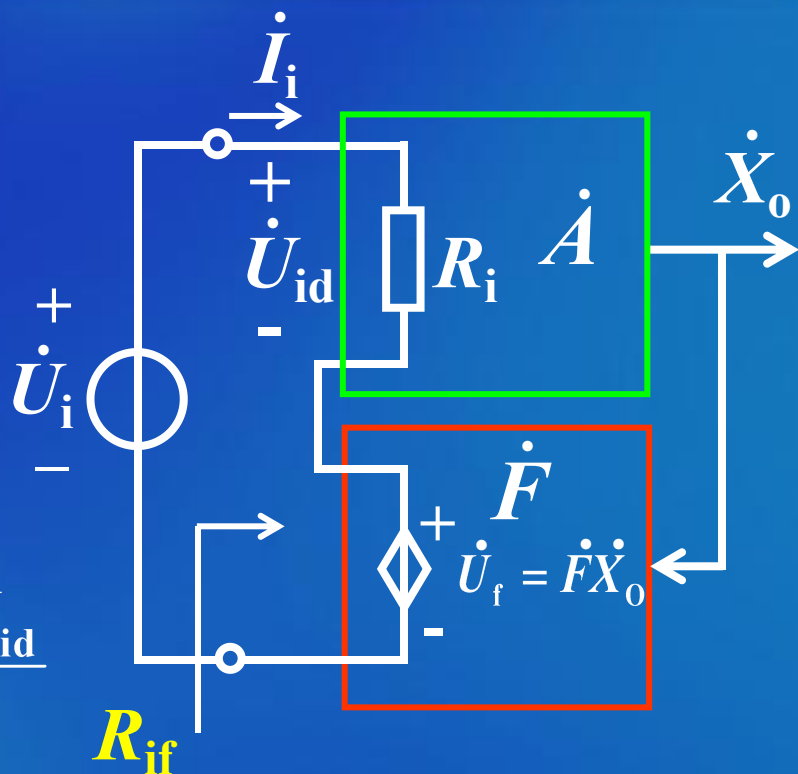
由于 $X_o = AU_{id}$

$$U_f = FX_o = AFU_{id}$$

故 输入电阻

$$R_{if} = \frac{U_i}{I_i} = \frac{U_{id} + U_f}{I_i} = \frac{U_{id} + AFU_{id}}{I_i}$$

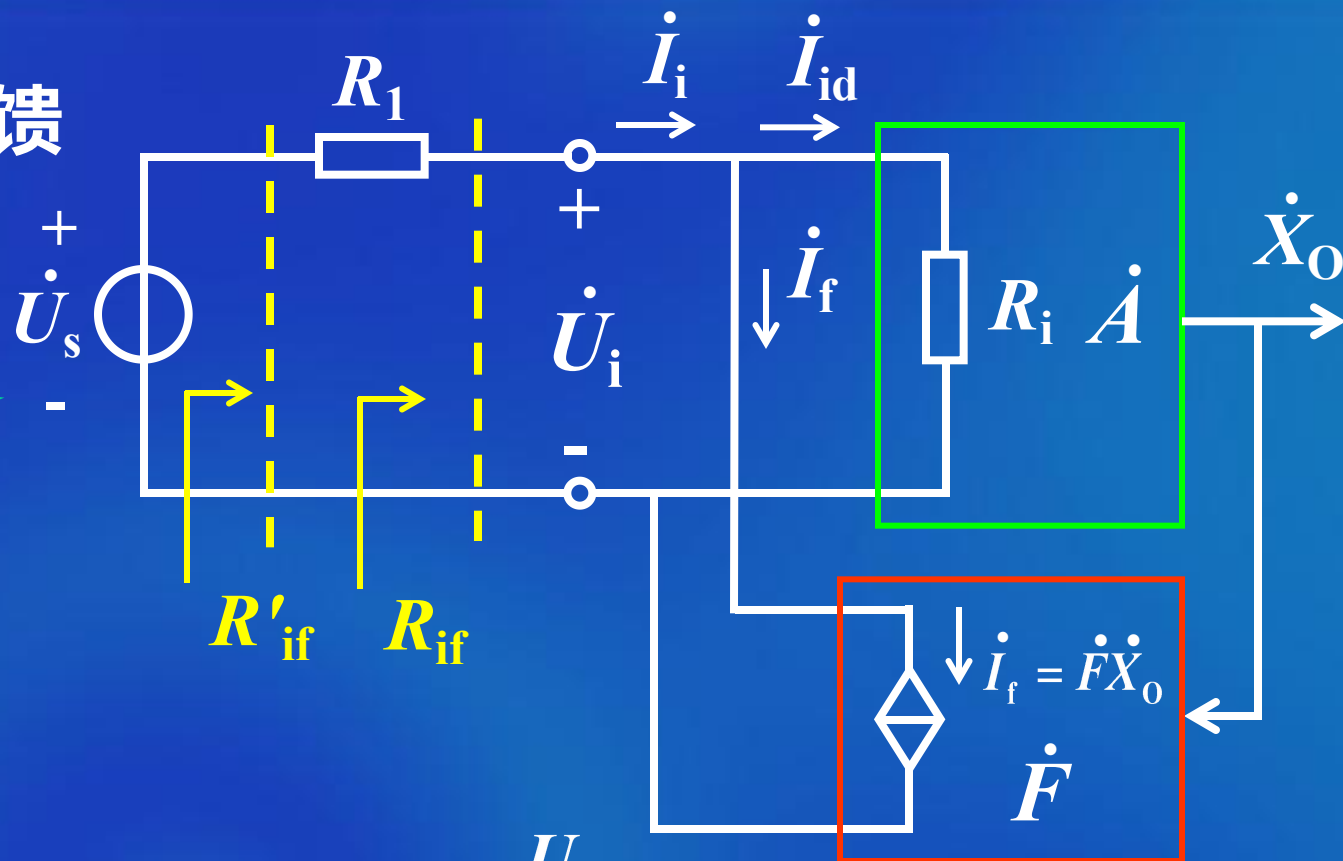
$$= \frac{U_{id}(1 + AF)}{I_i} = (1 + AF)R_i$$



串联负反馈增大输入电阻

(2) 并联负反馈

方框图



基本放大电路的输入电阻

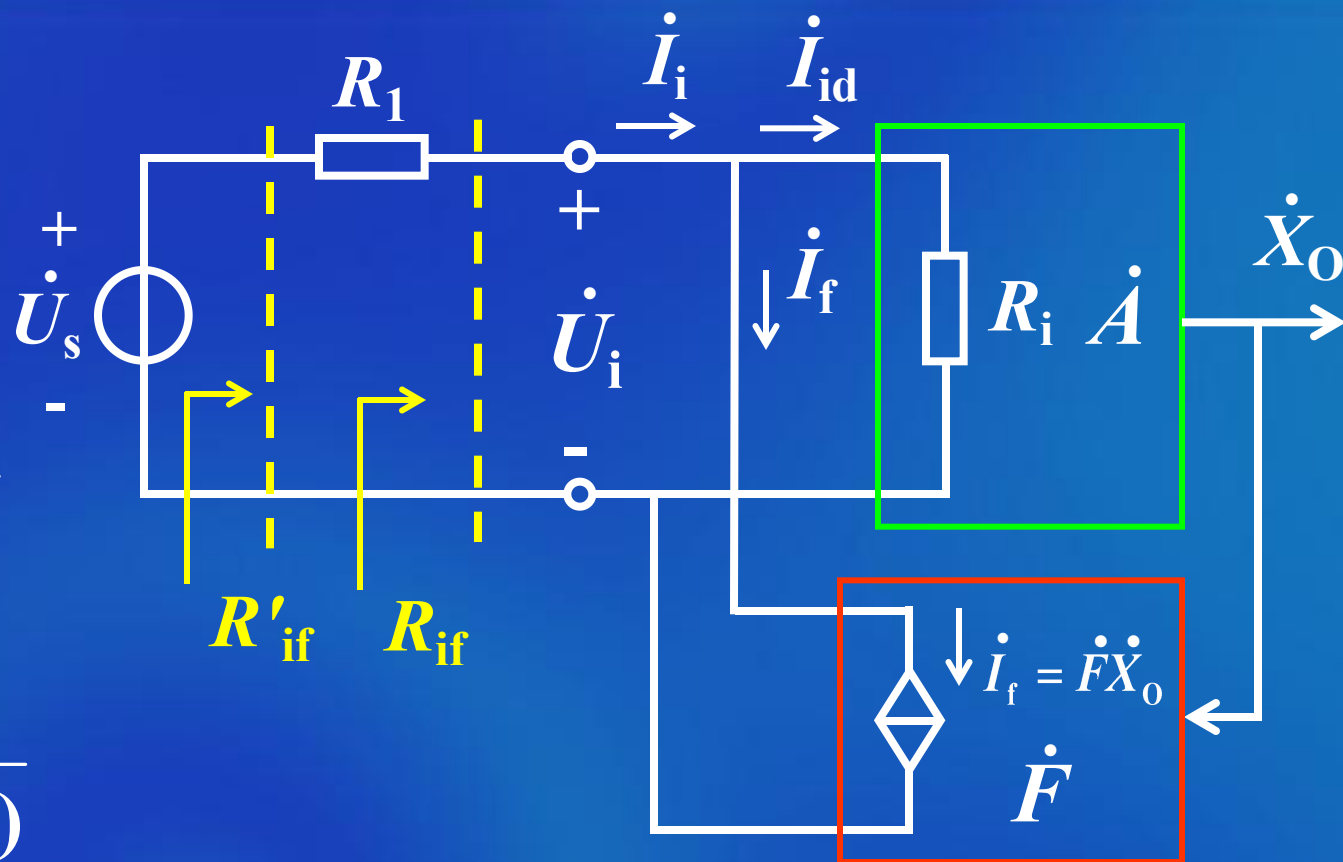
$$R_i = \frac{U_i}{I_{id}}$$

负反馈放大电路输入电阻

$$R_{if} = \frac{U_i}{I_i}$$

$$\begin{aligned}
 R_{if} &= \frac{U_i}{I_{id} + I_f} \\
 &= \frac{U_i}{I_{id} + FAI_{id}} \\
 &= \frac{U_i}{I_{id}(1 + FA)}
 \end{aligned}$$

$$= \frac{R_i}{1 + AF}$$



并联负反馈减小输入电阻

总 结

- 串联电路，电阻增大；
- 串联负反馈，提高输入电阻，
- 和开环时相比，输入电阻提高 $1+AF$ 倍

- 并联电路，电阻减小；
- 并联负反馈，降低输入电阻，
- 和开环时相比，输入电阻减小 $1/1+AF$ 倍

2 . 对输出电阻的影响

(1) 电压负反馈

根据输出电阻的定义

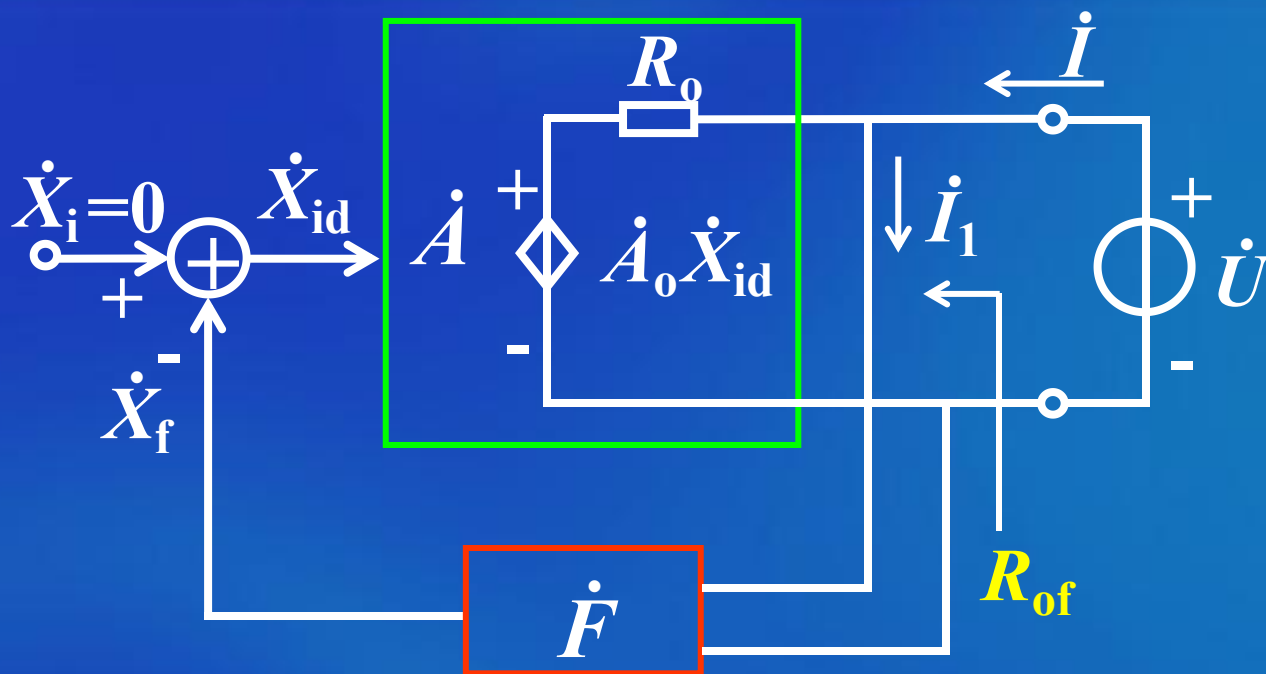
$$R_o = \left. \frac{U}{I} \right|_{\substack{R_L = \infty \\ X_i = 0}}$$

画出求输出电阻的等效电路方框图

图中

$$\dot{A}_0 = \left. \frac{\dot{U}_o}{\dot{X}_{id}} \right|_{R_L = \infty}$$

由图可知



$$U = IR_0 + A_0 X_{id} \quad X_{id} = X_i - X_f = -X_f \quad X_f = FX_o = FU$$

$$U = IR_0 - A_0 FU \quad \text{故输出电阻}$$

$$R_{of} = \frac{U}{I} = \frac{R_0}{1 + A_0 F}$$

电压负反馈使
输出电阻减小

(2) 电流负反馈

求输出电阻的等效电路

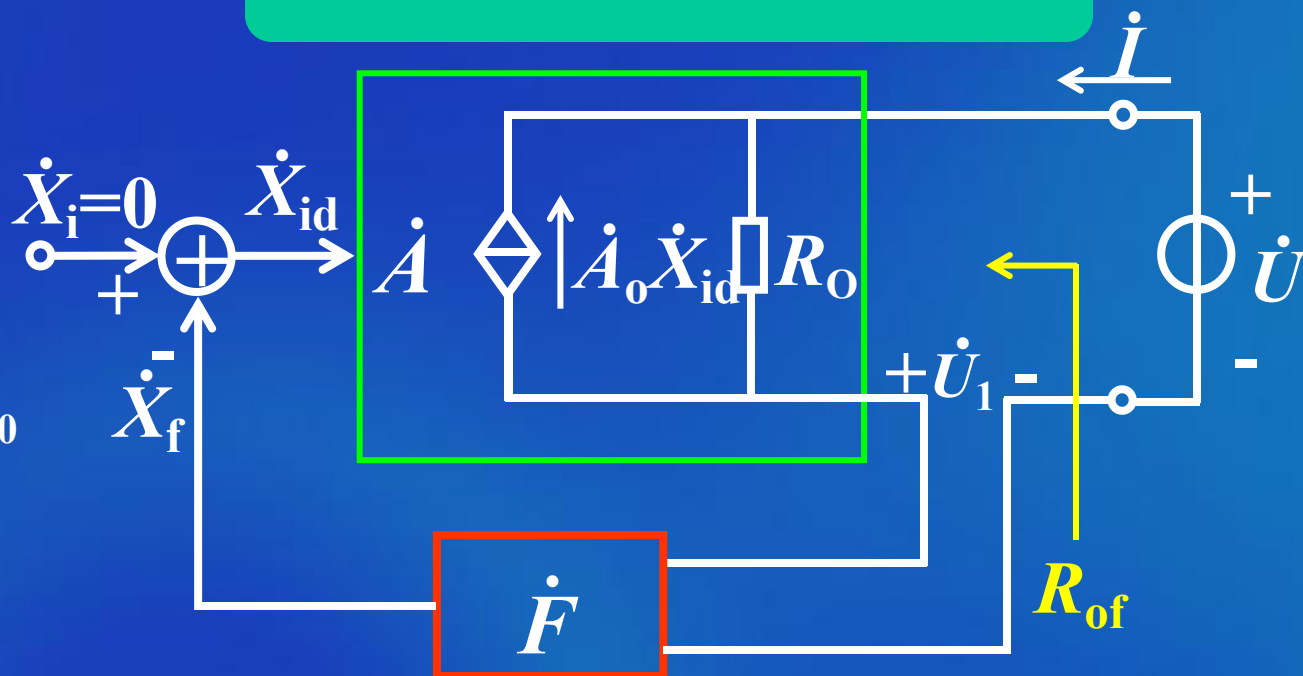
图中

$$A_o = \left. \frac{\dot{I}_o}{\dot{X}_{id}} \right|_{R_L=0}$$

推导过程略

则

$$R_{of} = \frac{U}{I} = R_o (1 + A_o F)$$



电流负反馈使
输出电阻**增大**

总 结

- 电压负反馈，稳定输出电压 - - 恒压源；
- 恒压源，内阻小；
- 电压负反馈减小输出电阻，
- 减小到基本放大电路输出电阻的 $1/(1+A_0F)$ 倍。

- 电流负反馈，稳定输出电流 - - 恒流源；
- 恒流源，内阻大；
- 电流负反馈提高输出电阻，
- 提高到基本放大电路输出电阻的 $1+A_0F$ 倍。

负反馈对放大电路性能的影响

- 1 降低了放大倍数
- 2 稳定被取样的输出信号
- 3 提高放大倍数的稳定性
- 4 扩展通频带
- 5 减小非线性失真
- 6 抑制反馈环内的干扰和噪声
- 7 对输入电阻和输出电阻的影响

电压反馈可以稳定输出电压

电流反馈可以稳定输出电流

$$A_f = \frac{A}{1 + AF} < A$$

总 结

- 串联电路，电阻增大；
- 串联负反馈，提高输入电阻，
- 和开环时相比，输入电阻提高 $1+AF$ 倍
- 并联电路，电阻减小；
- 并联负反馈，降低输入电阻，
- 和开环时相比，输入电阻减小 $1/(1+AF)$ 倍

总 结

- 电压负反馈，稳定输出电压 - - 恒压源；
- 恒压源，内阻小；
- 电压负反馈减小输出电阻，
- 减小到基本放大电路输出电阻的 $1/(1+A_0F)$ 倍。

- 电流负反馈，稳定输出电流 - - 恒流源；
- 恒流源，内阻大；
- 电流负反馈提高输出电阻，
- 提高到基本放大电路输出电阻的 $1+A_0F$ 倍。

6.2.6 正确引入反馈

注意：一定要保证引入的是负反馈

正确引入负反馈应考虑的两个主要问题：

a. 选择合适的负反馈放大电路的类型

对于**电压**放大器：

选择电压串联负反馈

对于**电流**放大器：

选择电流并联负反馈

对于**电压—电流**变换器：

选择电流串联负反馈

对于**电流—电压**变换器：

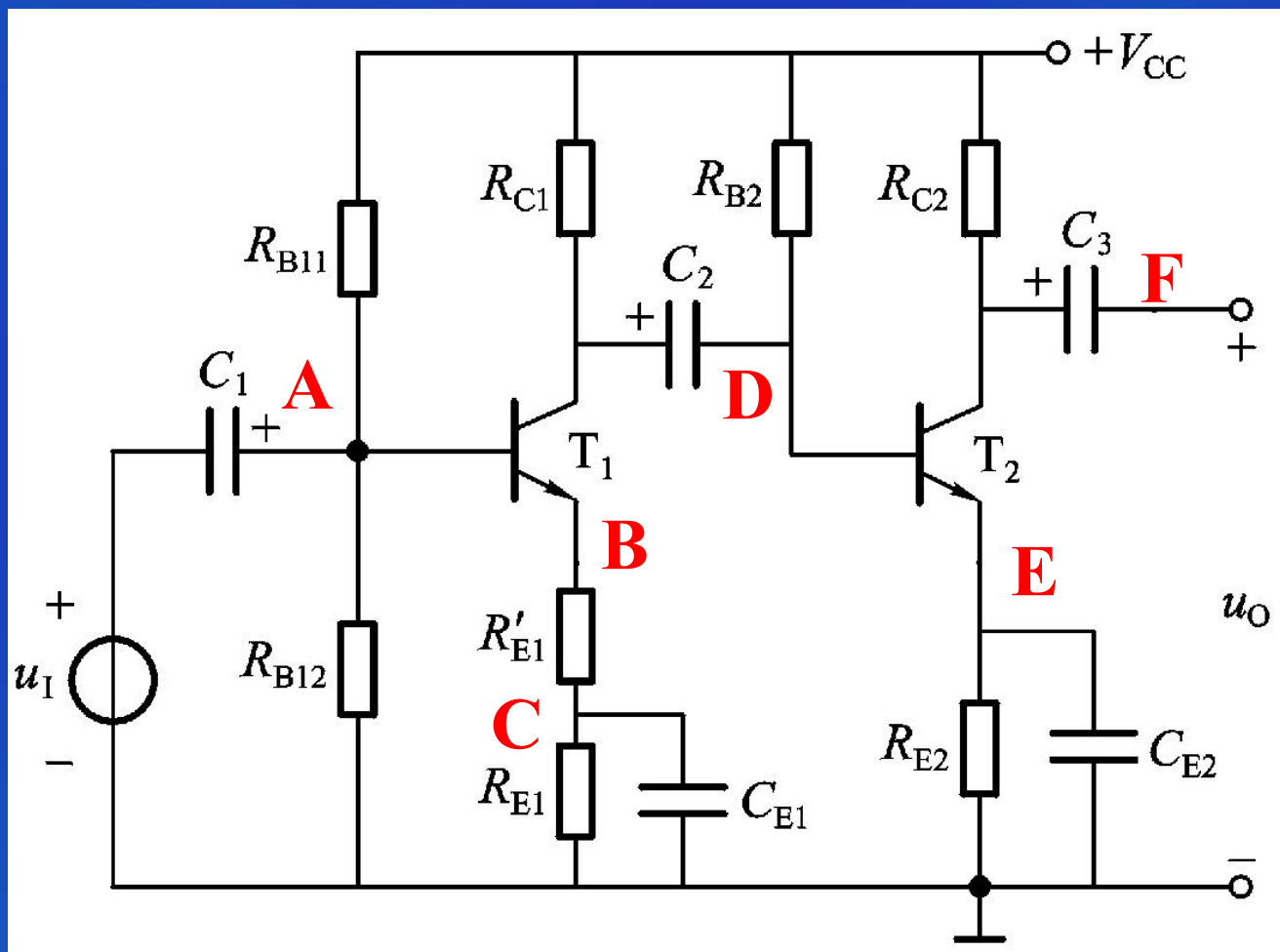
选择电压并联负反馈

b. 正确选用各元件参数

选择元件参数的依据:

反馈深度 $1+AF$

目前，设计放大电路大多都选用集成运算放大器，一旦运放选定后， A_u 、 R_o 、 R_i 即被确定，剩下的工作就是估算反馈系数 F 。



(a)

教材第二版

P200 题5.10

教材第三版

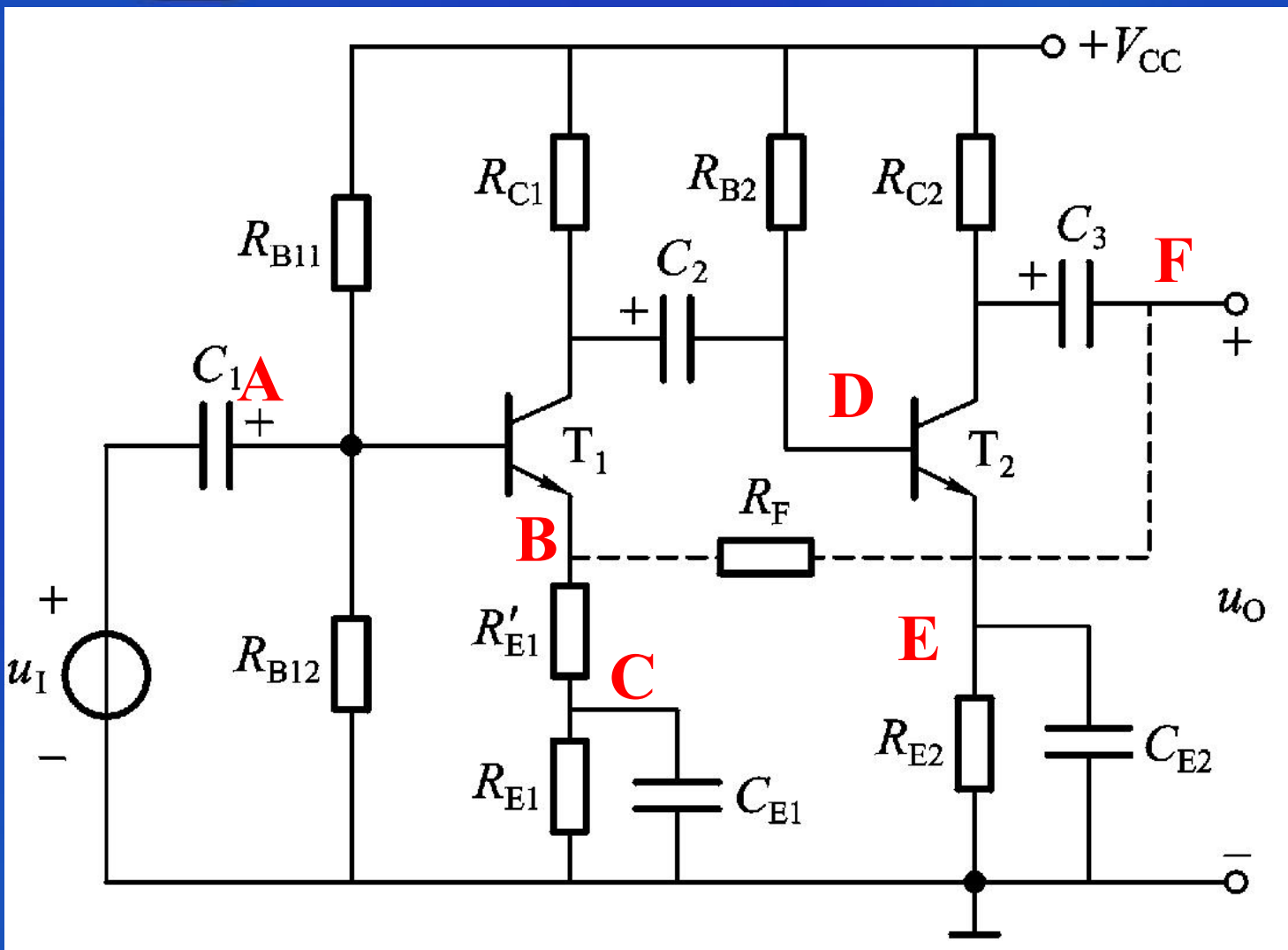
P221 题6.13

需要稳定
输出电压

反馈电阻应
该接在



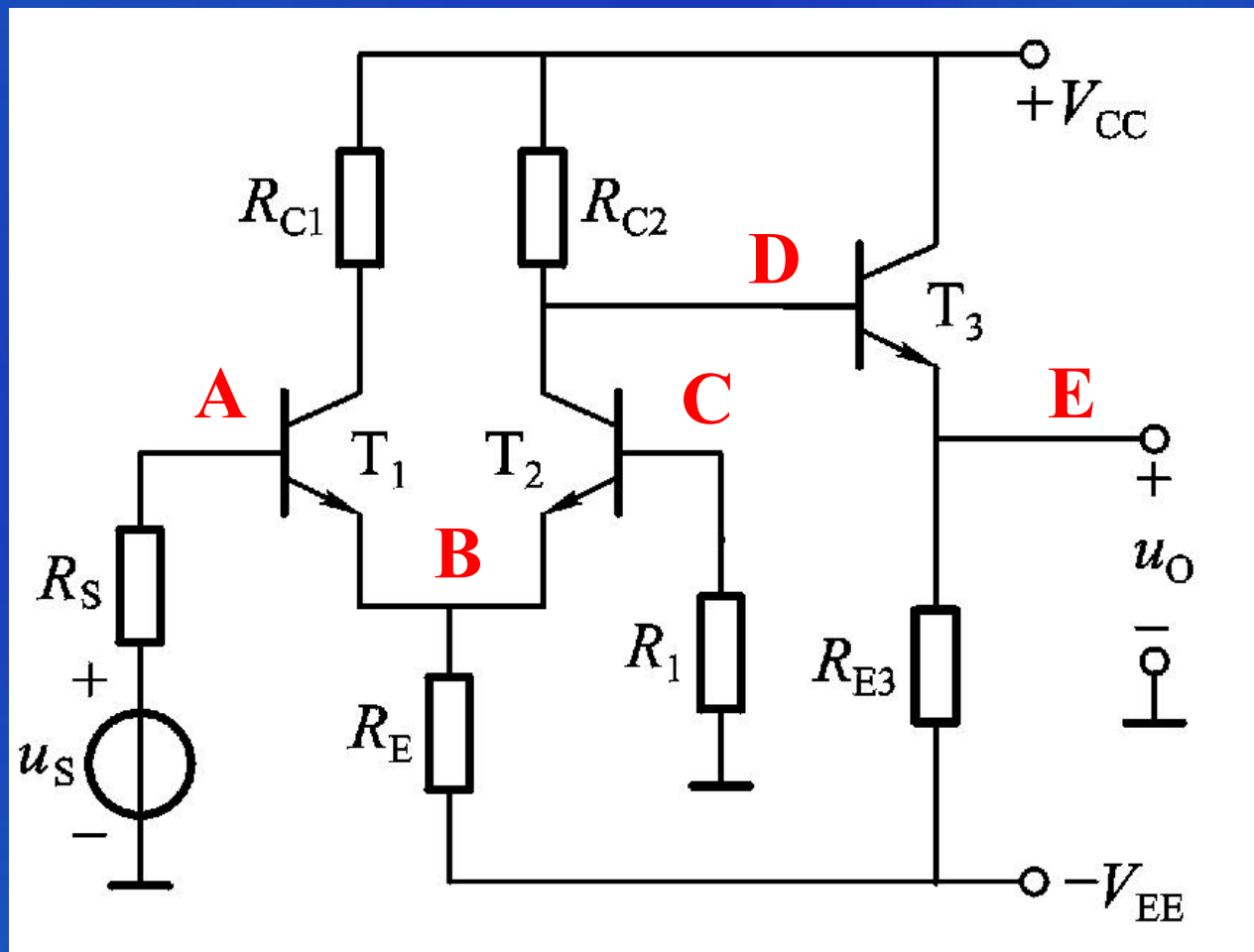
?



反馈电阻
应该接在



B 与 F 之间



(b)

教材第二版
P200 题5.10

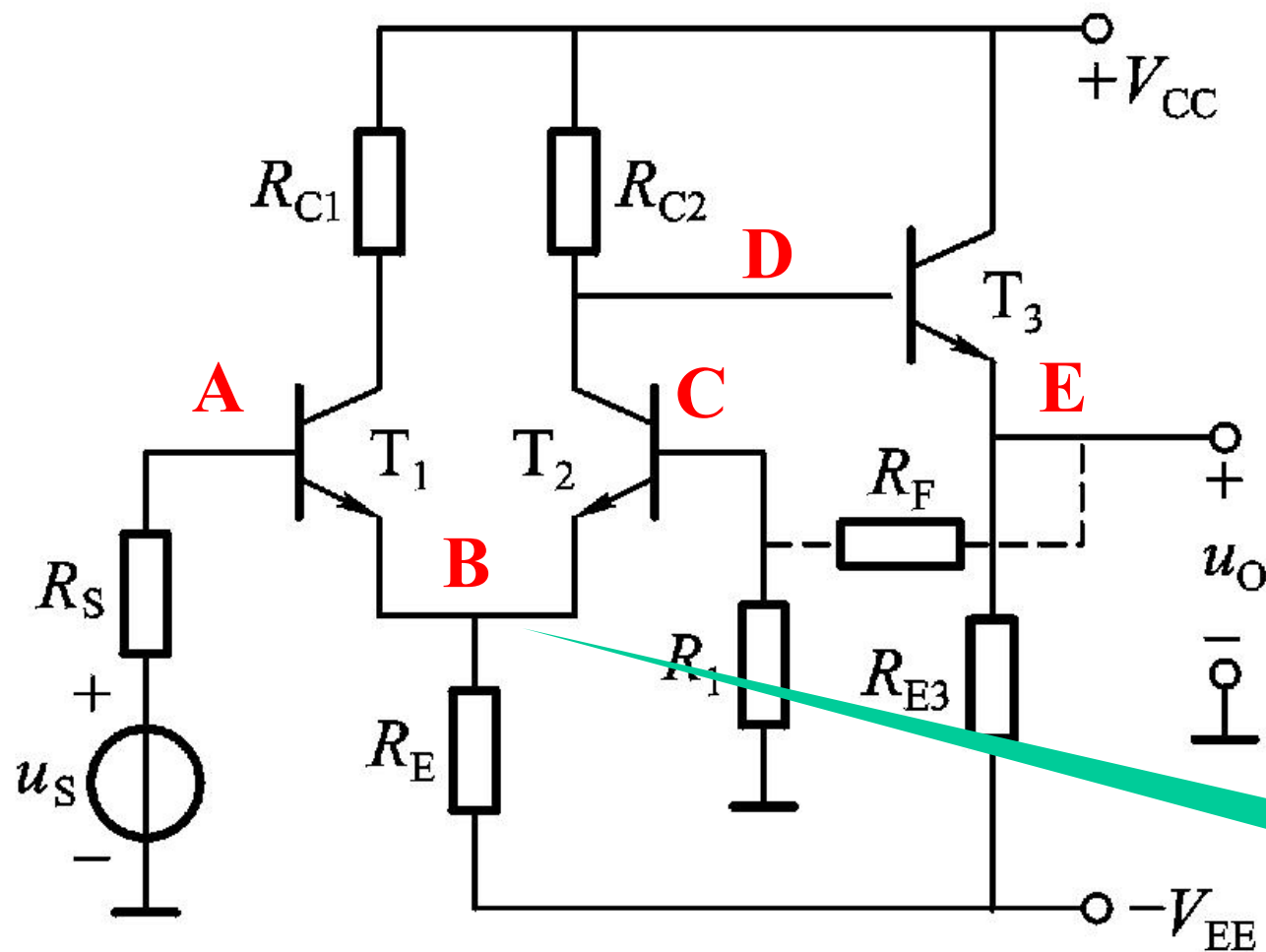
教材第三版
P221 题6.13

需要稳定
输出电压

反馈电阻
应该接在

?





E 与 C 之间

不能接