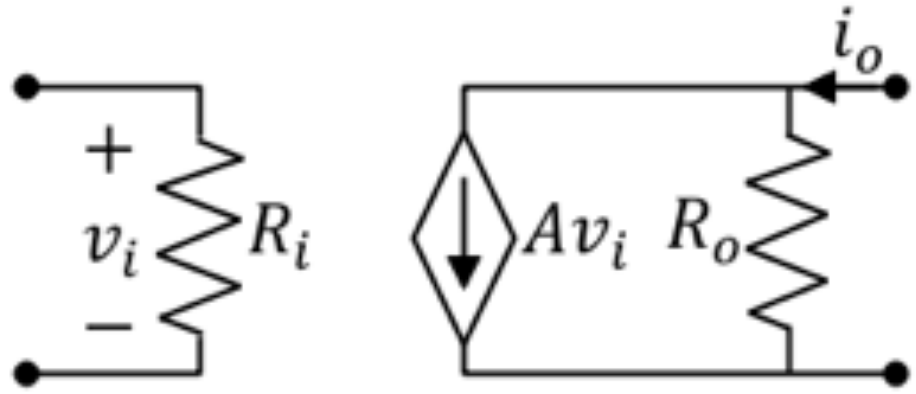
الکترونیک ۲
تقویت کننده های دارای فیدبک

ارائه دهنده: حسین کرمی طاهری

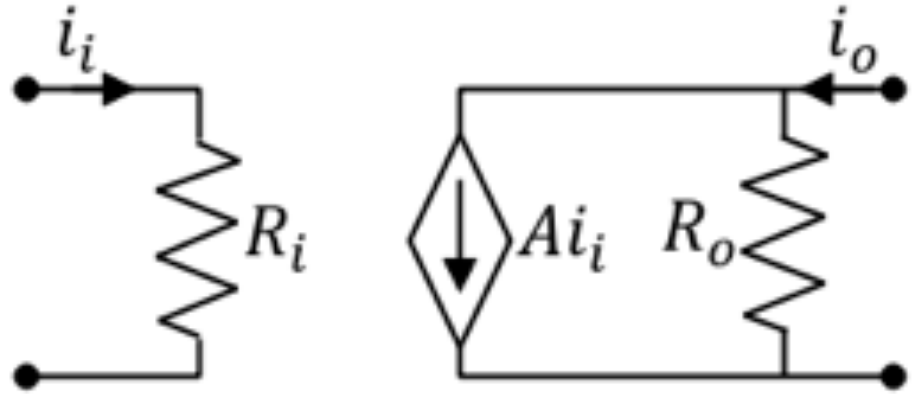
ماکرومدل تقویت کننده های واقعی

تقویت کننده ولتاژ



تقویت کننده هدایت انتقالی

تقویت کننده مقاومت انتقالی

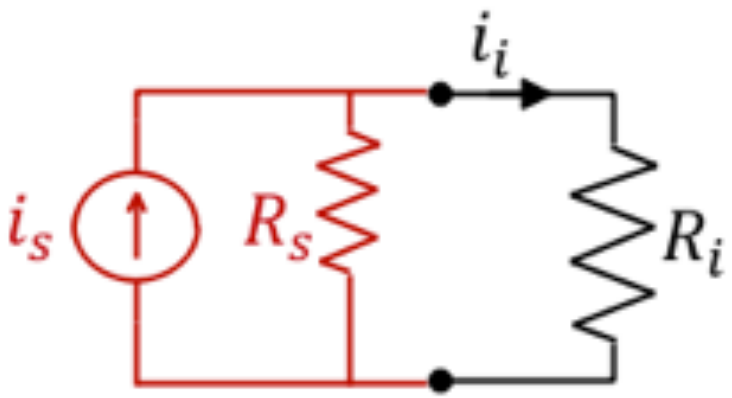


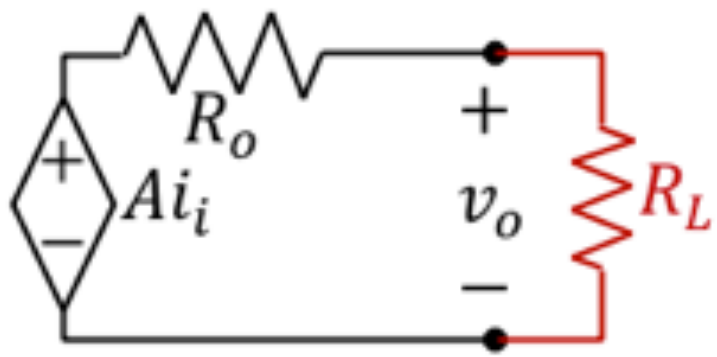
تقویت کننده جریان

تقویت کننده های ایده آل

- خروجی ولتاژ: مقاومت خروجی صفر
- خروجی جریان: مقاومت خروجی بینهایت
- ورودی ولتاژ: مقاومت ورودی بینهایت
- ورودی جریان: مقاومت ورودی صفر

- چرا؟ بی تاثیر شدن بارگذاری در بهره





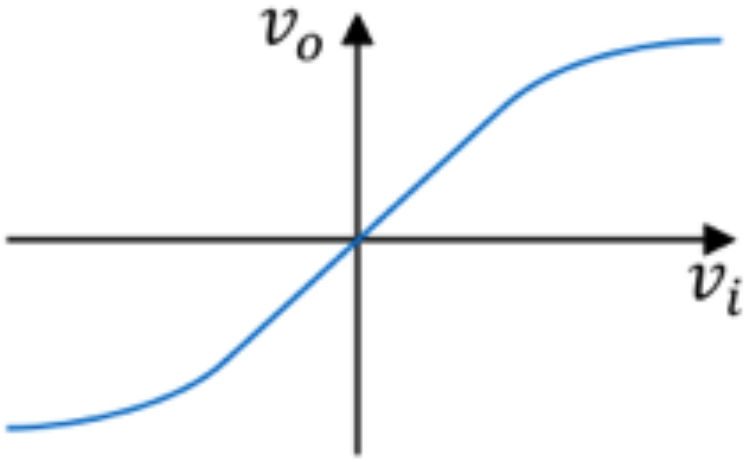
$$i_i = \frac{R_s}{R_s + R_i} i_s$$

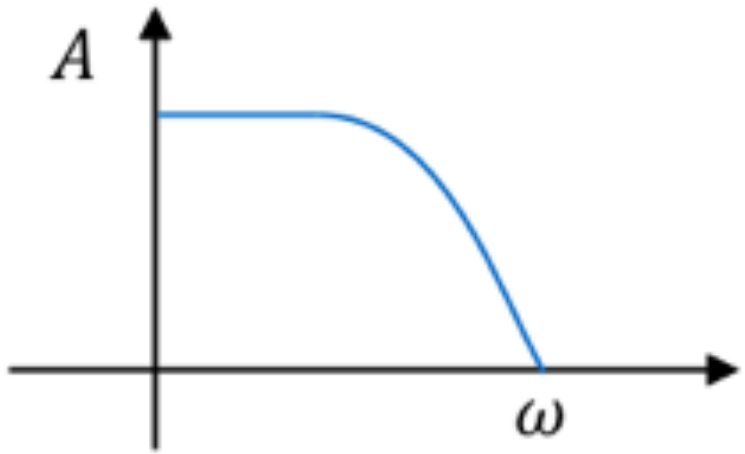
$$v_o = \frac{R_L}{R_L + R_o} A i_i$$

$$A' = \frac{v_o}{i_s} = \frac{R_s}{R_s + R_i} A \frac{R_L}{R_L + R_o} \xrightarrow{R_i=0\ ,\ R_o=0} A' = A$$

تمرین سری دوم: اثبات برای دیگر تقویت کننده های ایده آل

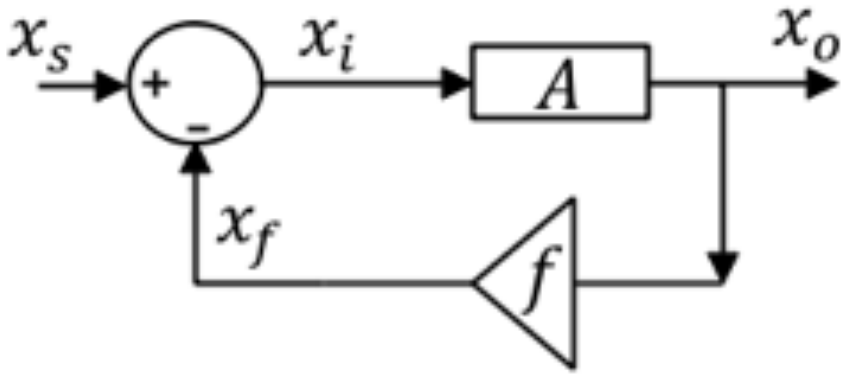
موارد مورد نیاز در طراحی تقویت کننده ها





- نیاز به بهبود مقاومت های ورودی و خروجی
- نیاز به تثبیت بهره در برابر تغییرات دما و گذر زمان
- نیاز به خطی سازی و کاهش اثرات غیر خطی
- نیاز به افزایش پهنای باند
- راه حل؟ استفاده از تقویت کننده دارای فیدبک

نمایش بلوک دیاگرامی فیدبک



- بهره حلقه باز: Open loop-gain A
- ضریب فیدبک: f
- بهره حلقه: Loop-gain fA
- فیدبک منفی: $fA > 0$

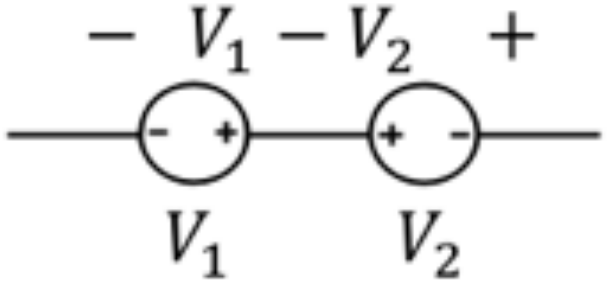
$$x_o = Ax_i = A(x_s - x_f) = A(x_s - fx_o) \Longrightarrow A_f = \frac{x_o}{x_s} = \frac{A}{1+Af} \xrightarrow{Af \to \infty} A_f = \frac{1}{f} < A$$

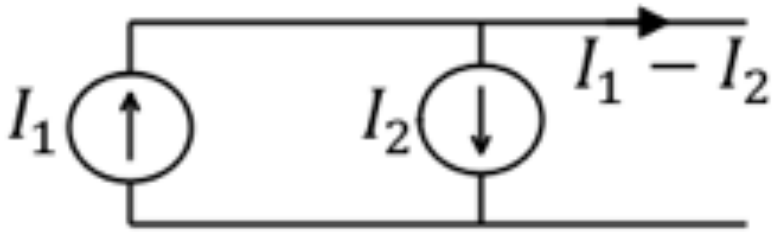
- مزایا: تثبیت بهره و بهبود مقاومت های ورودی و خرجی
- هزینه: کاهش بهره

انواع فیدبک

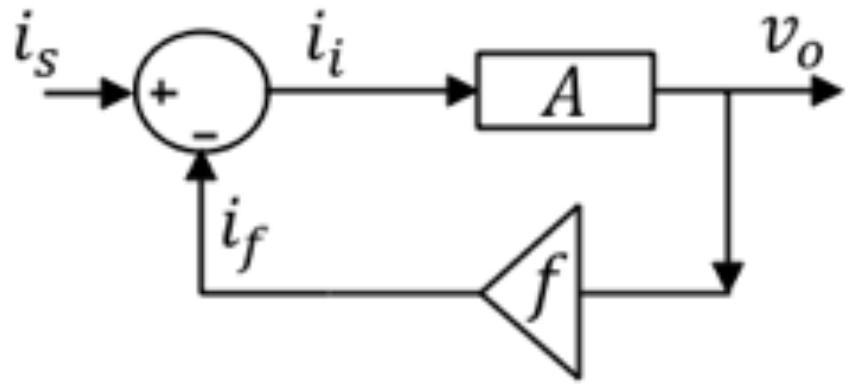
- فیدبک: نمونه برداری + مقایسه
  - نمونه برداری ولتاژ: موازی
  - نمونه برداری جریان: سری

- مقایسه ولتاژ: سری
- مقایسه جریان: موازی



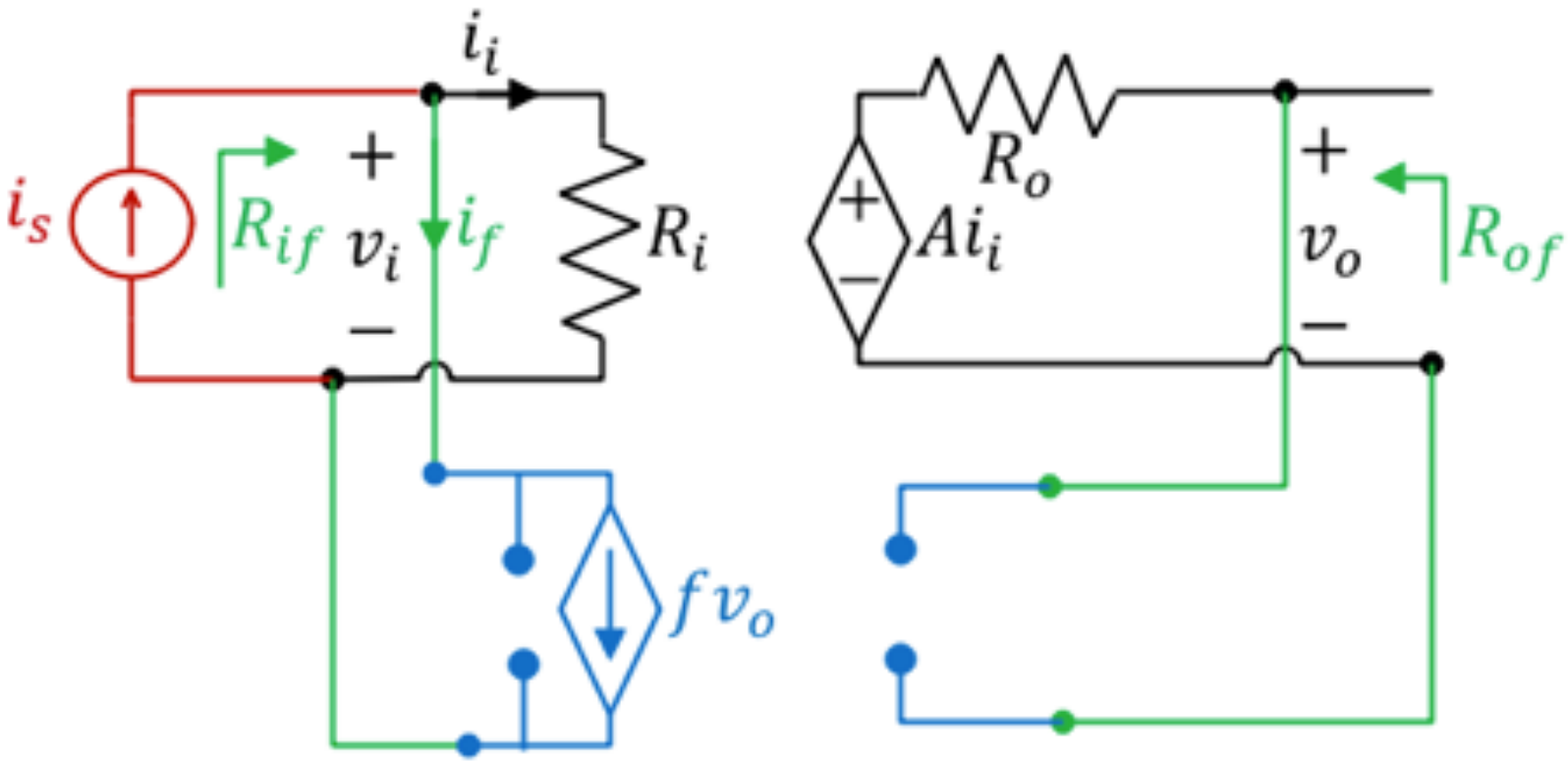


- الگوی نامگذاری: فیدبک خروجی_ورودی
- فیدبک ولتاژ_سری (ولتاژ_ولتاژ)
- فیدبک ولتاژ_موازی (ولتاژ_جریان)
- فیدبک جریان_سری (جریان_ولتاژ)
- فیدبک جریان_موازی (جریان_جریان)



فیدبک ولتاژ_موازی

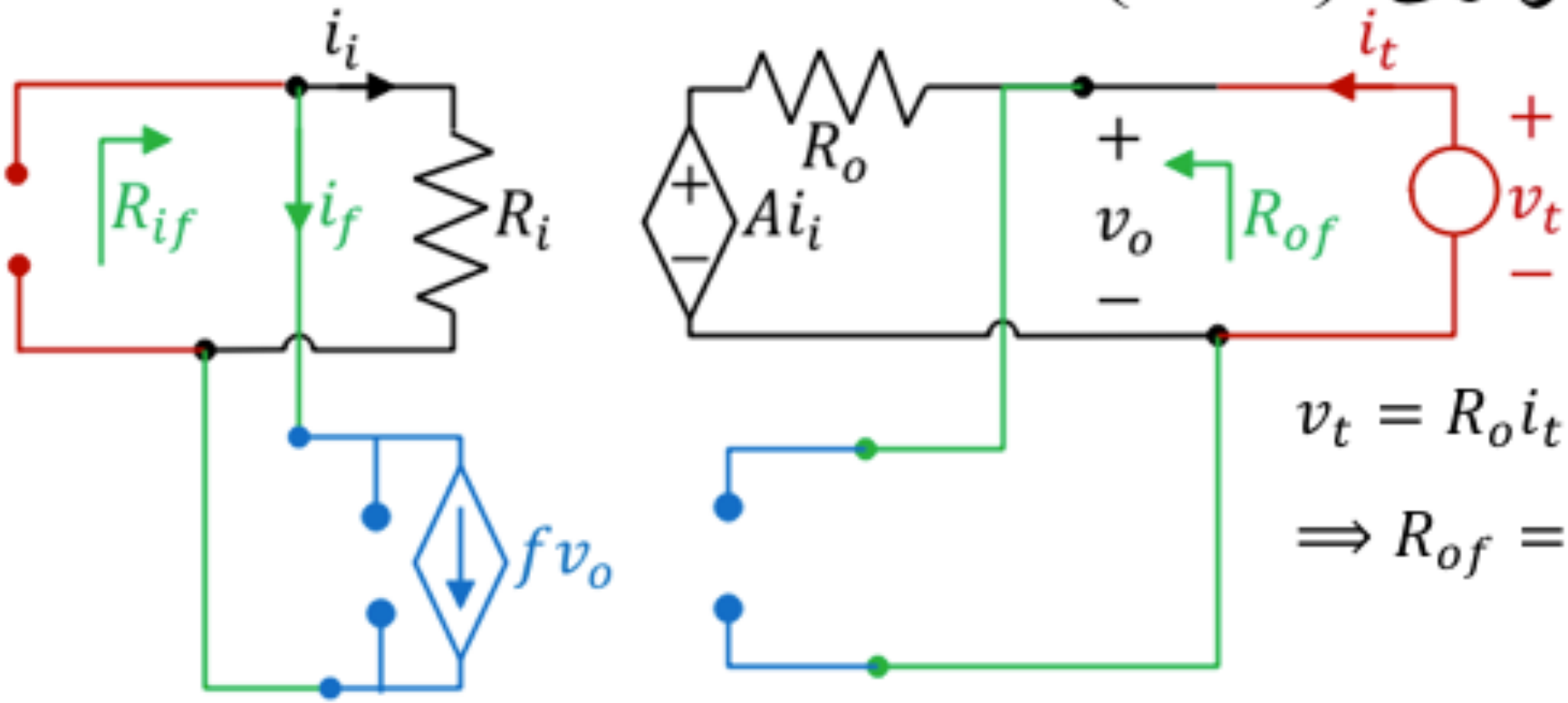
- A مقاومت انتقالی
- f هدایت انتقالی انتقالی
- ابتدا فرض می شود شبکه فیدبک ایده آل است



$$v_o = A i_i = A(i_s - i_f)$$
$$v_o = A(i_s - f v_o)$$
$$\Rightarrow A_f = \frac{v_o}{i_s} = \frac{A}{1 + fA}$$

$$v_i = R_i i_i = R_i(i_s - i_f) = R_i(i_s - f v_o) = R_i\left(i_s - f\frac{A}{1 + Af} i_s\right) \Rightarrow R_{if} = \frac{v_i}{i_s} = \frac{R_i}{1 + fA}$$

فیدبک ولتاژ_موازی (ادامه)



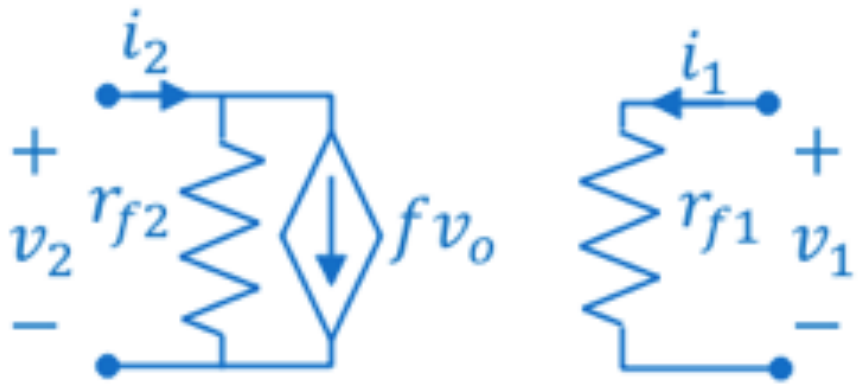
- محاسبه مقاومت خروجی:

$$v_t = R_o i_t + A i_i = R_o i_t + A(-f v_t)$$

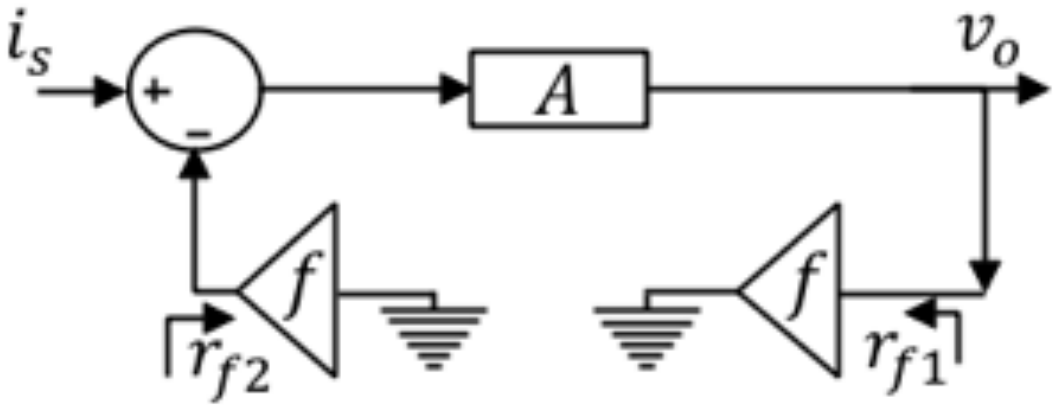
$$\Rightarrow R_{of} = \frac{v_t}{i_t} = \frac{R_o}{1 + fA}$$

- اگر شبکه فیدبک ایده آل نباشد:

مقاومت های r_{f1} و r_{f2} در محاسبات مربوط به ماکرومدل تقویت کننده A لحاظ شود



فیدبک ولتاژ_موازی (چکیده)



حذف فیدبک ایده آل:

$$A = \frac{v_o}{i_s}\Big|_{i_o=0} \qquad R_i = \frac{v_s}{i_s}\Big|_{i_o=0} \qquad R_o = \frac{v_o}{i_o}\Big|_{i_s=0}$$

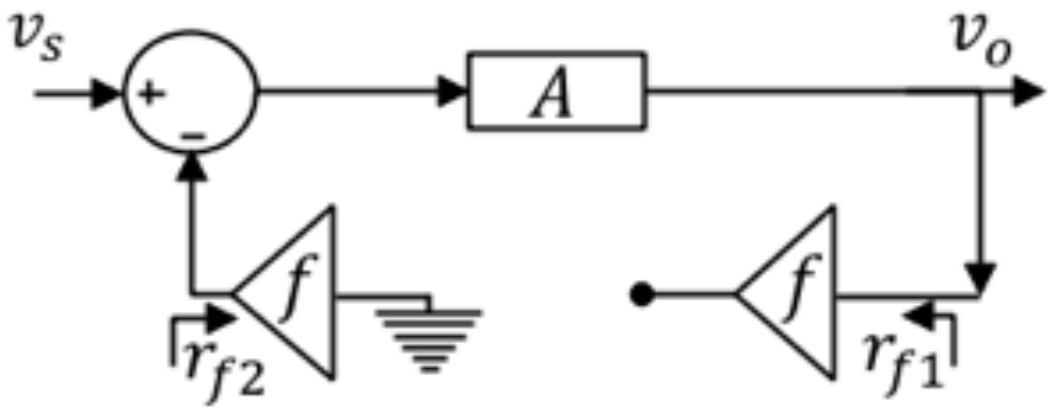
محاسبه پارامترهای شبکه فیدبک:

$$f = \frac{i_2}{v_1}\Big|_{v_2=0} \qquad r_{f1} = \frac{v_1}{i_1}\Big|_{v_2=0} \qquad r_{f2} = \frac{v_2}{i_2}\Big|_{v_1=0}$$

تاثیر فیدبک ایده آل:

$$A_f = \frac{A}{1+fA} \qquad R_{if} = \frac{R_i}{1+fA} \qquad R_{of} = \frac{R_o}{1+fA}$$

فیدبک ولتاژ_سری



حذف فیدبک ایده آل:

$$A = \frac{v_o}{v_s}\Big|_{i_o=0} \qquad R_i = \frac{v_s}{i_s}\Big|_{i_o=0} \qquad R_o = \frac{v_o}{i_o}\Big|_{v_s=0}$$

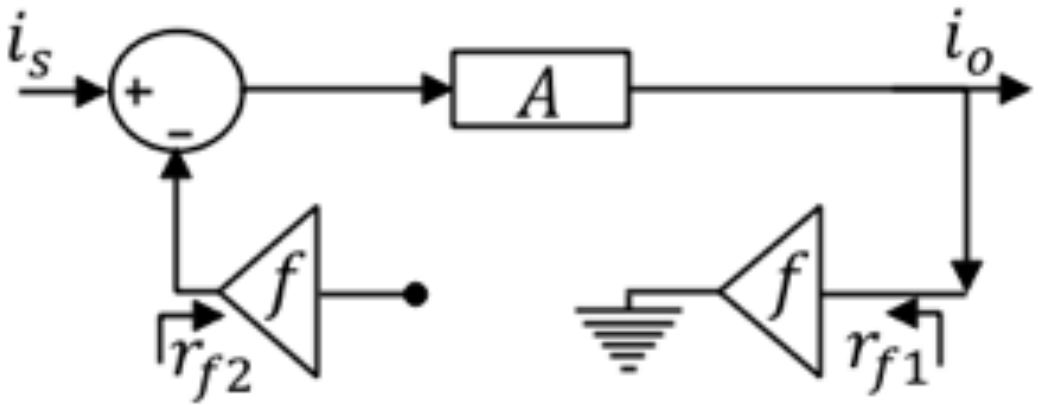
محاسبه پارامترهای شبکه فیدبک:

$$f = \frac{v_2}{v_1}\Big|_{i_2=0} \qquad r_{f1} = \frac{v_1}{i_1}\Big|_{i_2=0} \qquad r_{f2} = \frac{v_2}{i_2}\Big|_{v_1=0}$$

تاثیر فیدبک ایده آل:

$$A_f = \frac{A}{1+fA} \qquad R_{if} = R_i(1+fA) \qquad R_{of} = \frac{R_o}{1+fA}$$

فیدبک جریان- موازی



حذف فیدبک ایده آل:

$$A = \frac{v_o}{i_s}\Big|_{v_o=0} \qquad R_i = \frac{v_s}{i_s}\Big|_{v_o=0} \qquad R_o = \frac{v_o}{i_o}\Big|_{i_s=0}$$

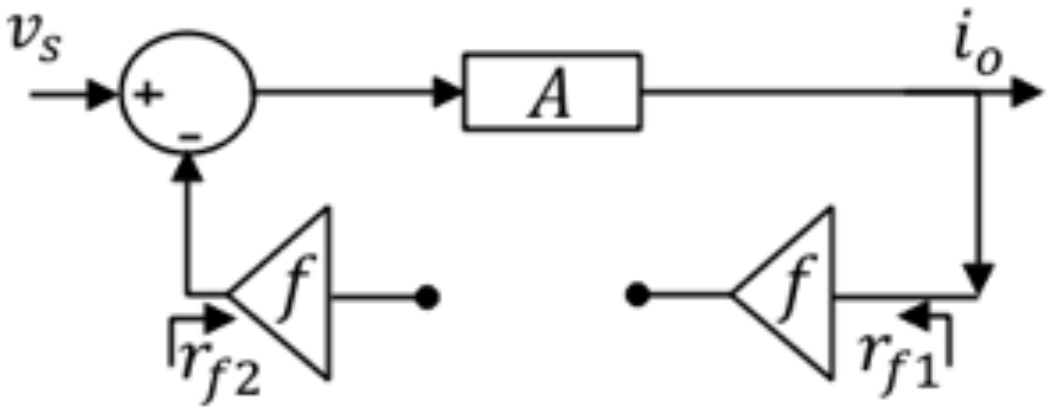
محاسبه پارامترهای شبکه فیدبک:

$$f = \frac{i_2}{i_1}\Big|_{v_2=0} \qquad r_{f1} = \frac{v_1}{i_1}\Big|_{v_2=0} \qquad r_{f2} = \frac{v_2}{i_2}\Big|_{i_1=0}$$

تاثیر فیدبک ایده آل:

$$A_f = \frac{A}{1+fA} \qquad R_{if} = \frac{R_i}{1+fA} \qquad R_{of} = R_o(1+fA)$$

فیدبک جریان-سری



حذف فیدبک ایده آل:

$$A = \frac{v_o}{v_s}\Big|_{v_o=0} \qquad R_i = \frac{v_s}{i_s}\Big|_{v_o=0} \qquad R_o = \frac{v_o}{i_o}\Big|_{v_s=0}$$

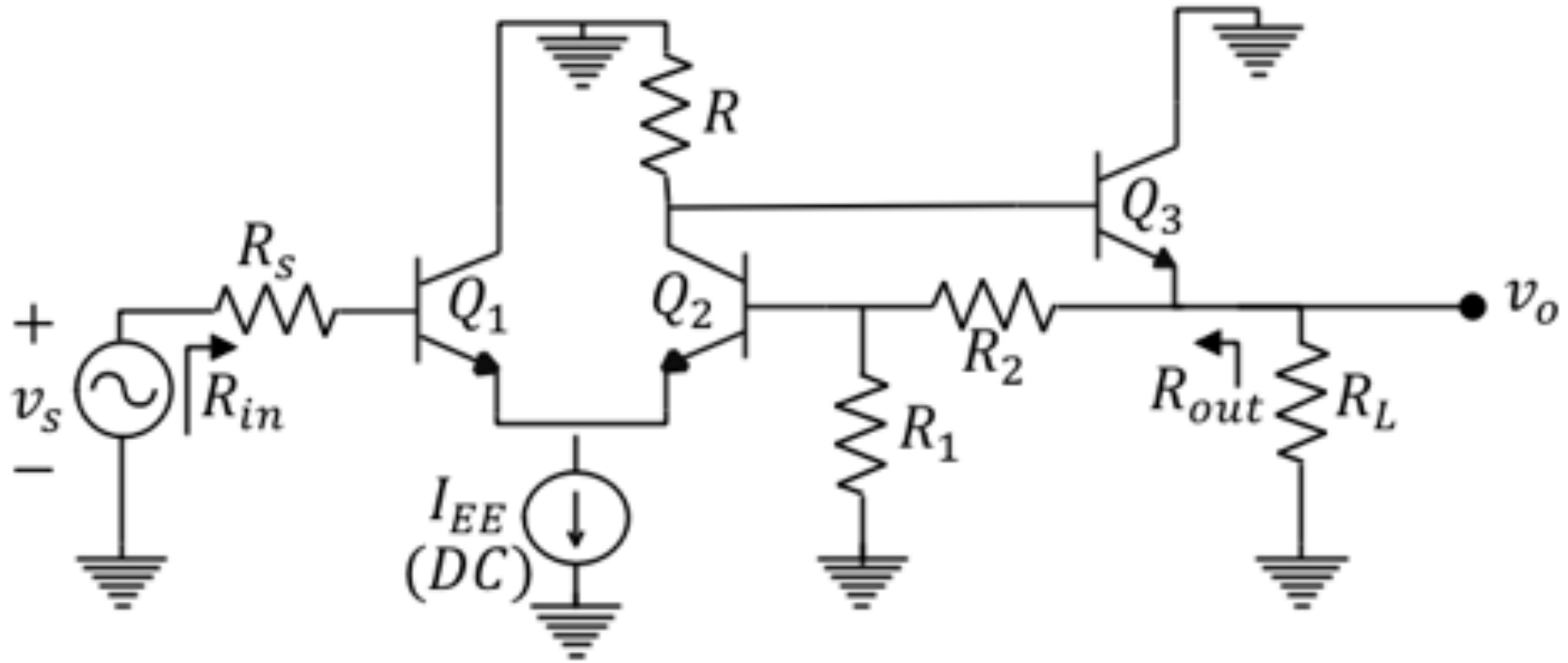
محاسبه پارامترهای شبکه فیدبک:

$$f = \frac{v_2}{i_1}\Big|_{i_2=0} \qquad r_{f1} = \frac{v_1}{i_1}\Big|_{i_2=0} \qquad r_{f2} = \frac{v_2}{i_2}\Big|_{i_1=0}$$

تاثیر فیدبک ایده آل:

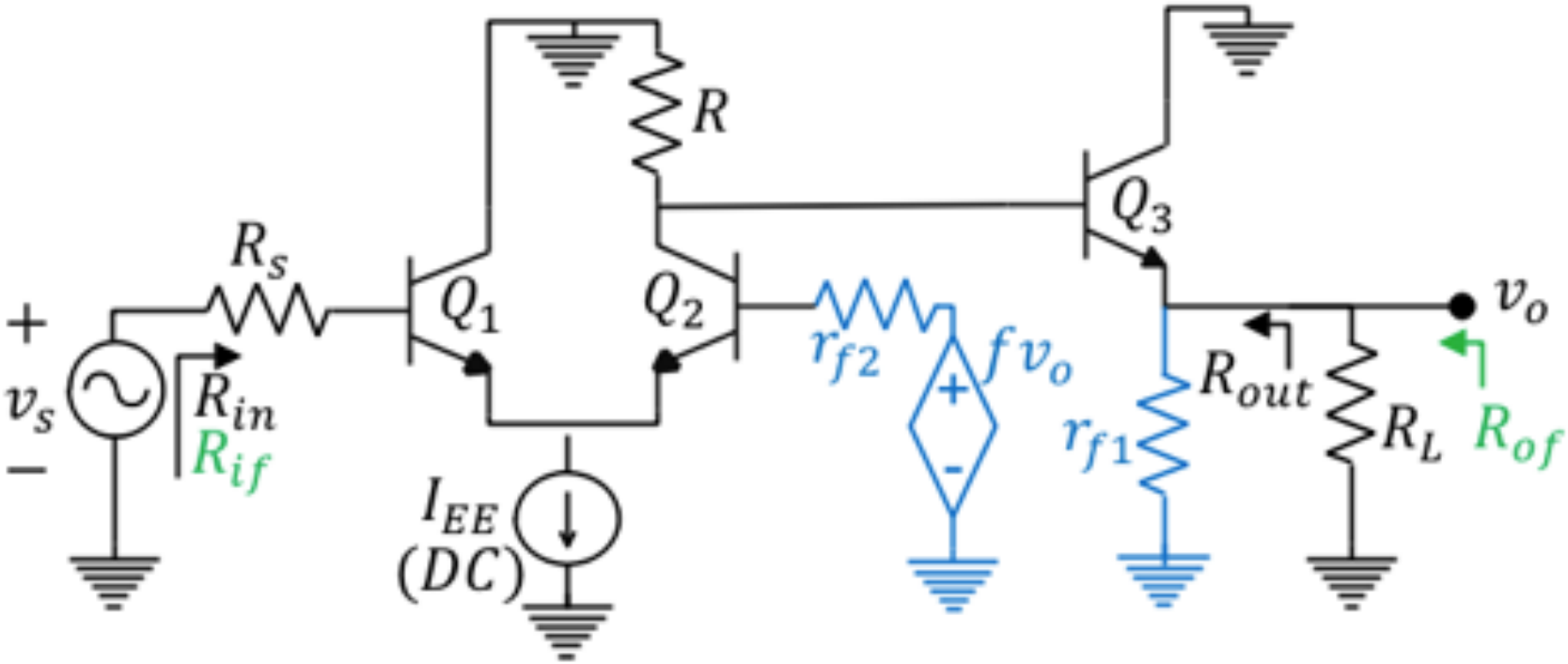
$$A_f = \frac{A}{1+fA} \qquad R_{if} = R_i(1+fA) \qquad R_{of} = R_o(1+fA)$$

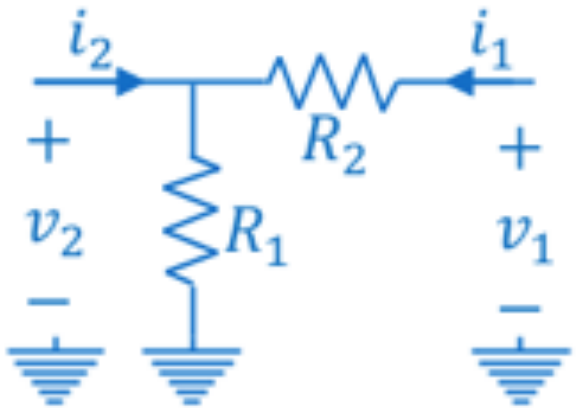
مثال ۱



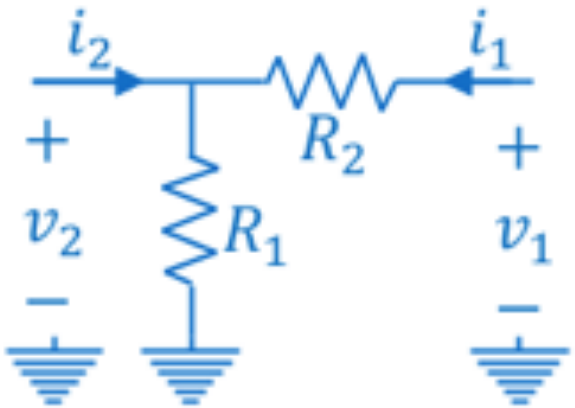
$$R_{in} =? \, , R_{out} =? \, , \frac{v_o}{v_s} =?$$

فیدبک ولتاژ_سری





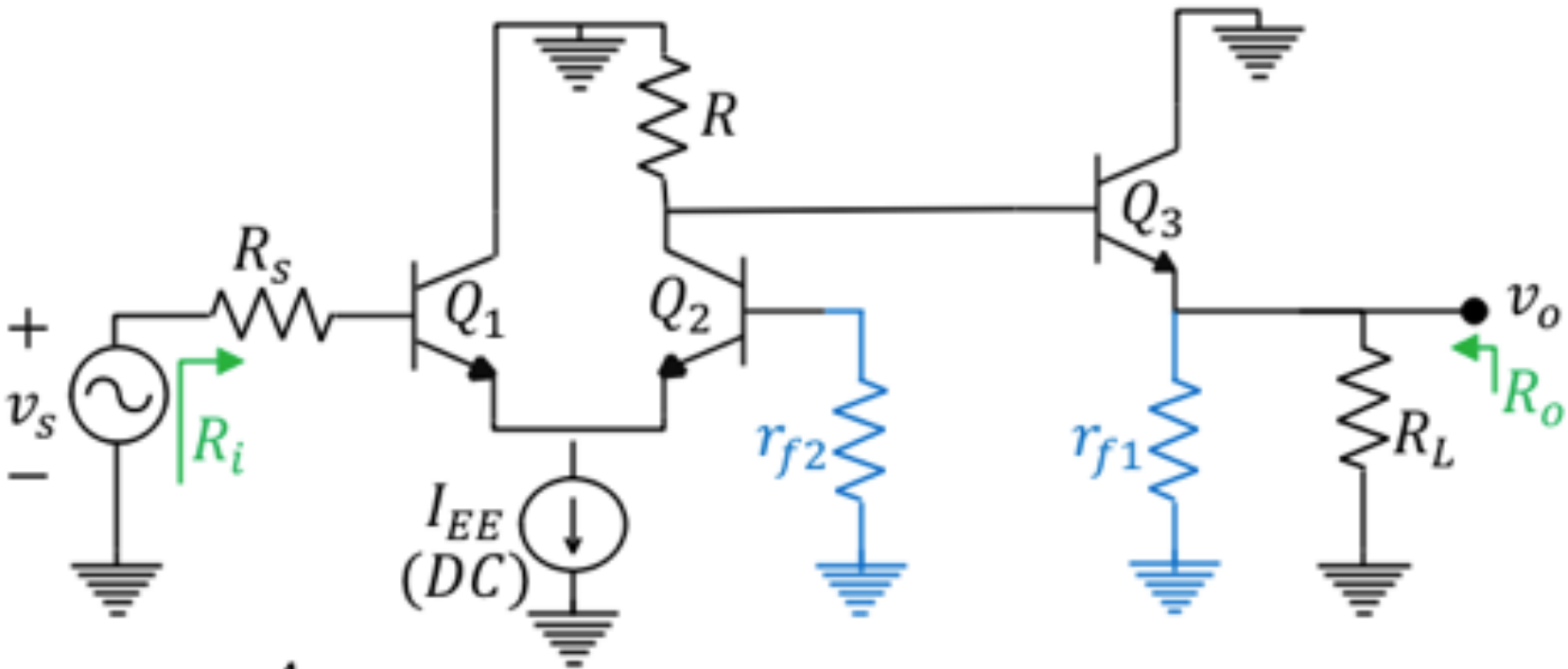
مثال ۱ (ادامه)



$$f = \frac{v_2}{v_1}\Big|_{i_2=0} = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$r_{f1} = \frac{v_1}{i_1}\Big|_{i_2=0} = R_1 + R_2$$

$$r_{f2} = \frac{v_2}{i_2}\Big|_{v_1=0} = R_1 || R_2$$



حذف فیدبک ایده آل:

$$A = \frac{v_o}{v_s}\Big|_{f=0} = \checkmark$$

$$R_i = \checkmark$$

$$R_o = \checkmark$$

تاثیر فیدبک ایده آل:

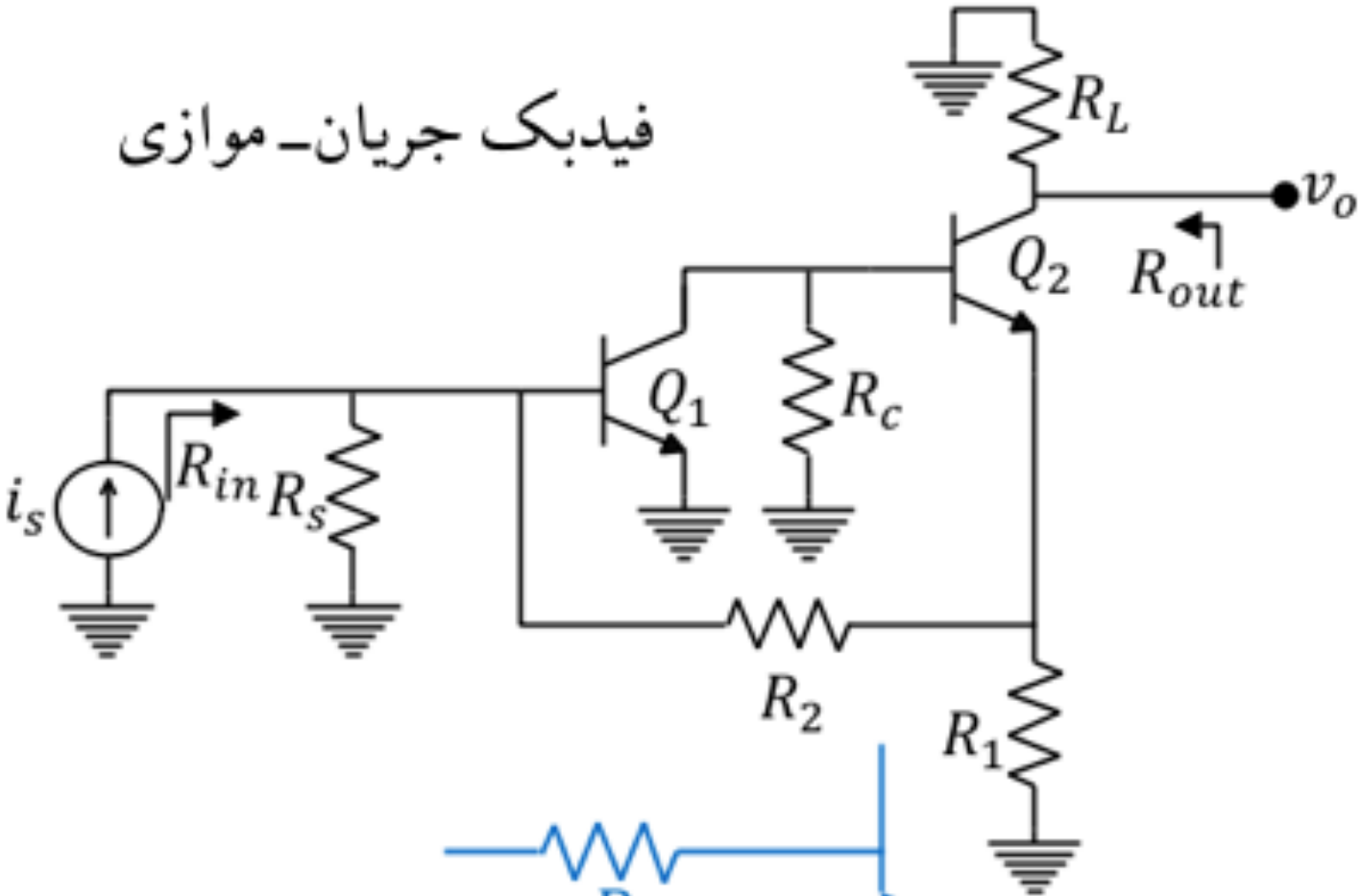
$$A_f = \frac{A}{1+fA} = \frac{v_o}{v_s}$$

$$R_{if} = R_i(1 + fA) = R_{in}$$

$$R_{of} = \frac{R_o}{1 + fA} = R_{out} || R_L$$

مثال ۲

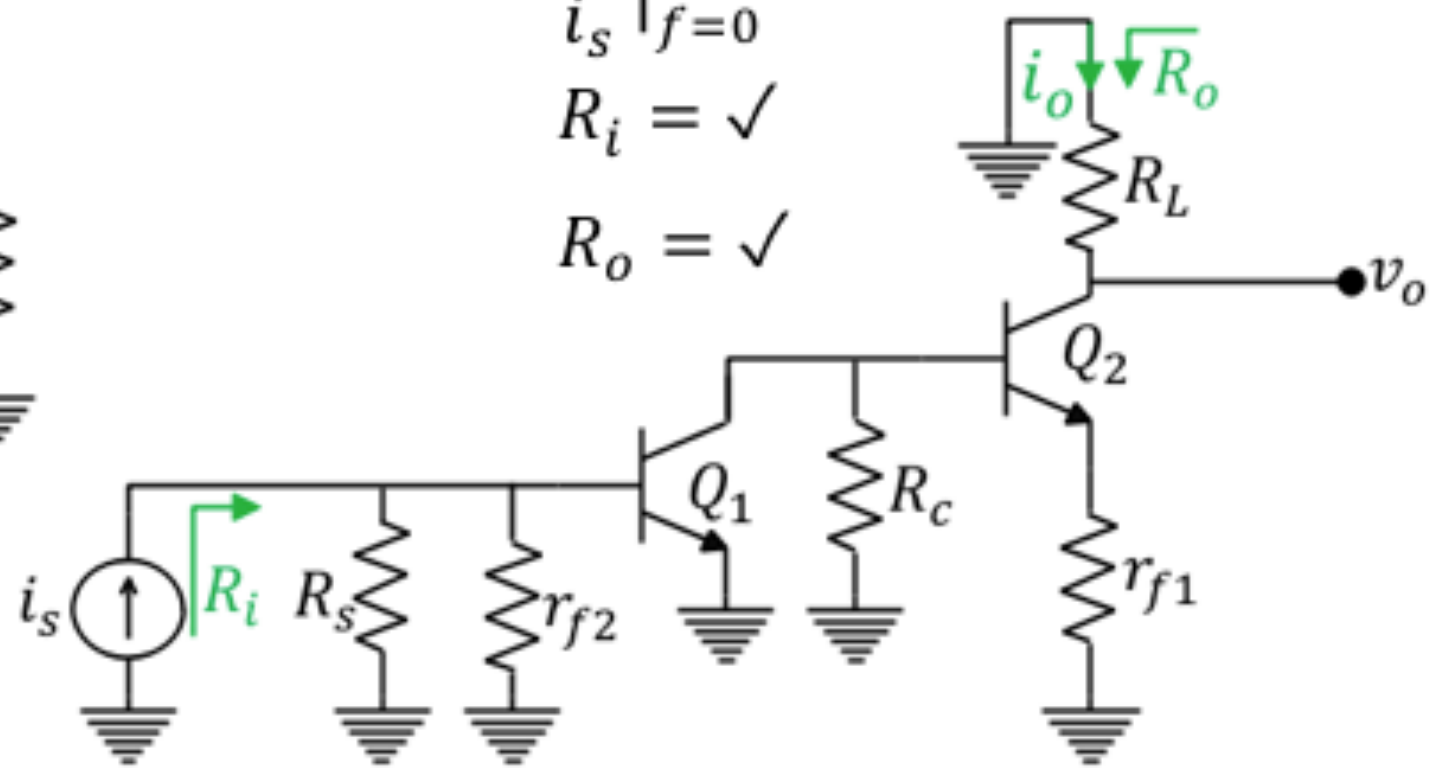
فیدبک جریان- موازی

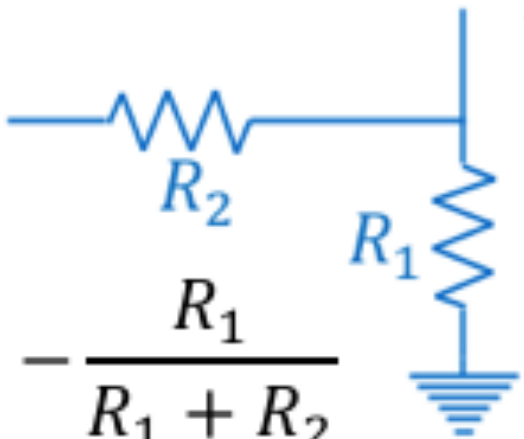


$$A = \frac{i_o}{i_s}\Big|_{f=0} = \checkmark$$

$$R_i = \checkmark$$

$$R_o = \checkmark$$

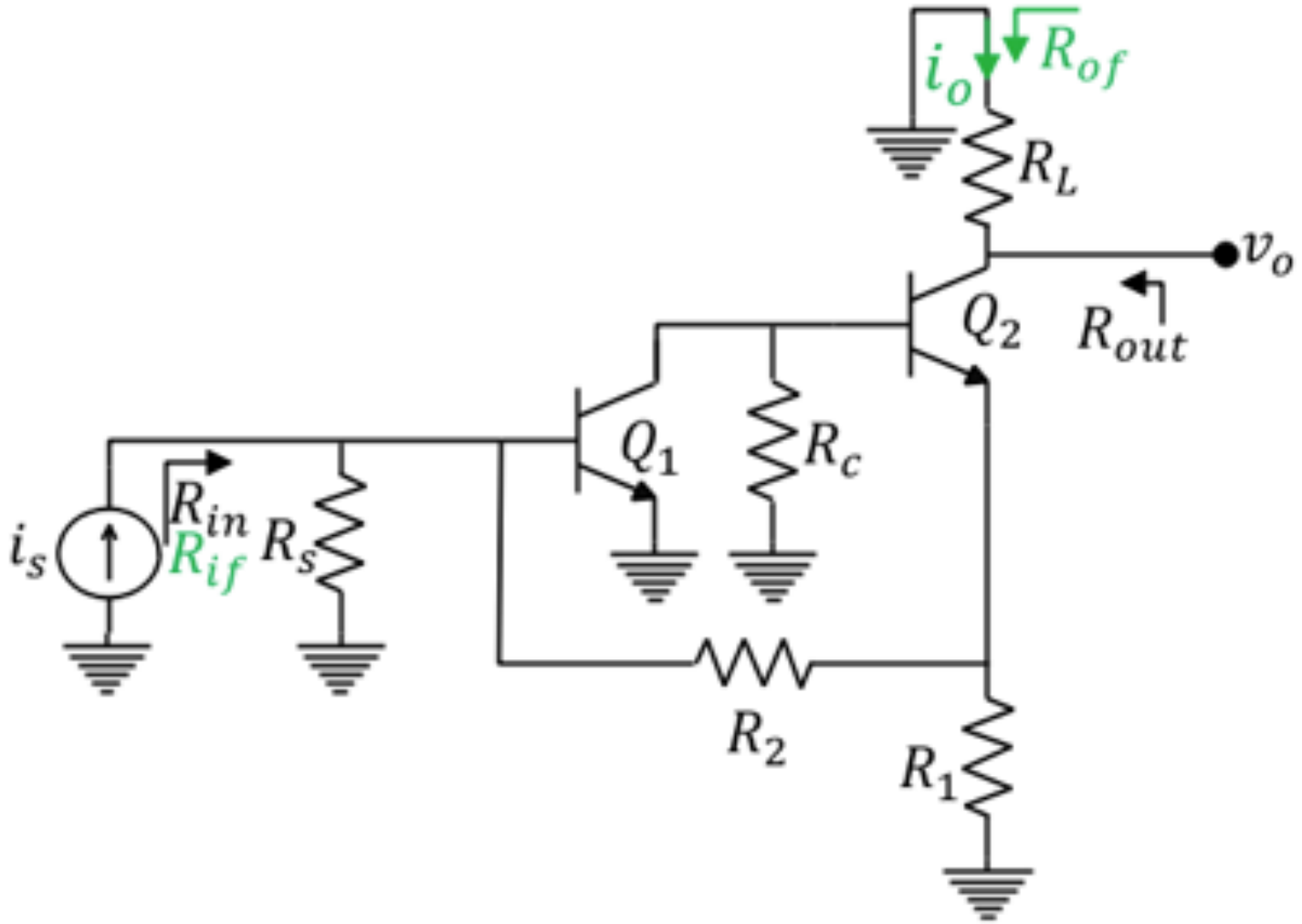




$$f = \frac{i_2}{i_1}\Big|_{v_2=0} = -\frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$r_{f1} = \frac{v_1}{i_1}\Big|_{v_2=0} = R_1||R_2 \qquad r_{f2} = \frac{v_2}{i_2}\Big|_{i_1=0} = R_1 + R_2$$

مثال ۲ (ادامه)



تاثیر فیدبک ایده آل:

$$A_f = \frac{i_o}{i_s} = \frac{A}{1+fA}$$

$$R_{if} = \frac{R_i}{1+fA}$$

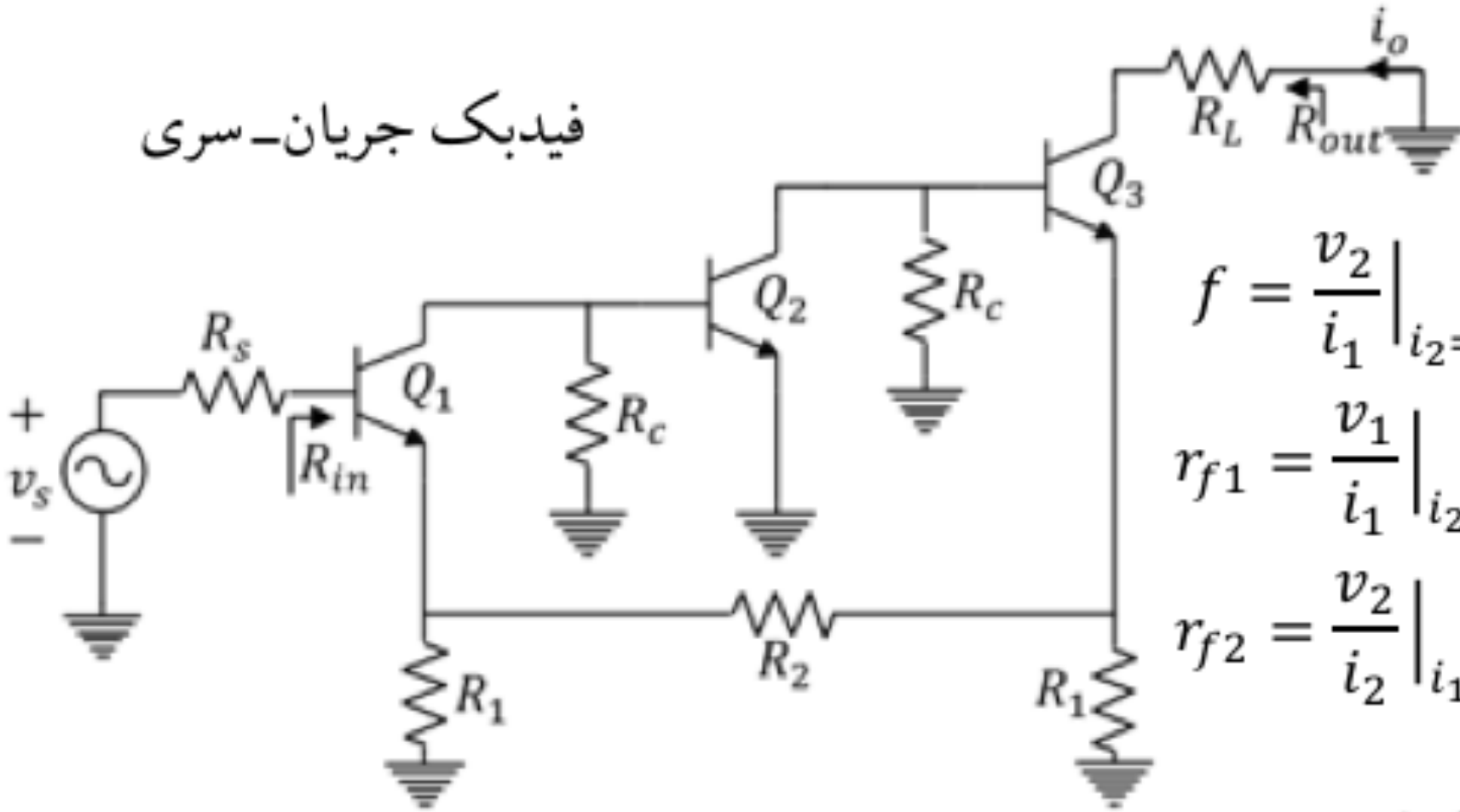
$$R_{of} = R_o(1+fA)$$

محاسبه مطلوب مسئله:

$$\frac{v_o}{i_s} = -\frac{R_L i_o}{i_s} = -R_L A_f \qquad R_{in} = R_{if} \qquad R_{out} = (R_{of} - R_L) || R_L$$

مثال ۳

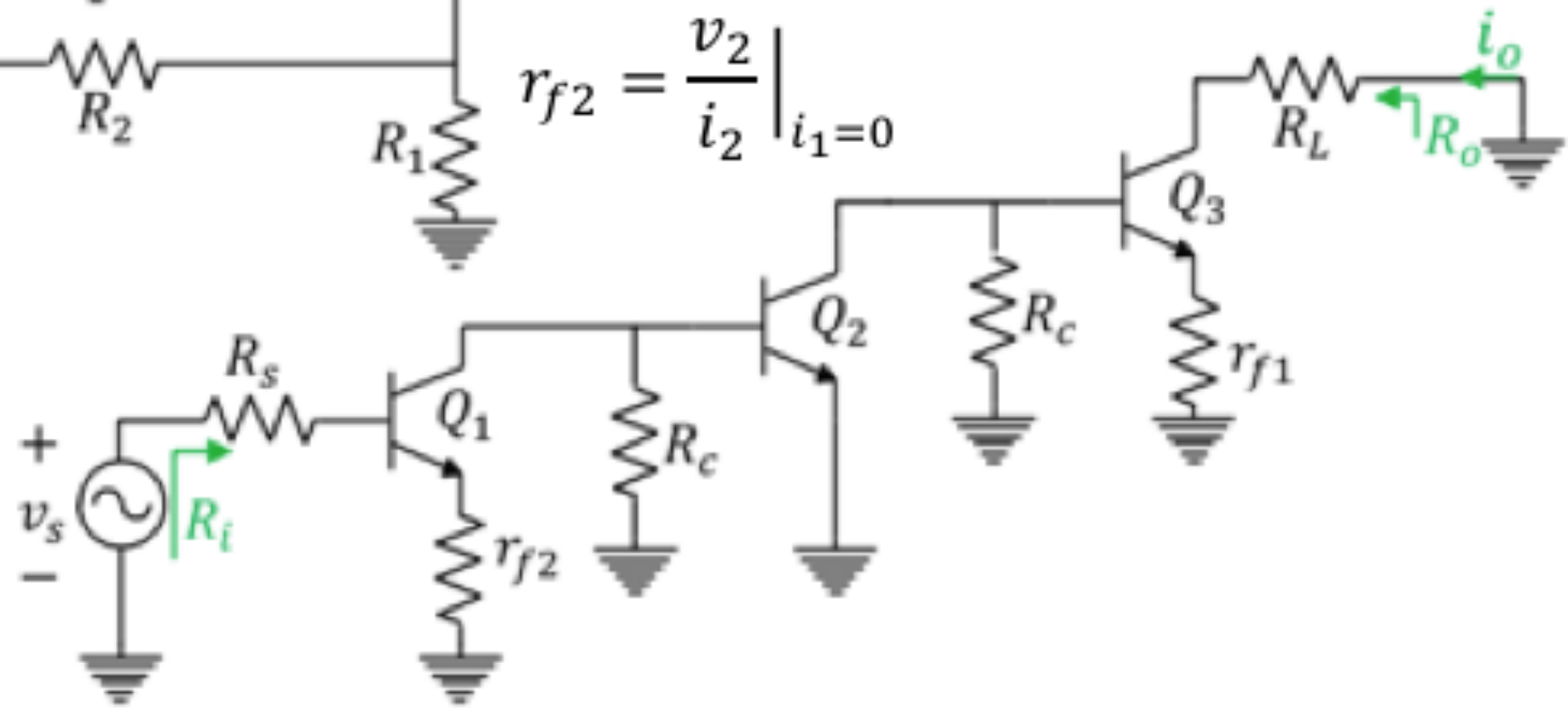
فیدبک جریان- سری



$$f = \frac{v_2}{i_1}\Big|_{i_2=0}$$

$$r_{f1} = \frac{v_1}{i_1}\Big|_{i_2=0}$$

$$r_{f2} = \frac{v_2}{i_2}\Big|_{i_1=0}$$

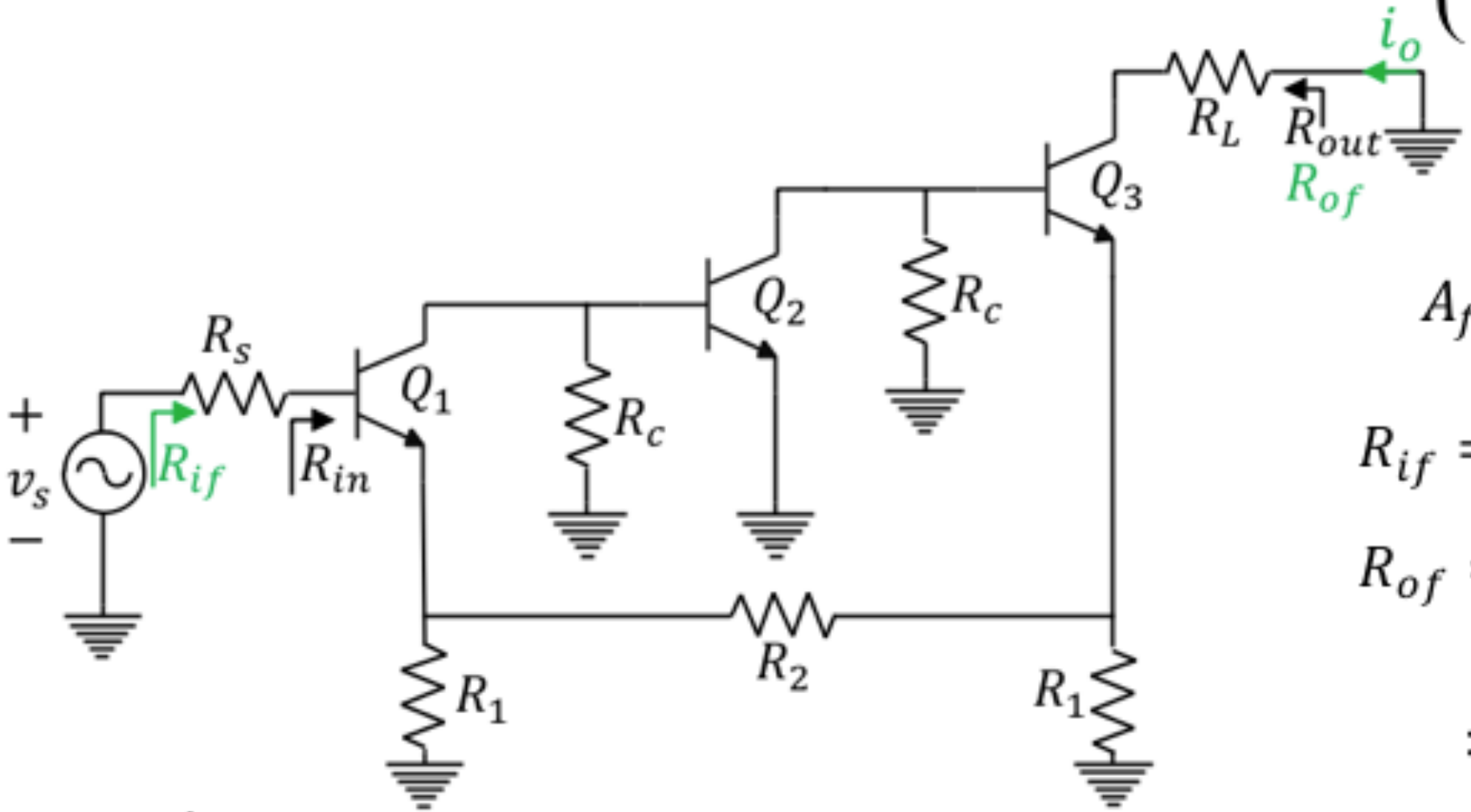


$$A = \frac{i_o}{v_s}\Big|_{f=0} = \checkmark$$

$$R_i = \checkmark$$

$$R_o = \checkmark$$

مثال ۳ (ادامه)



تاثیر فیدبک ایده آل:

$$A_f = \frac{A}{1 + fA}$$

$$R_{if} = R_i(1 + fA)$$

$$R_{of} = R_o(1 + fA)$$

محاسبه مطلوب مسئله:

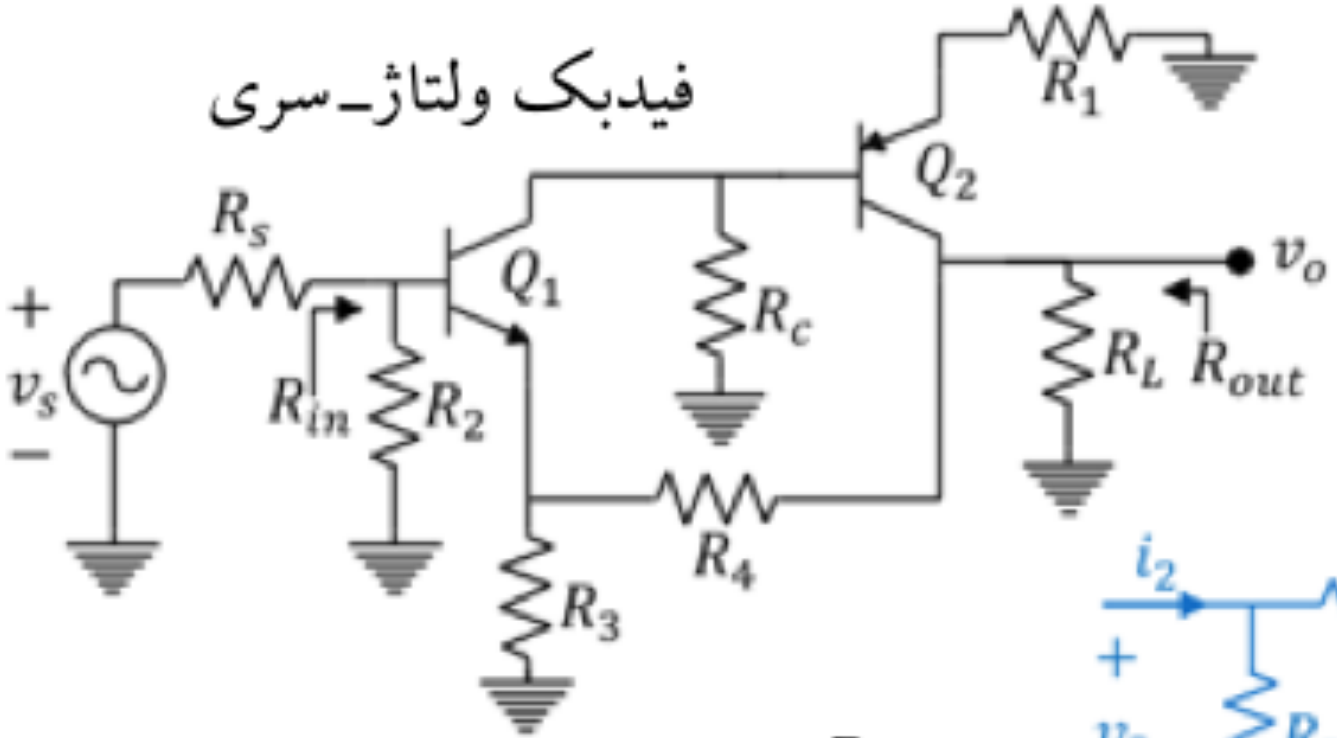
$$\frac{i_o}{v_s} = A_f$$

$$R_{in} = R_{if} - R_s$$

$$R_{out} = R_{of}$$

مثال ۴

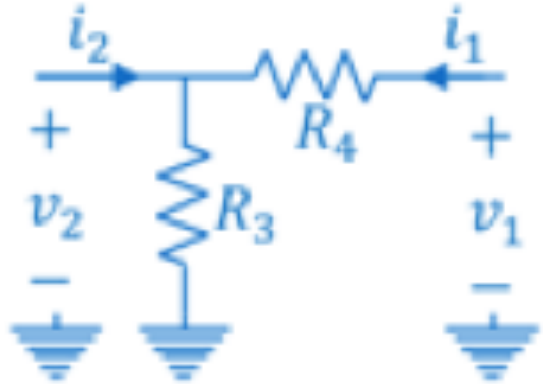
فیدبک ولتاژ–سری



$$f = \frac{v_2}{v_1}\Big|_{i_2=0} = \frac{R_3}{R_3 + R_4}$$

$$r_{f1} = \frac{v_1}{i_1}\Big|_{i_2=0} = R_3 + R_4$$

$$r_{f2} = \frac{v_2}{i_2}\Big|_{v_1=0} = R_3 || R_4$$

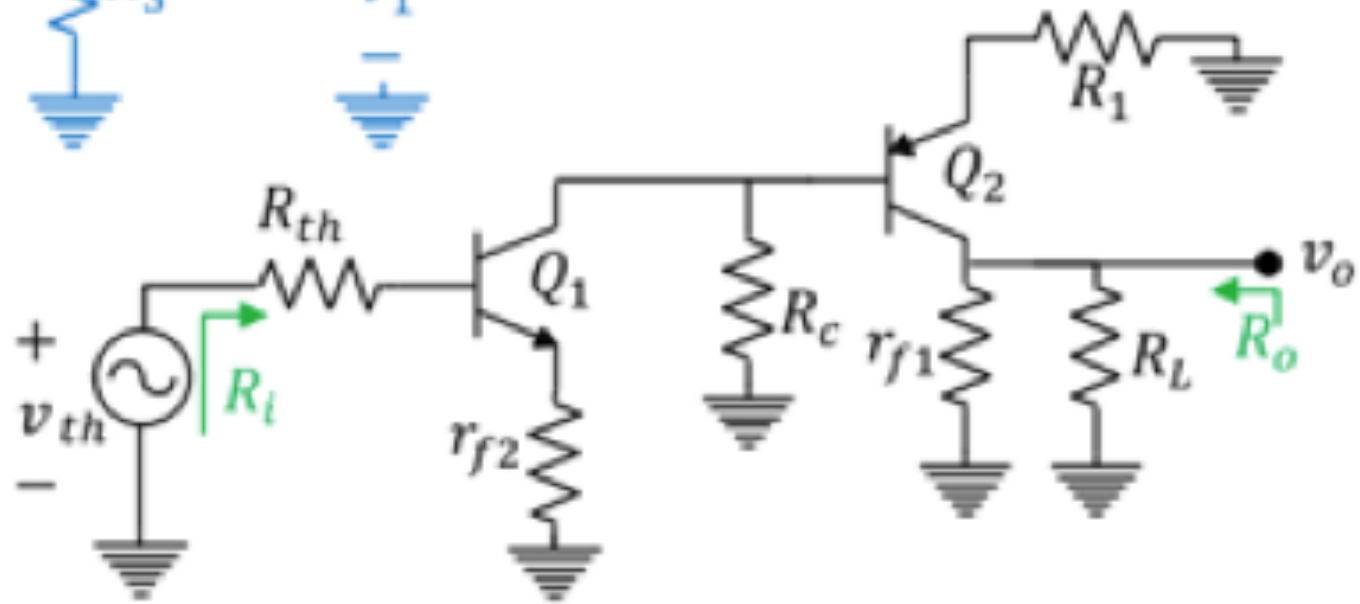


$$R_{th} = R_2 || R_s \, , v_{th} = v_s \frac{R_2}{R_2 + R_s}$$

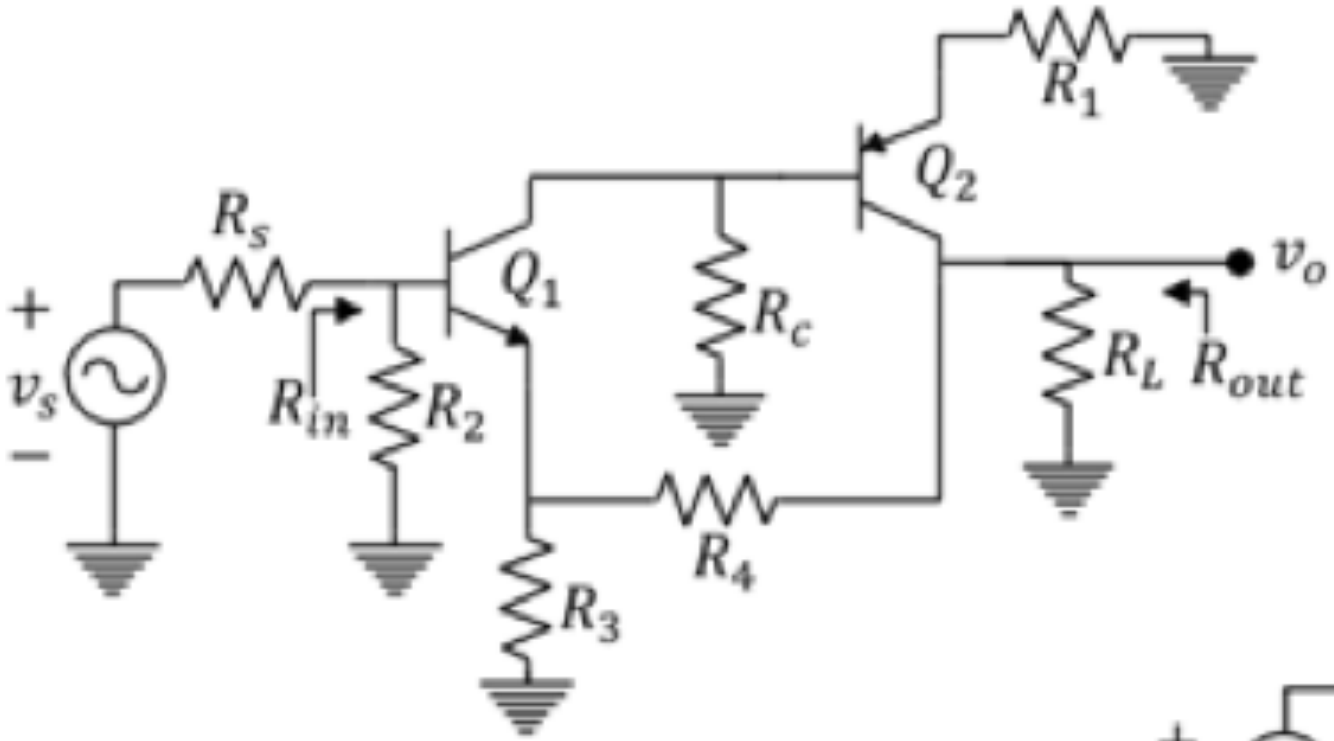
$$A = \frac{v_o}{v_{th}}\Big|_{f=0} = \checkmark$$

$$R_i = \checkmark$$

$$R_o = \checkmark$$



مثال ۴ (ادامه)



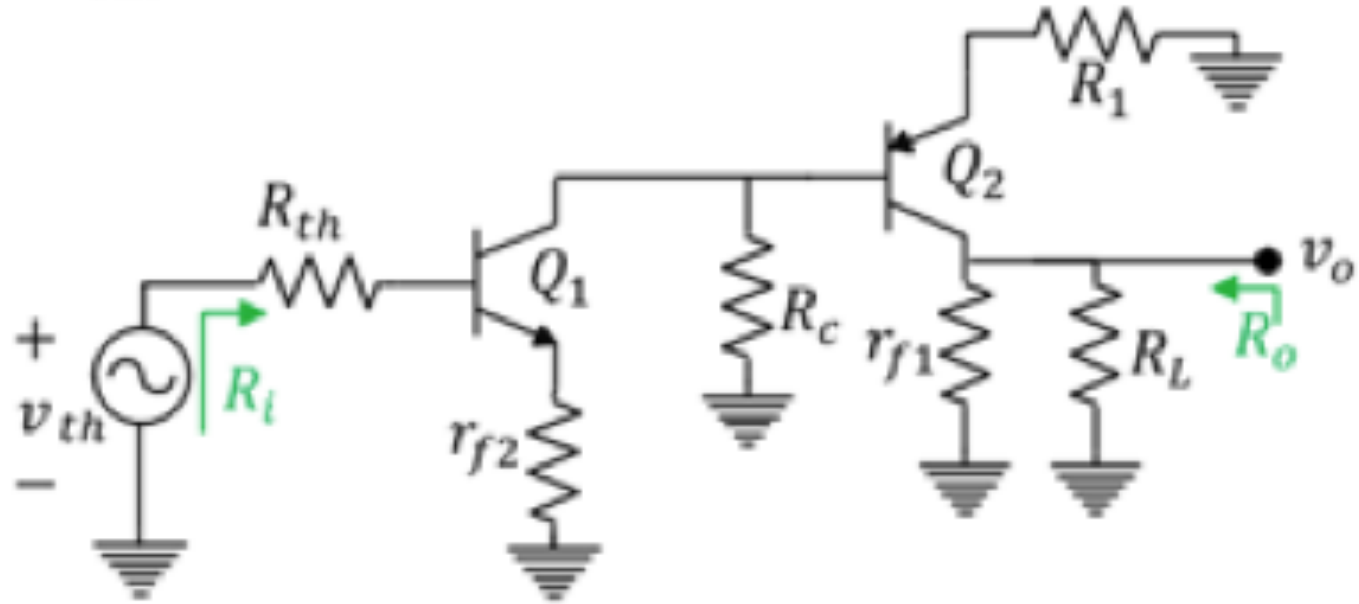
$$A_f = \frac{A}{1+fA} = \frac{v_o}{v_{th}}$$

$$R_{if} = R_i(1 + fA)$$

$$R_{of} = \frac{R_o}{1 + fA} = R_{out}$$

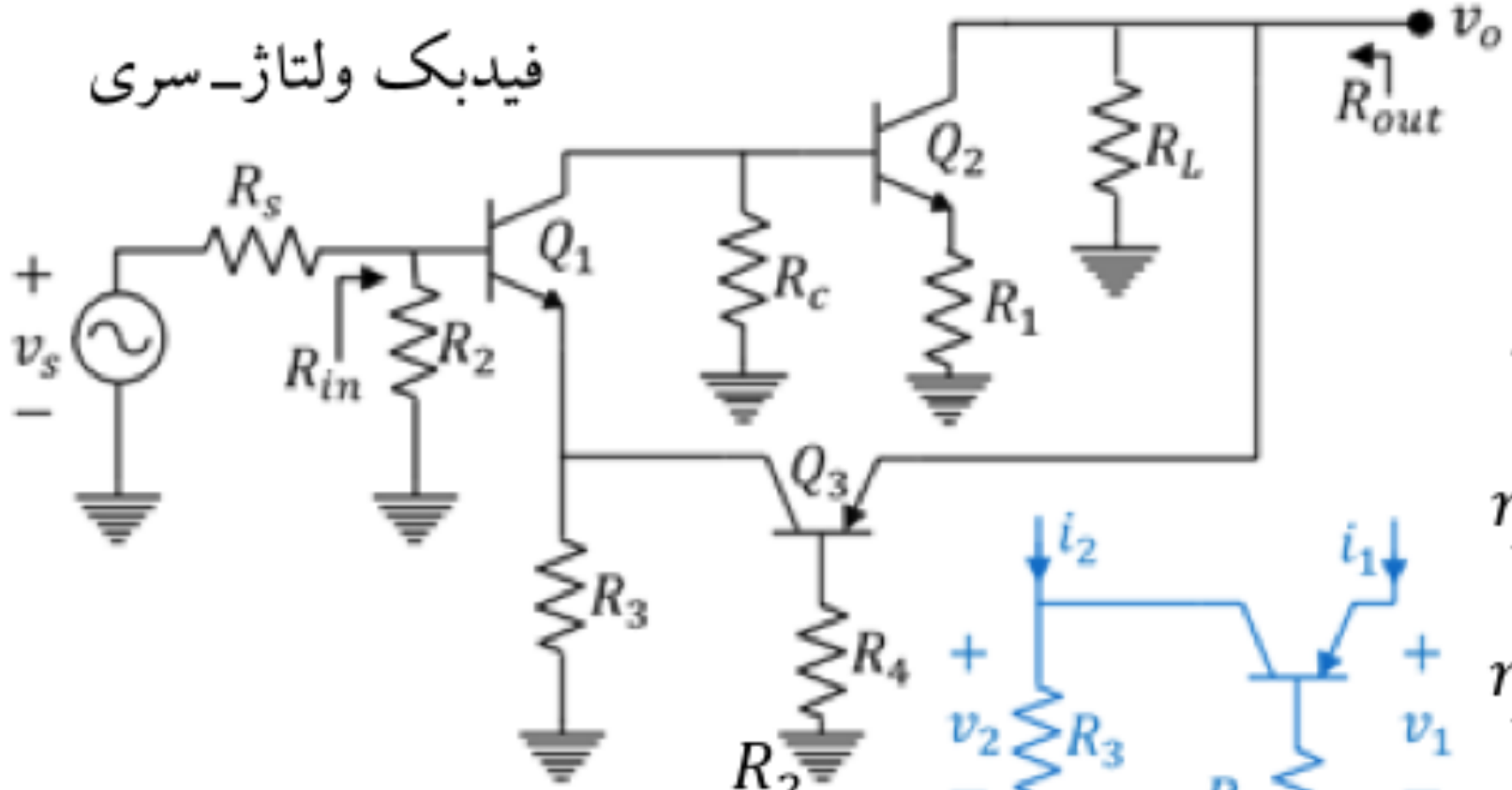
$$R_{in} = (R_{if} - R_{th}) || R_2$$

تاثیر فیدبک ایده آل:



$$\frac{v_o}{v_s} = \frac{v_o}{v_{th}\,(R_2 + R_s)/R_2} = A_f \frac{R_2}{R_2 + R_s}$$

فیدبک ولتاژ_سری

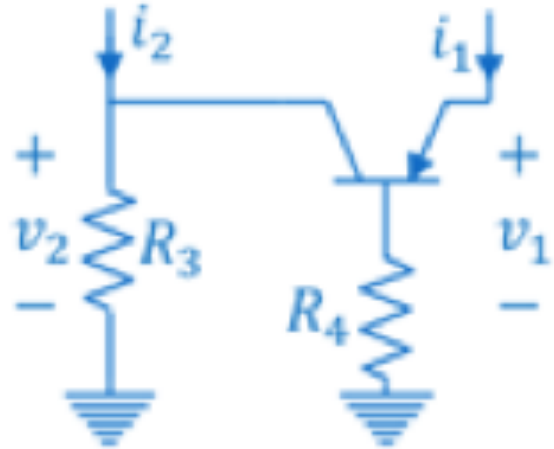


مثال ۵

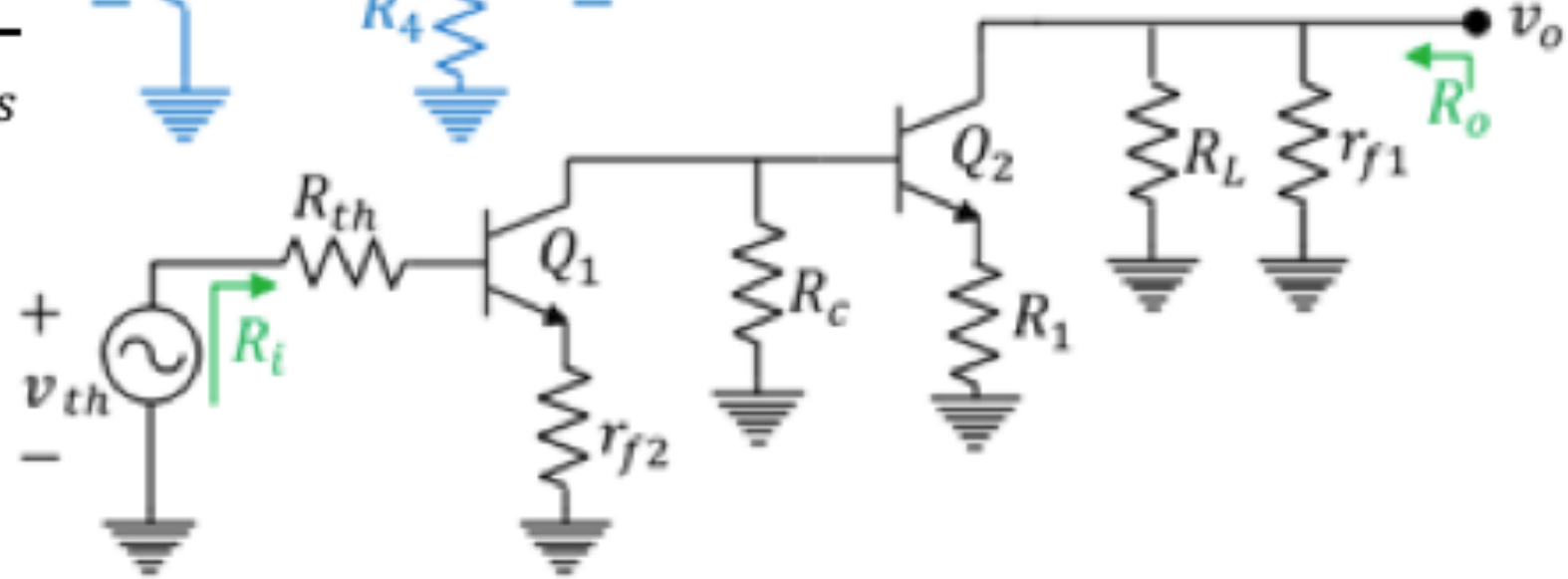
$$f = \frac{v_2}{v_1}\Big|_{i_2=0} = \frac{R_3 g_{m3} r_{\pi 3}}{R_4 + r_{\pi 3}}$$

$$r_{f1} = \frac{v_1}{i_1}\Big|_{i_2=0} = \frac{R_4 + r_{\pi 3}}{\beta_3 + 1}$$

$$r_{f2} = \frac{v_2}{i_2}\Big|_{v_1=0} = R_3$$



$$R_{th} = R_2 || R_s \, , v_{th} = v_s \frac{R_2}{R_2 + R_s}$$



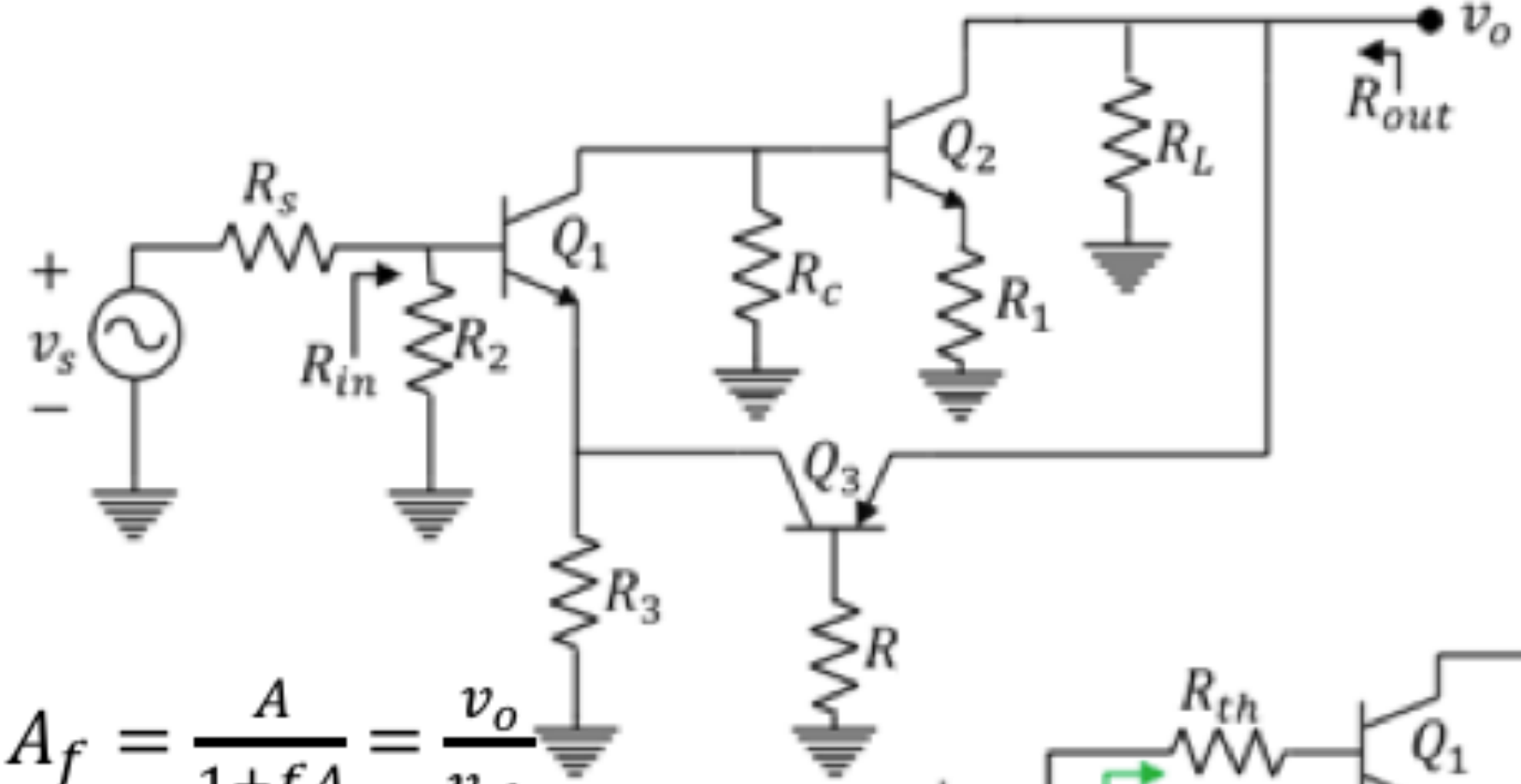
$$A = \frac{v_o}{v_{th}}\Big|_{f=0} = \checkmark$$

$$R_i = \checkmark$$

$$R_o = \checkmark$$

مثال ۵ (ادامه)

تاثیر فیدبک ایده آل:

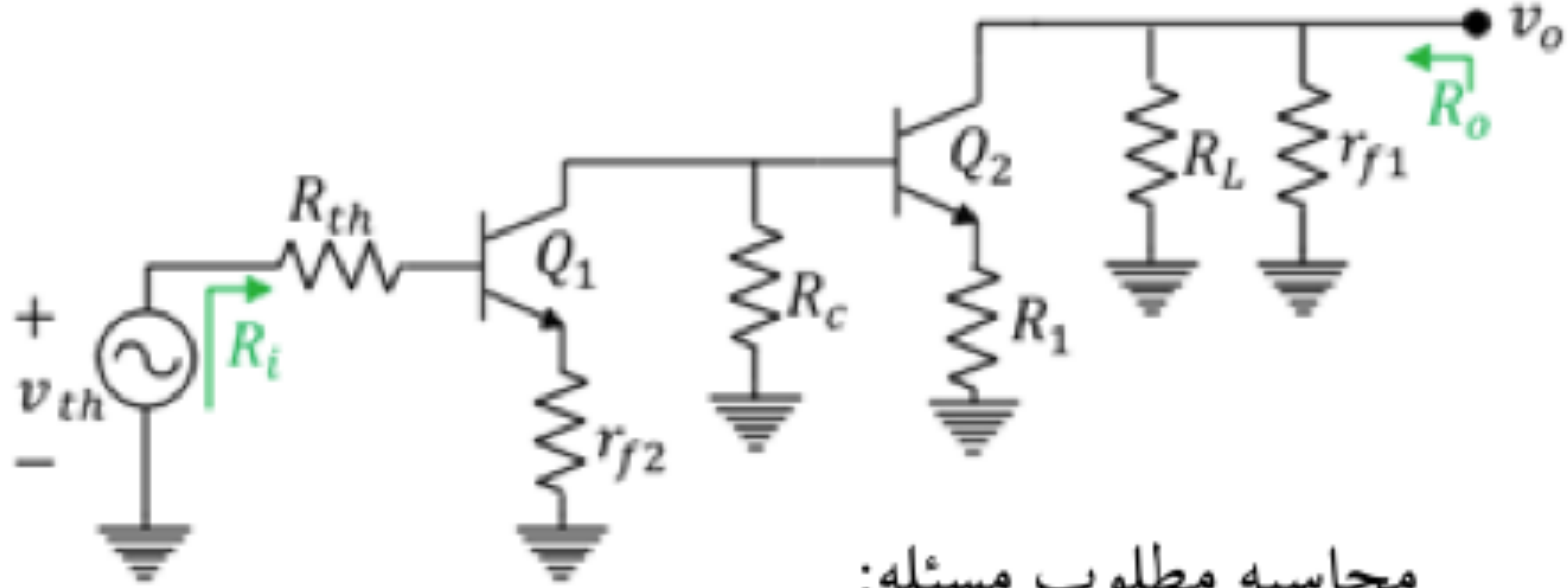


$$A_f = \frac{A}{1+fA} = \frac{v_o}{v_{th}}$$

$$R_{if} = R_i(1+fA)$$

$$R_{of} = \frac{R_o}{1+fA} = R_{out}$$

$$R_{in} = (R_{if} - R_{th}) || R_2$$



محاسبه مطلوب مسئله:

$$\frac{v_o}{v_s} = \frac{v_o}{v_{th}\,(R_2+R_s)/R_2} = A_f \frac{R_2}{R_2+R_s}$$