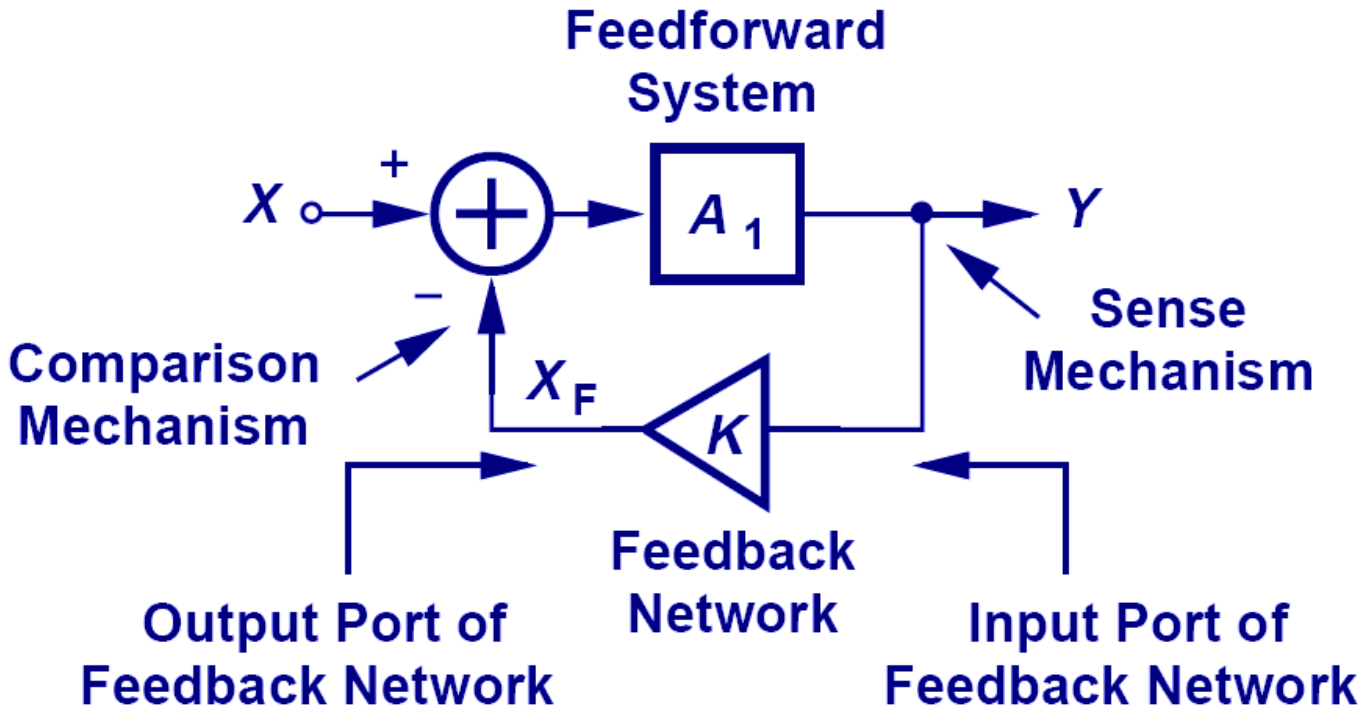
Chapter 12 Feedback

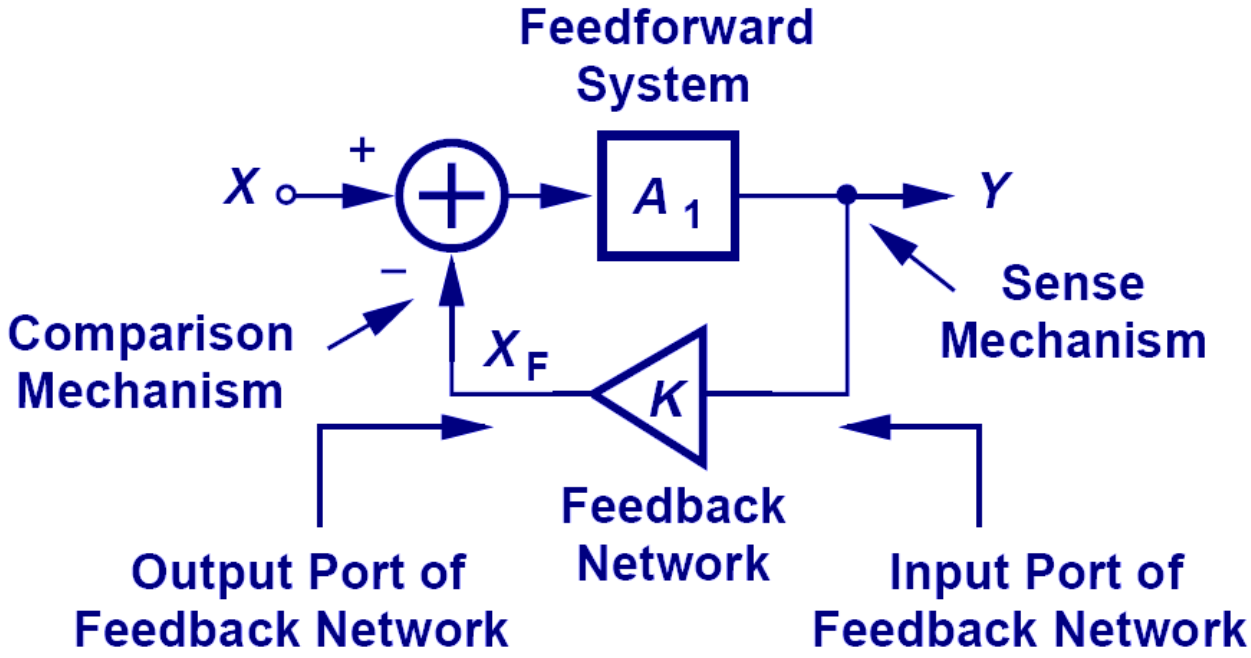
- 12.1 General Considerations
- 12.2 Types of Amplifiers
- 12.3 Sense and Return Techniques
- 12.4 Polarity of Feedback
- 12.5 Feedback Topologies
- 12.6 Effect of Finite I/O Impedances

سیستم با فیدبک منفی



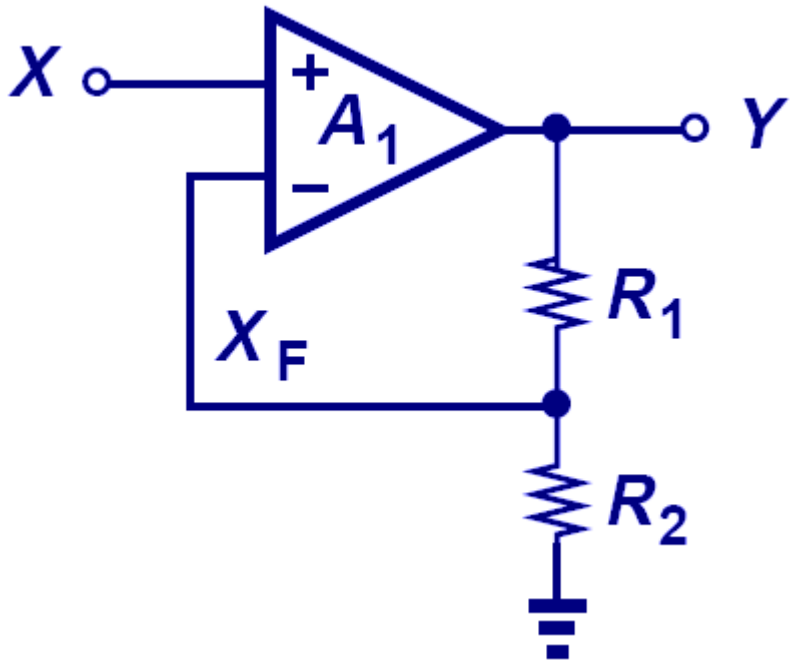
- یک سیستم فیدبک منفی از چهار بخش تشکیل شده است:
- 1- سیستم پیش خورد
- 2- نمونه گیر
- 3- شبکه فیدبک یا پسخورد
- 4- مقایسه کننده

تابع تبدیل سیستم حلقه بسته



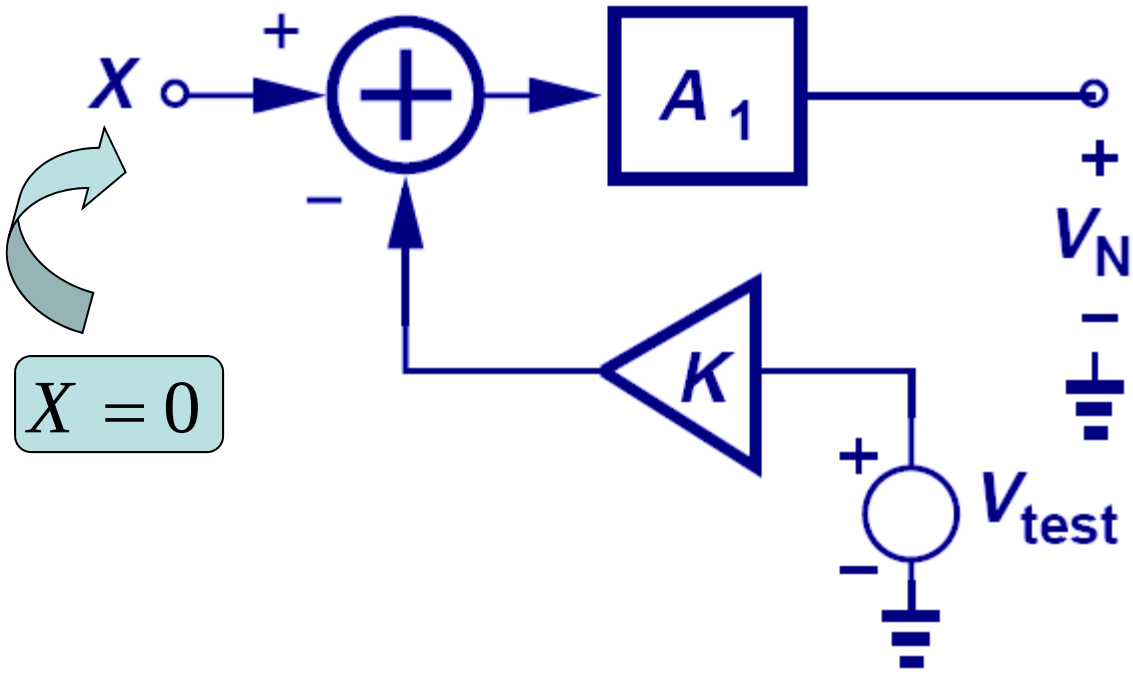
$$\frac{Y}{X} = \frac{A_1}{1 + KA_1}$$

مثال از فیدبک



$$\frac{Y}{X} = \frac{A_1}{1 + \frac{R_2}{R_1 + R_2} A_1}$$

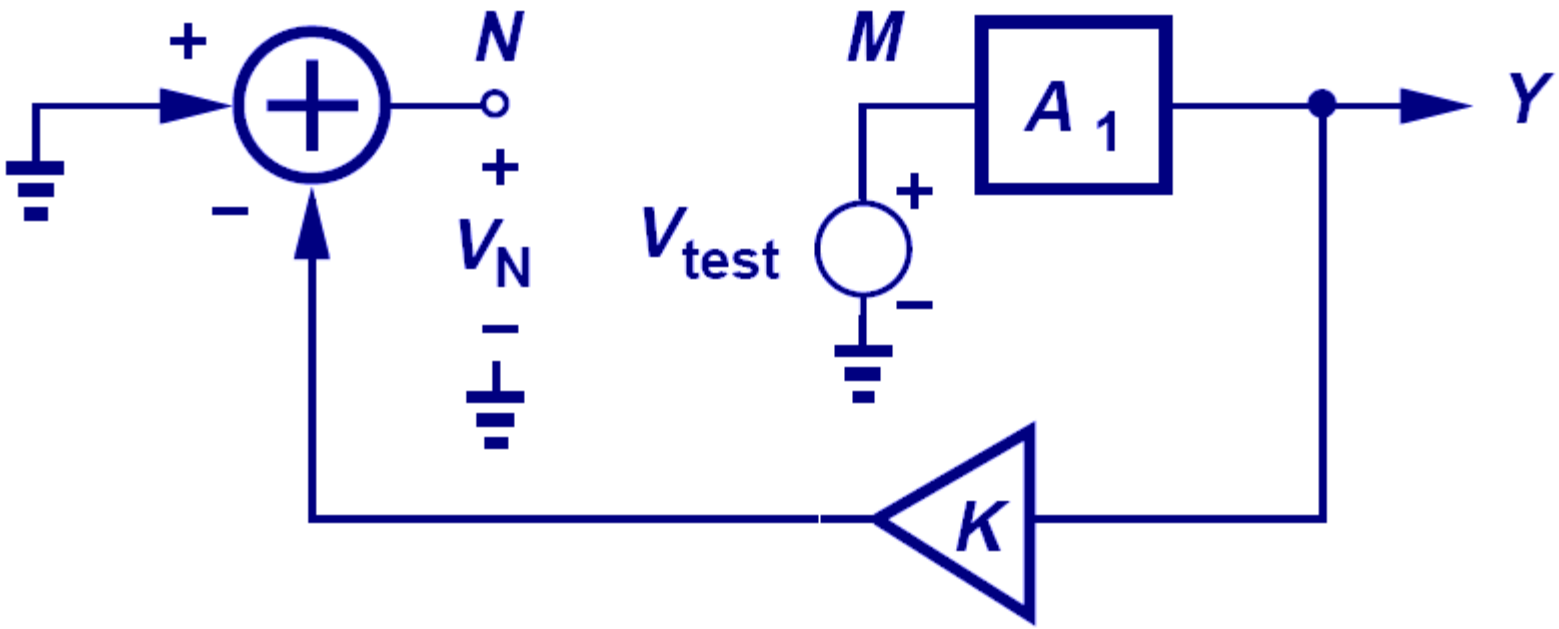
بهره حلقه



$$loop\ \ gain = \frac{V_N}{V_{test}} = -KA_1$$

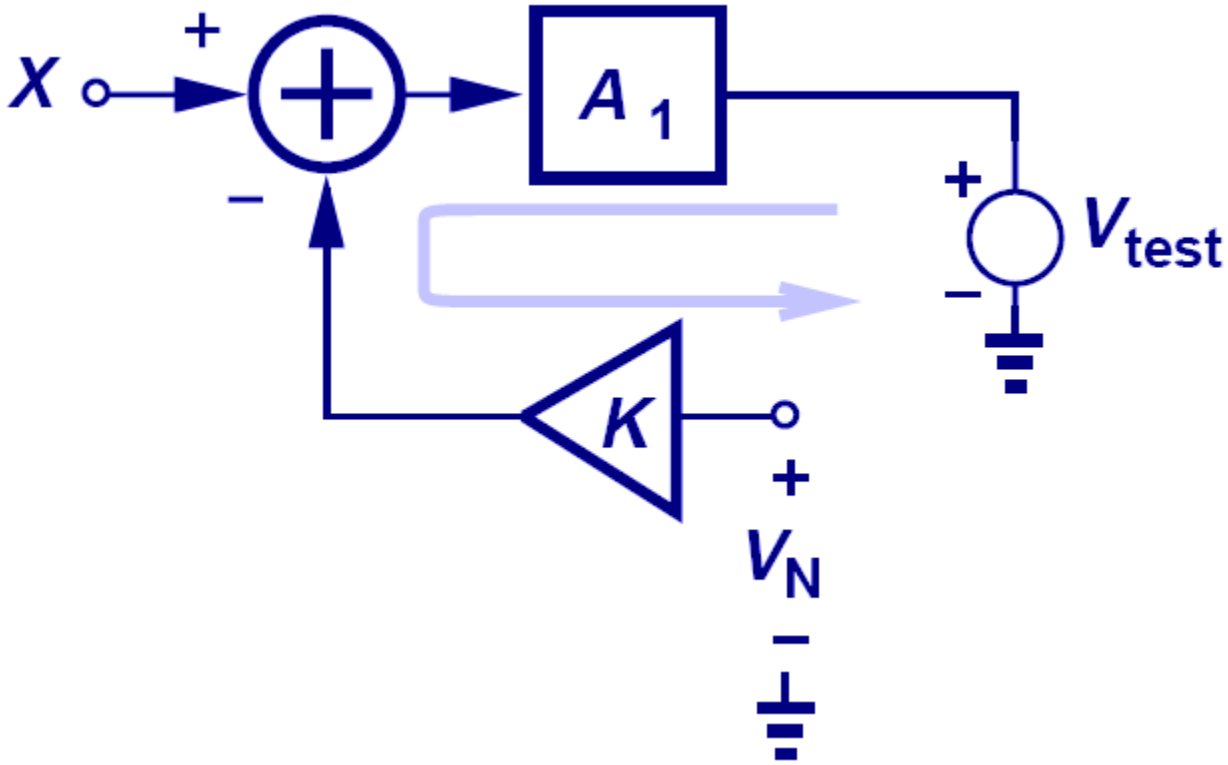
- برای محاسبه بهره حلقه ابتدا بایستی سیگنال ورودی را صفر کنیم. سپس بایستی حلقه فیدبک را از یک نقطه قطع کنیم. سپس با اعمال ولتاژ تست در محل انقطاع حلقه فیدبک می توان **loop Gain** را محاسبه کرد.

محاسبه بهره حلقه به روشی دیگر



$$loop\ \ gain = \frac{V_N}{V_{test}} = -KA_1$$

محاسبه نادرست بهره حلقه

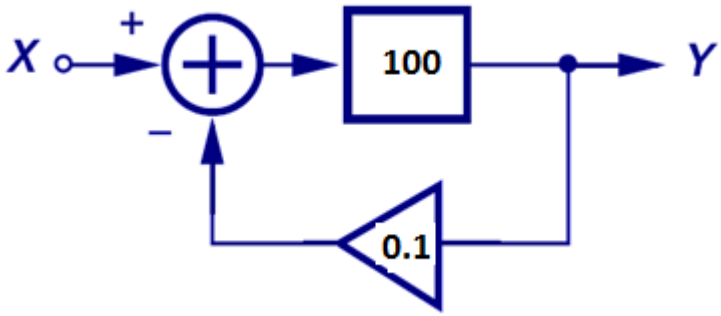


- در محاسبه بهره حلقه بایستی به مسیر حرکت سیگنال دقت کنیم.

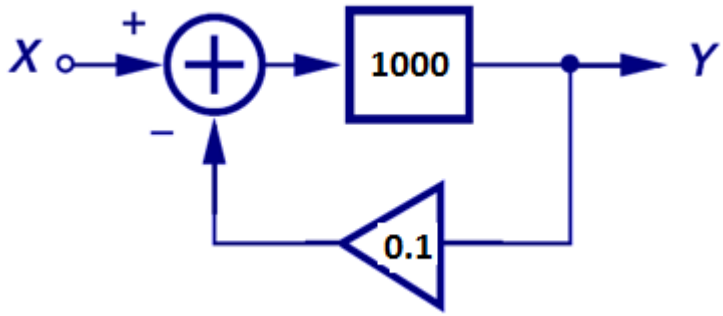
مزایای فیدبک منفی

- 1- غیر حساس شدن بهره به عوامل نامطلوب
- 2- افزایش عرض باند مدار
- 3- بهبود خطینگی مدار
- 4- اصلاح امپدانس های ورودی و خروجی مدار در جهت دلخواه

غیر حساس شدن بهره به عوامل ناخواسته



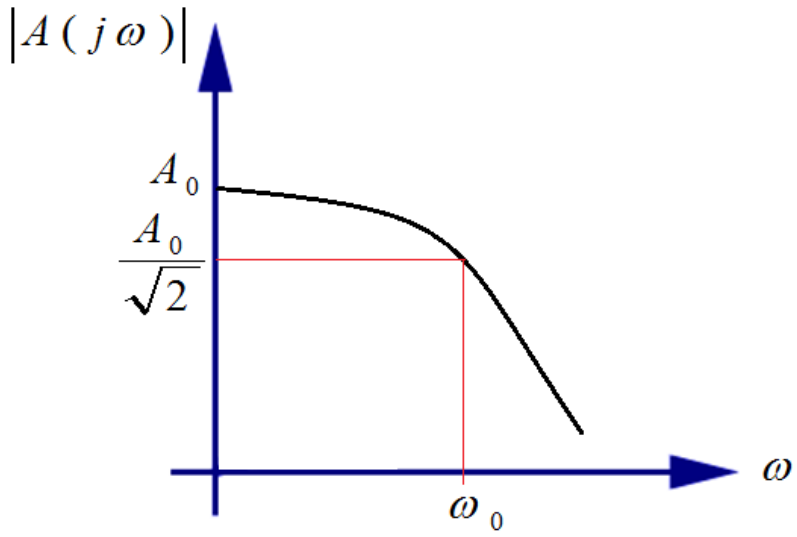
$$\frac{Y}{X} = \frac{100}{1+0.1\times100} = \frac{100}{11} = 9.1$$



$$\frac{Y}{X} = \frac{1000}{1+0.1\times1000} = \frac{1000}{101} = 9.9$$

مفهوم عرض باند یک تقویت کننده

$$A(s) = \frac{A_0}{1 + \frac{s}{\omega_0}}$$



$$|A(j\omega)| = \frac{A_0}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}} = \frac{A_0}{\sqrt{2}} \Longrightarrow \quad B.W = \omega_0$$

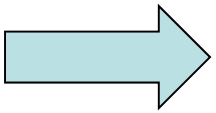
- بهره تقویت کننده ها تابع فرکانس است. فرکانسی که در آن، بهره تقویت کننده به اندازه $\sqrt{2}$ برابر کاهش می یابد بیانگر عرض باند تقویت کننده است.

افزایش عرض باند سیستم

Open Loop

$$A(s) = \frac{A_0}{1 + \frac{s}{\omega_0}}$$

Negative Feedback



Closed Loop

$$\frac{Y}{X}(s) = \frac{\frac{A_0}{1+KA_0}}{1 + \frac{s}{(1+KA_0)\omega_0}}$$

- اگرچه فیدبک منفی بهره کل سیستم را به میزان $(1+KA_0)$ برابر کاهش می دهد ولی در عوض عرض باند مدار را به میزان $(1+KA_0)$ برابر افزایش می دهد.

مثال

Open Loop

$$A(s)=\frac{1000}{1+\frac{s}{2\pi\times 1kHz}}$$

Negative Feedback

K=0.1

Closed Loop

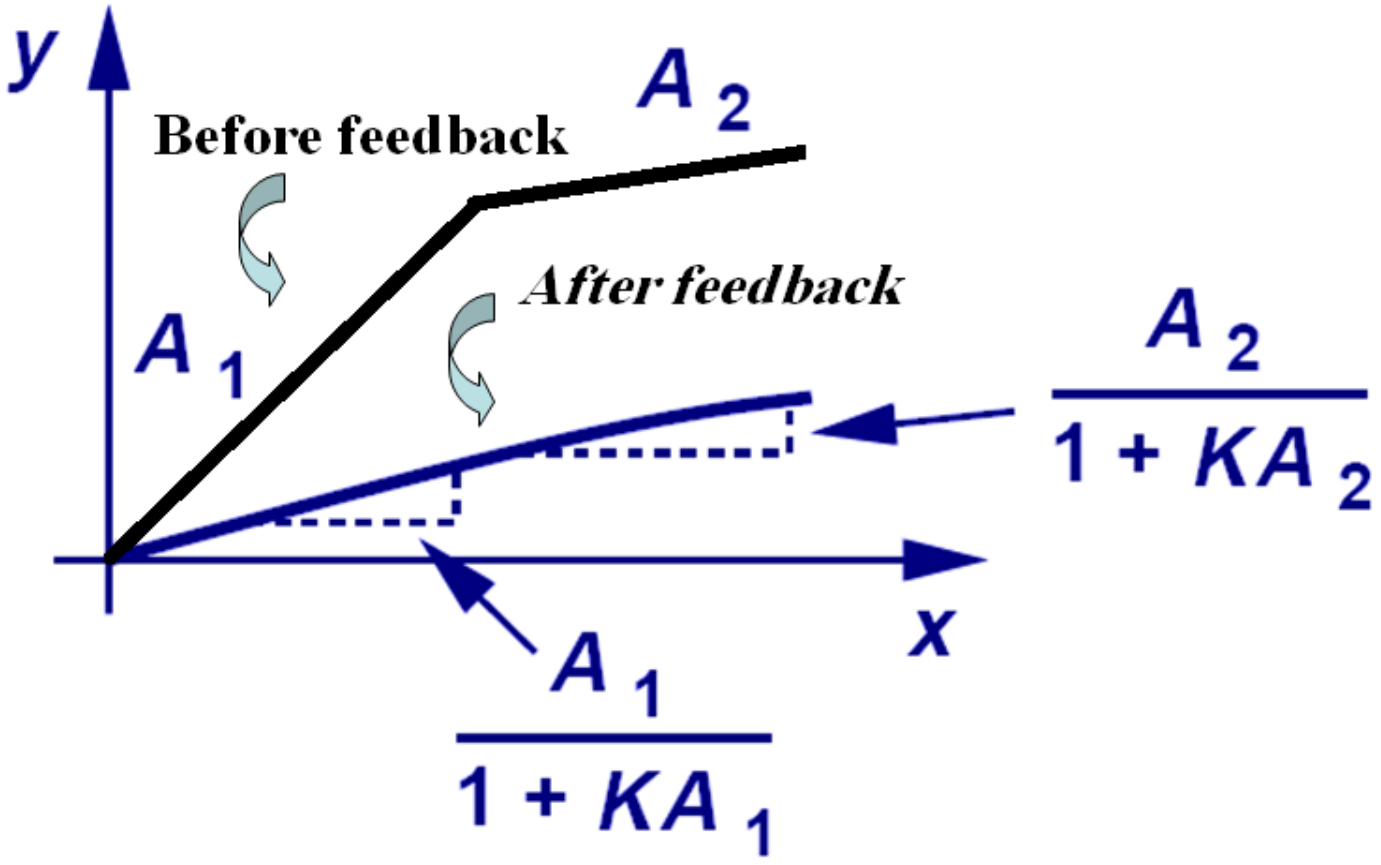
$$\frac{Y}{X}(s)=\frac{\frac{1000}{1+0.1\times 1000}}{1+\frac{s}{(1+0.1\times 1000)2\pi\times 1kHz}}$$

$$=\frac{\frac{1000}{101}}{1+\frac{s}{(101)2\pi\times 1kHz}}$$

$$\cong\frac{9.9}{1+\frac{s}{2\pi\times 101kHz}}$$

- **اگرچه فیدبک منفی بهره کل سیستم را به میزان 101 برابر کاهش می دهد ولی در عوض عرض باند مدار را به میزان 101 برابر افزایش می دهد.**

بهبود خطینگی



- **For example:**

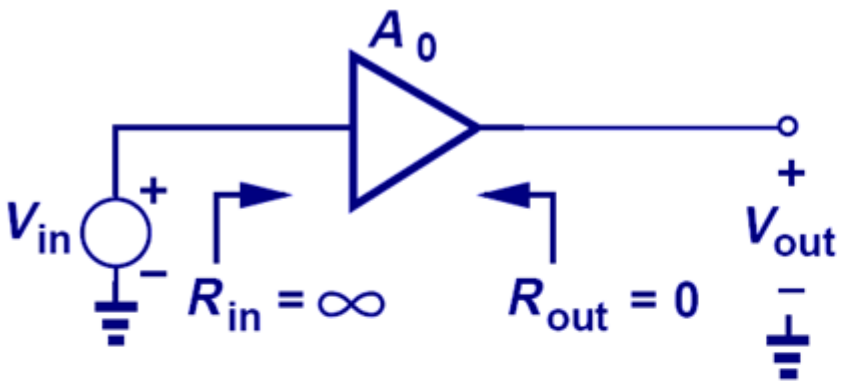
  A1=1000, A2=100, K=0.1 ➔ A1/(1+KA1)=9.9,
  A2/(1+KA2)=9.09

تغییر امپدانس های ورودی و خروجی در جهت دلخواه

- تقویت کننده ای را در نظر بگیرید که امپدانس های ورودی و خروجی آن به ترتیب برابر **Ri** و **Ro** است. اثبات می شود که با استفاده از فیدبک های مناسب می توان امپدانس های مزبور را در جهت دلخواه زیر تغییر داد بی آنکه لازم باشد در طراحی تقویت کننده فوق تغییری داده شود.
  - **Ri↑, Rout↓**
  - **Ri ↓, Rout ↓**
  - **Ri ↑, Rout ↑**
  - **Ri ↓, Rout ↑**

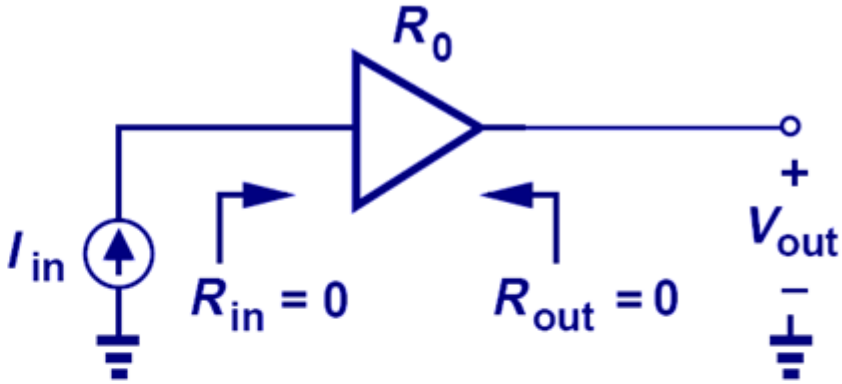
انواع تقویت کننده ها

تقویت کننده ولتاژ

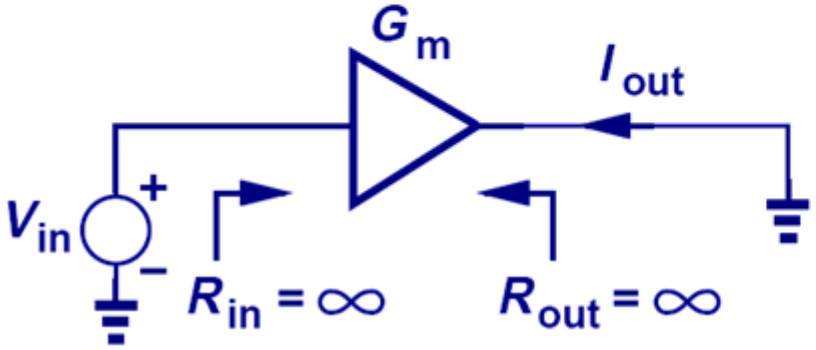


(a)

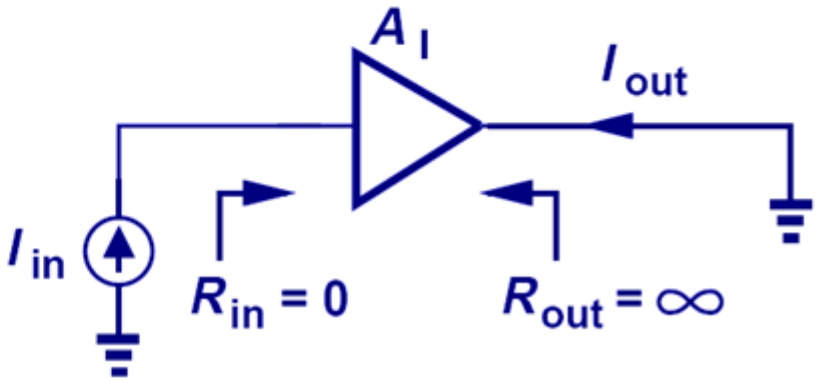
تقویت کننده مقاومت انتقالی



(b)



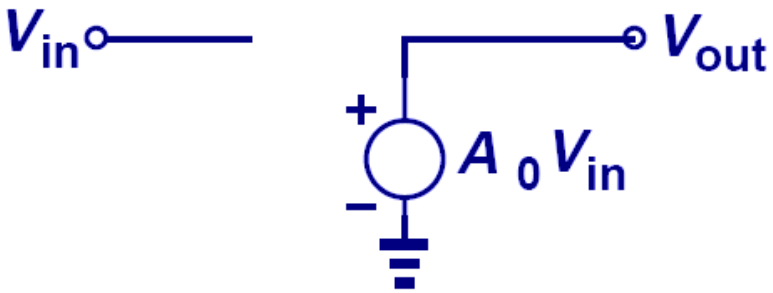
تقویت کننده هدایت انتقالی



تقویت کننده جریان

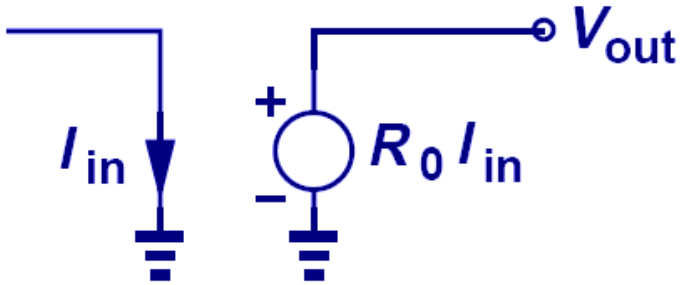
مدل ایده آل تقویت کننده های اسلاید قبل

Voltage Amplifier

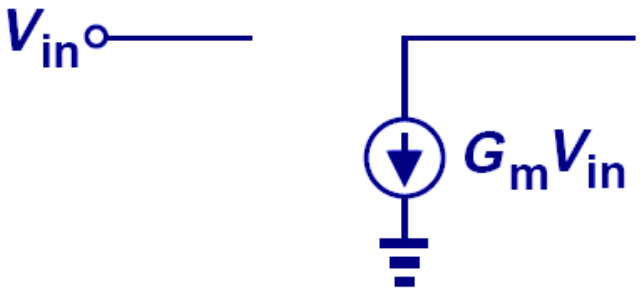


(a)

Trans-Impedance Amplifier

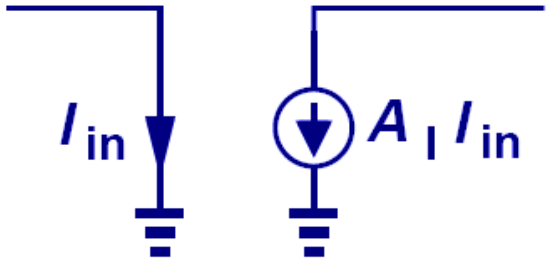


(b)



(c)

Trans-Conductance Amplifier

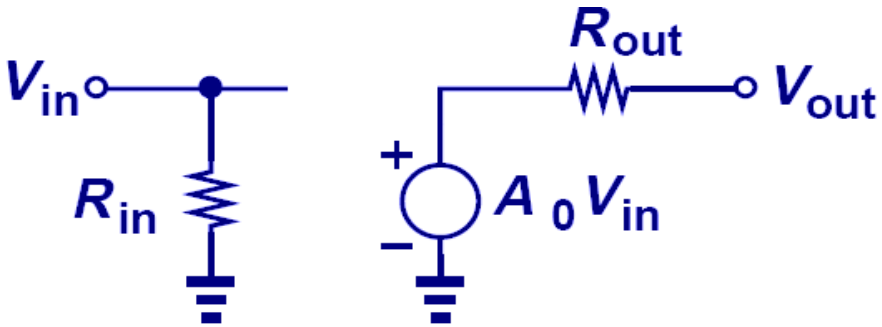


(d)

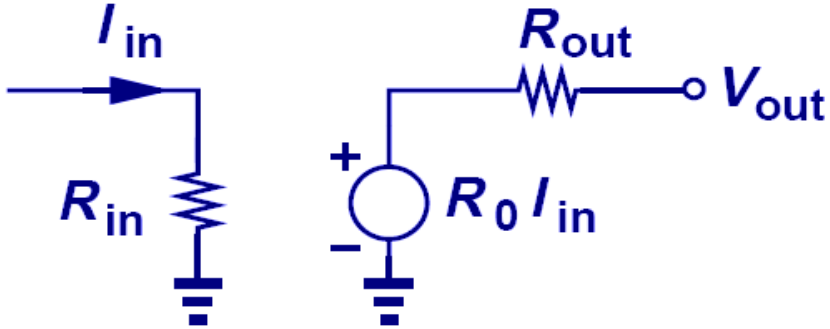
Current Amplifier

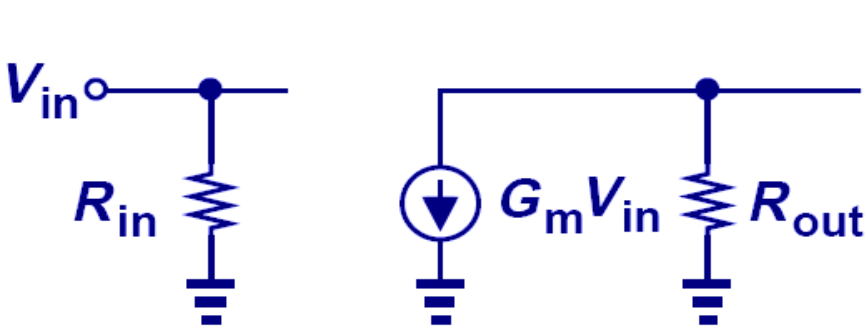
مدل واقعی تقویت کننده ها

Voltage Amplifier

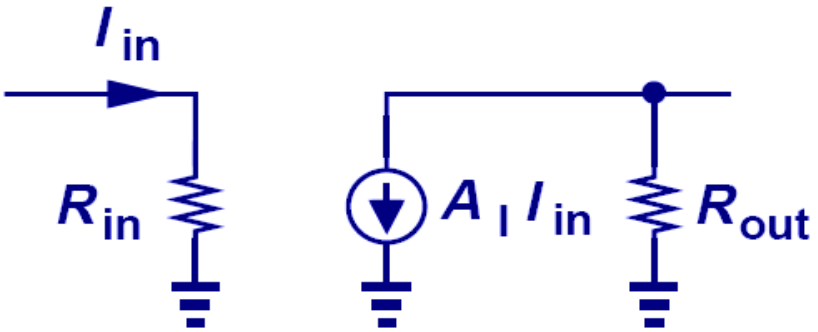


Trans-Impedance Amplifier





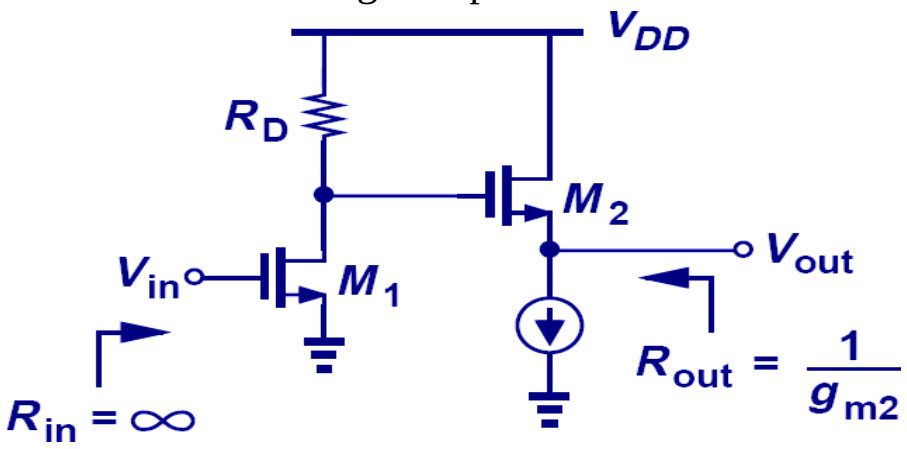
Trans-Conductance Amplifier



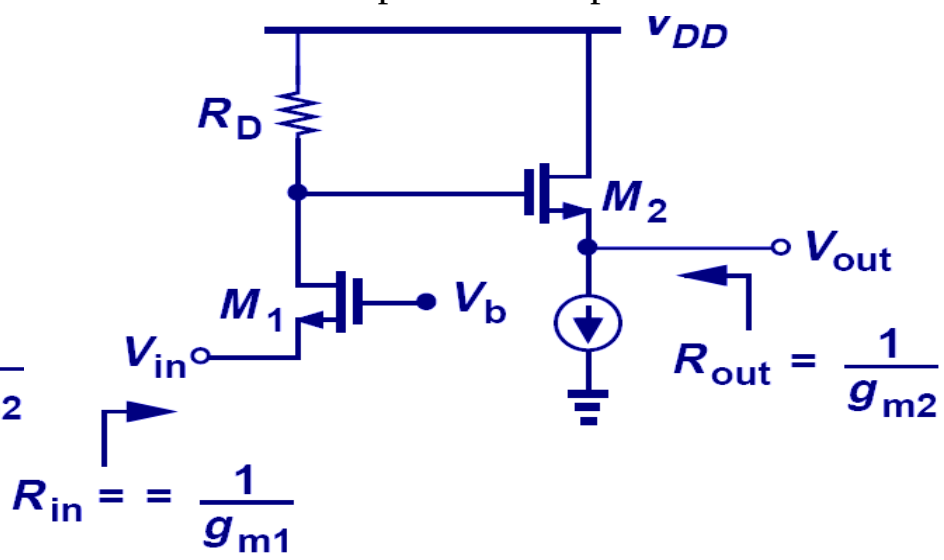
Current Amplifier

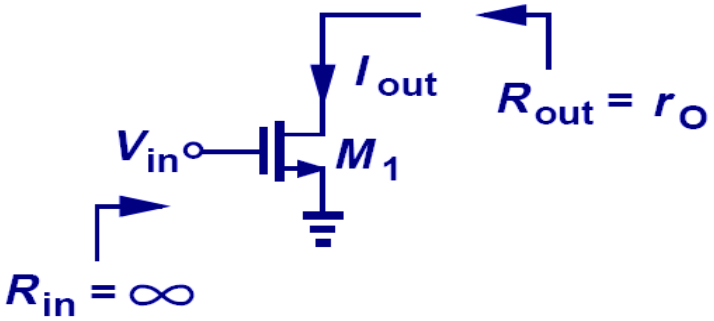
مثال هایی از انواع تقویت کننده ها

Voltage Amplifier

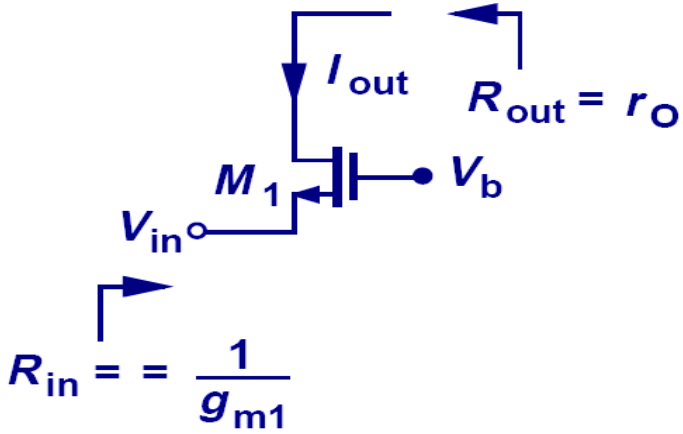


Trans-Impedance Amplifier



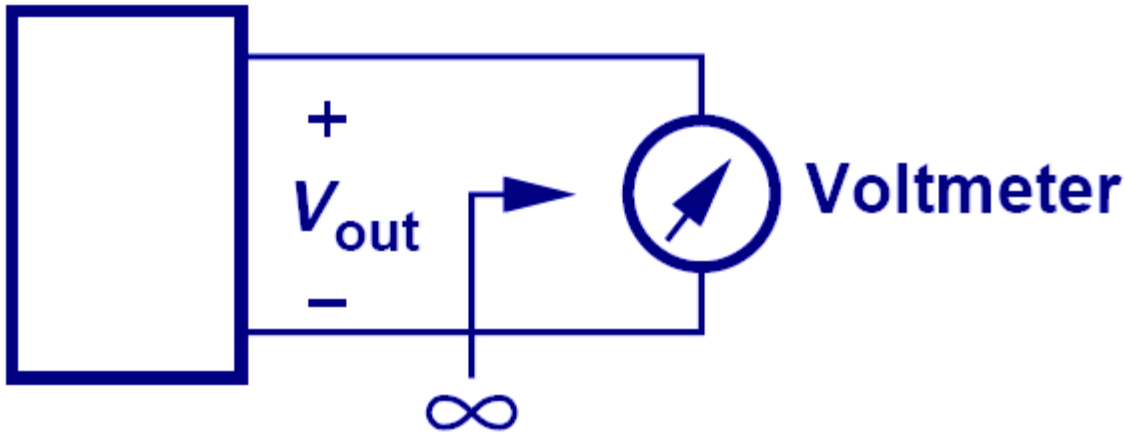


Trans-Conductance Amplifier



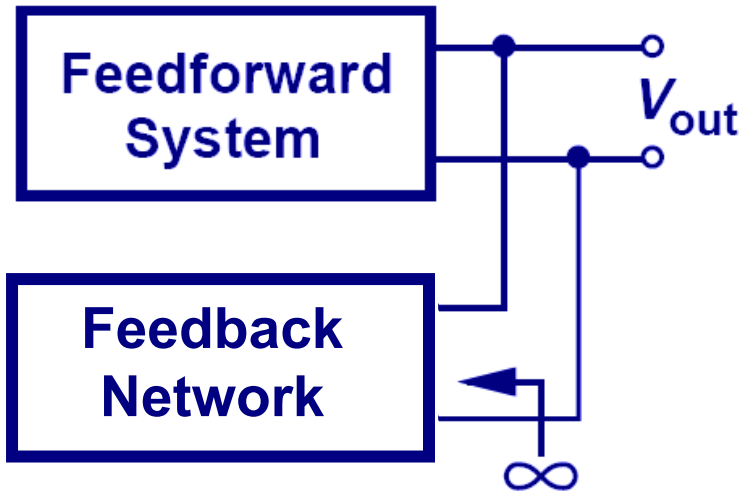
Current Amplifier

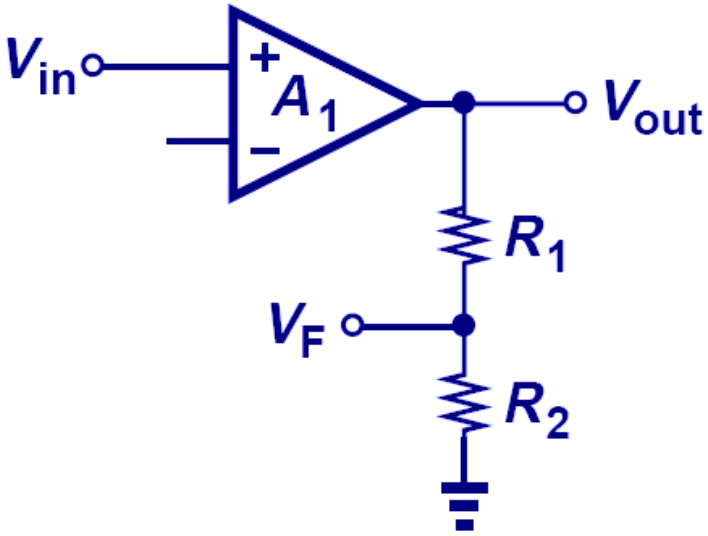
نمونه گیری از ولتاژ



- ایده آل ترین روش نمونه گیری از ولتاژ خروجی، استفاده از ولت سنج است. مقاومت ولت سنج بینهایت است و هنگام موازی کردن آن با مدار اصلی، هرگز آن را تحت تاثیر قرار نمی دهد.

ادامه اسلاید قبل

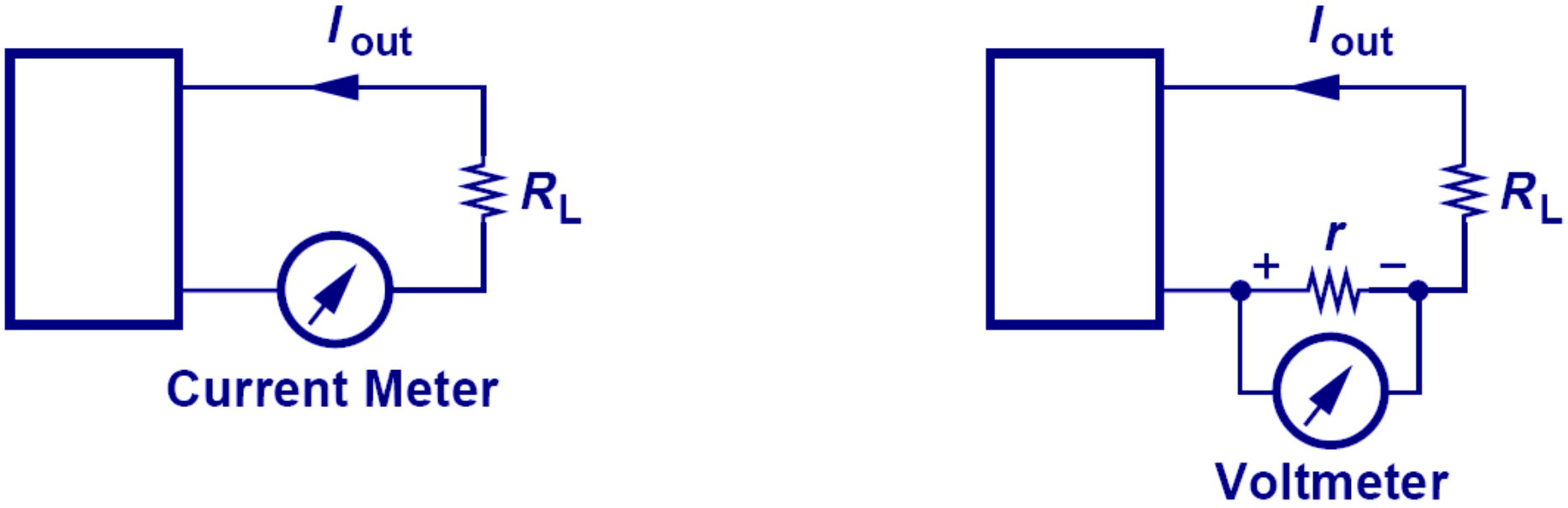




$$R_1 + R_2 \approx \infty$$

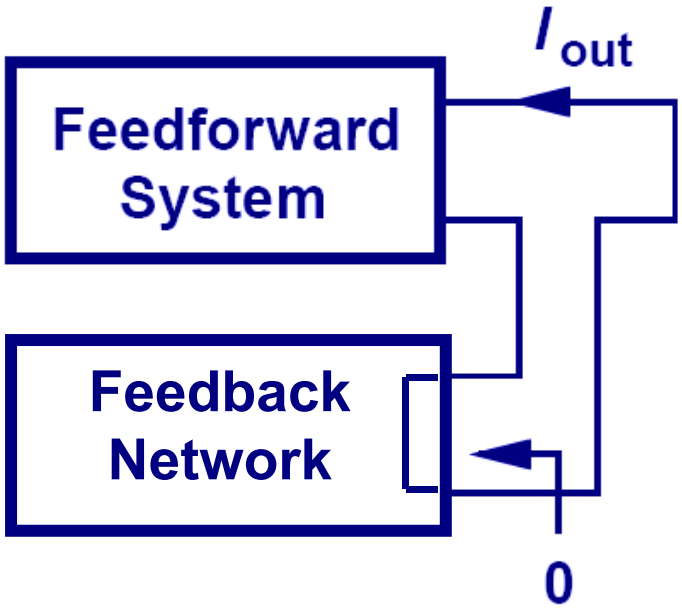
- به طریق مشابه، در یک شبکه فیدبک به منظور نمونه گیری از ولتاژ خروجی تقویت کننده اصلی بایستی اولا شبکه فیدبک با تقویت کننده اصلی موازی شود. ثانیا مقاومت ورودی شبکه فیدبک خیلی زیاد باشد.
- در مدار بالا مقاومت های R_1 و R_2 ولتاژ فیدبک V_F را فراهم می کنند.

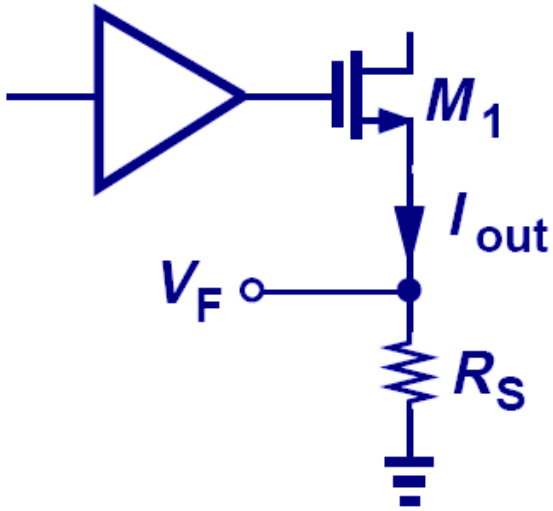
نمونه گیری از جریان



- به منظور نمونه گیری از جریان بایستی از آمپرسنج استفاده کرد. آمپر سنج دارای مقاومت داخلی 0 اهم است و سری کردن آن با یک مدار، هرگز آن مدار را تحت تاثیر قرار نمی دهد.
- یک آمپر سنج عملا معادل یک ولت سنج است که با یک مقاومت خیلی کوچک موازی شده است.

ادامه اسلاید قبل

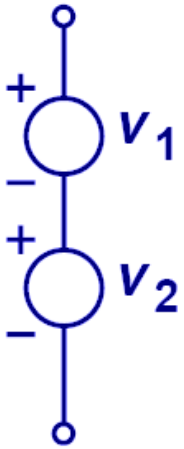




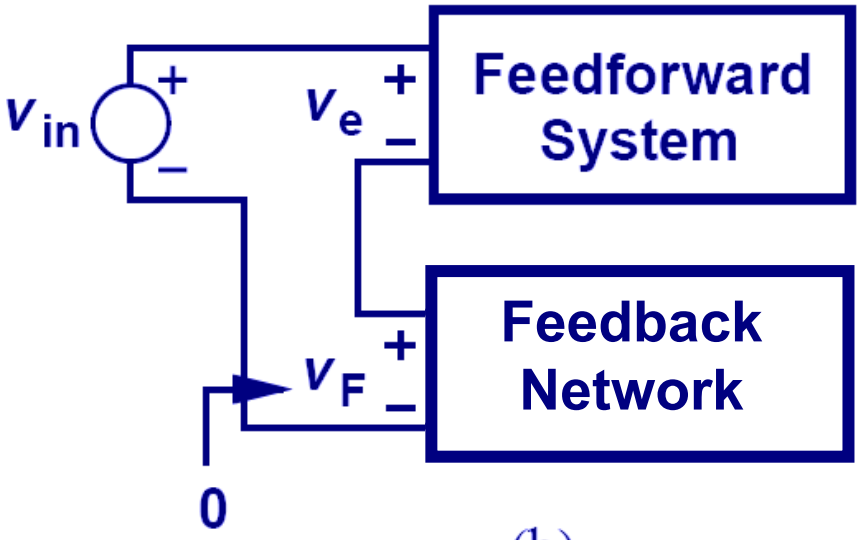
$$R_S \approx 0$$

- به طریق مشابه در یک شبکه فیدبک، به منظور نمونه گیری صحیح از جریان خروجی تقویت کننده اصلی بایستی اولا شبکه فیدبک با تقویت کننده اصلی سری شود. ثانیا مقاومت ورودی شبکه فیدبک خیلی کم باشد.
- در مدار بالا بایستی مقدار R_s خیلی کوچک باشد تا افت ولتاژ دو سر آن جریان I_{out} را تحت تاثیر قرار ندهد.

جمع دو ولتاژ



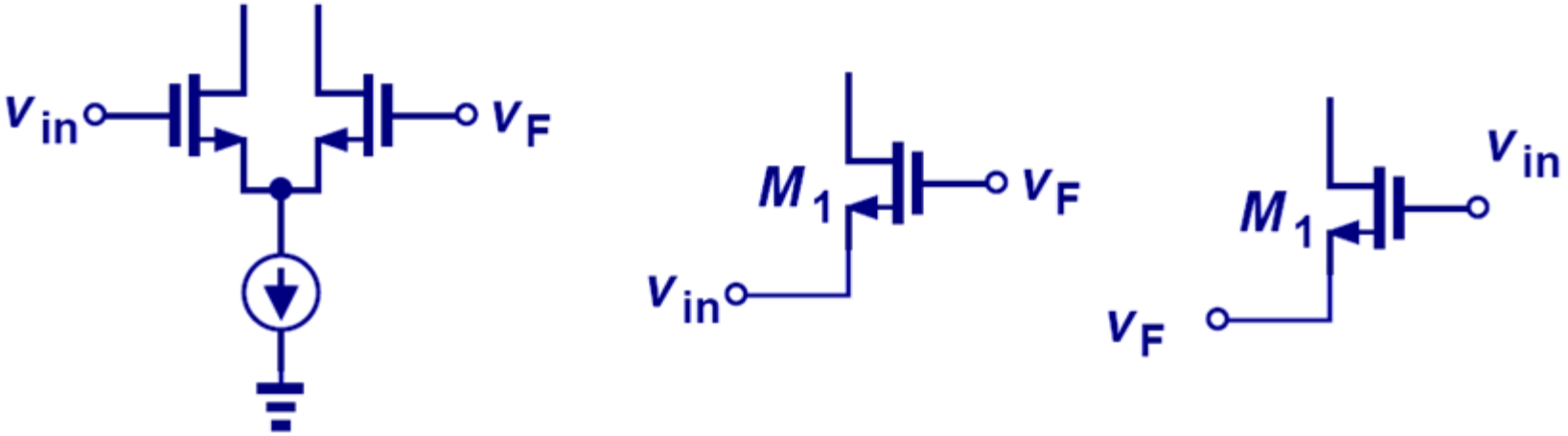
(a)



(b)

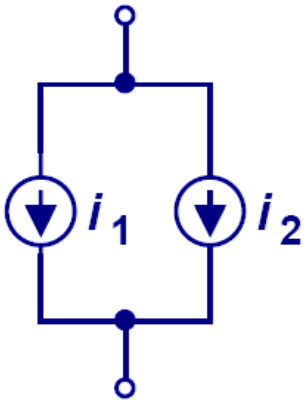
- به منظور جمع یا تفریق دو منبع ولتاژ از هم، ما بایستی آن ها را به صورت سری با یکدیگر قرار دهیم.
- بنابراین اگر سیگنال فیدبک شده از نوع ولتاژ باشد، در آن صورت شبکه فیدبک بایستی به صورت سری با منبع ولتاژ ورودی قرار بگیرد. آن گاه خواهیم داشت: $V_e=V_{in}-V_F$

مدار های عملی به منظور تفریق V_F از V_{in}

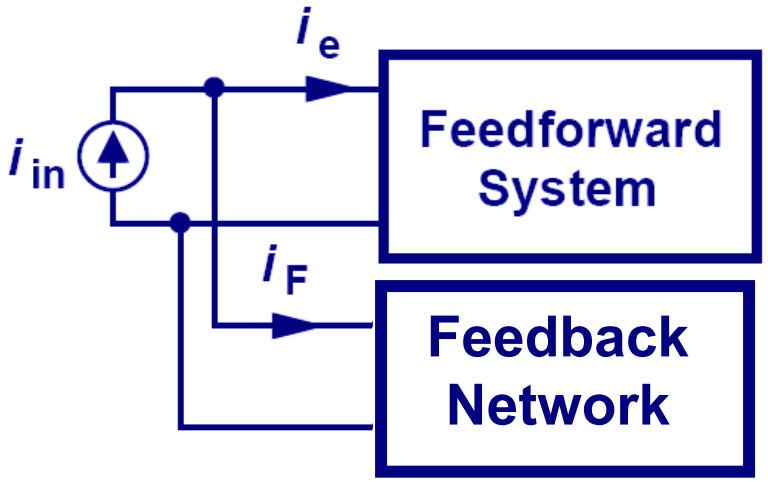


- اگرچه در مدار های فوق منابع ولتاژ Vin و VF مستقیما سری نشده اند لیکن عملکرد مدارهای فوق طوری است که جریان سیگنال کوچک ترانزیستورها متناسب با تفریق Vin و VF است.

جمع دو جریان



(a)

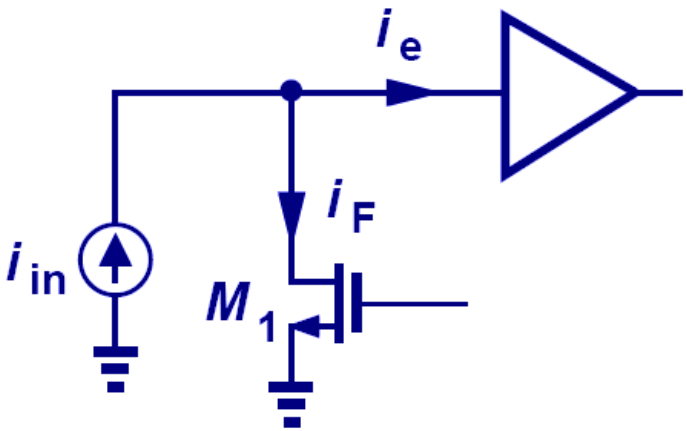


(b)

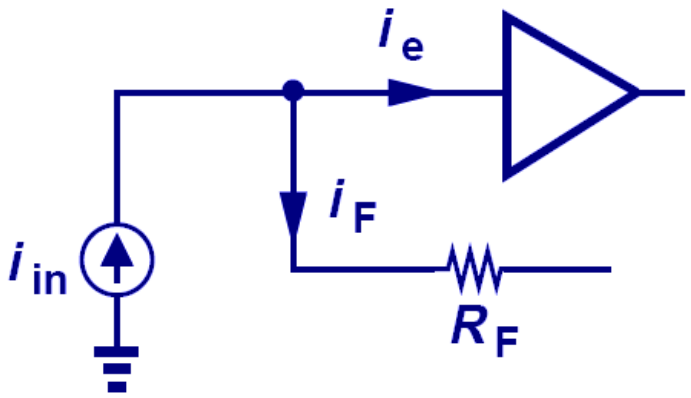
- به منظور جمع یا تفریق دو منبع جریان، ما آن ها را با یکدیگر موازی می کنیم.
- بنابراین اگر سیگنال فیدبک شده از نوع جریان باشد، در آن صورت شبکه فیدبک بایستی به صورت موازی با منبع جریان ورودی قرار بگیرد. آن گاه خواهیم داشت:

$$I_e = I_{in} - I_F$$

مدار های عملی به منظور تفریق I_F از I_{in}



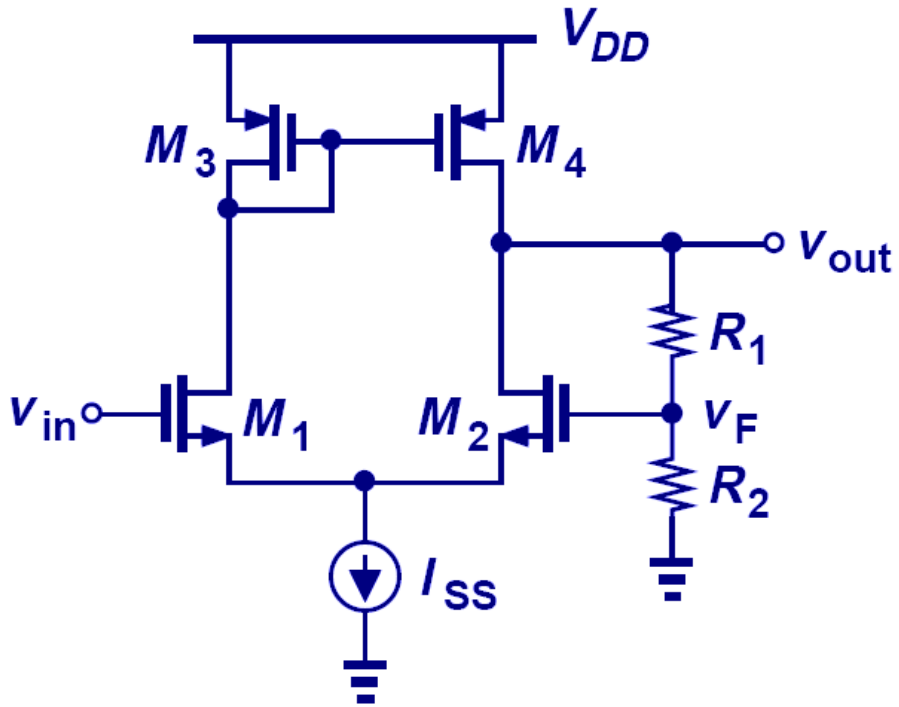
(c)



(d)

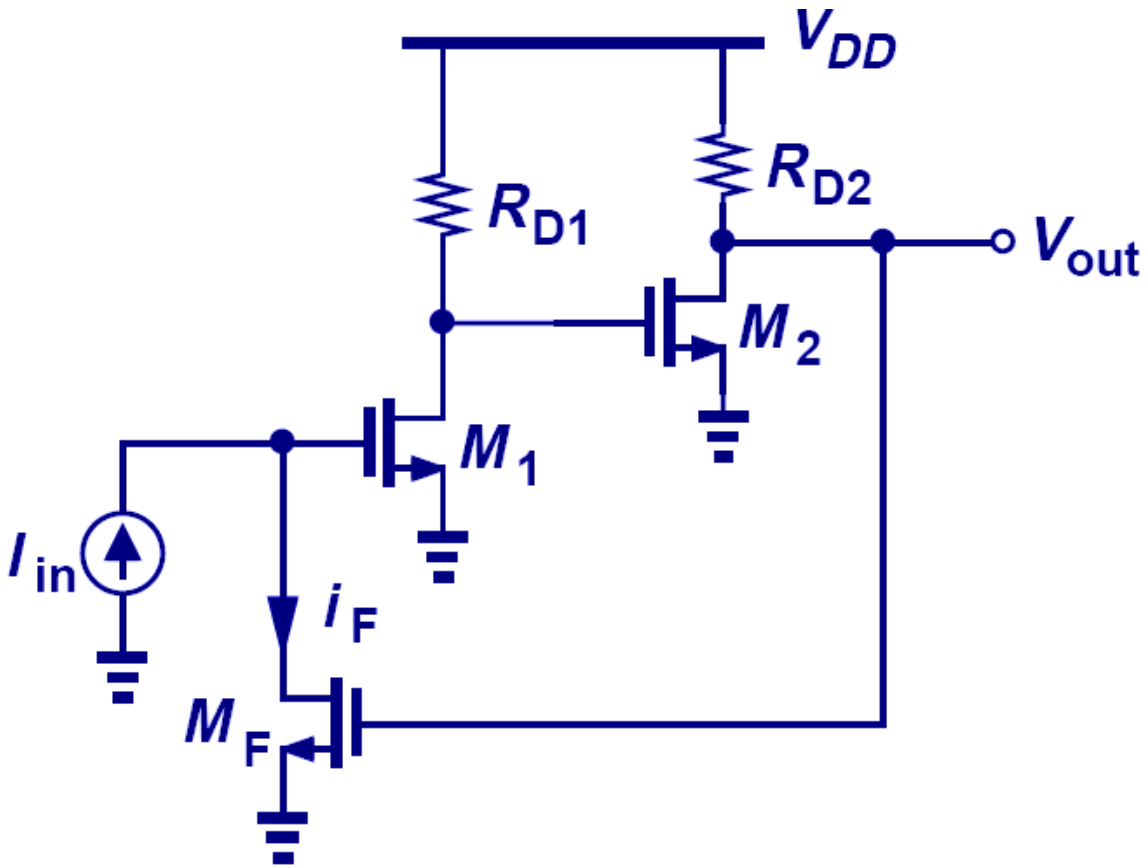
- در مدارهای فوق بایستی مقدار مقاومت های R_F و r_o خیلی زیاد باشند تا بتوان I_F را معادل با یک منبع جریان در نظر گرفت.

نحوه محاسبه ضریب فیدبک (مثال 1)



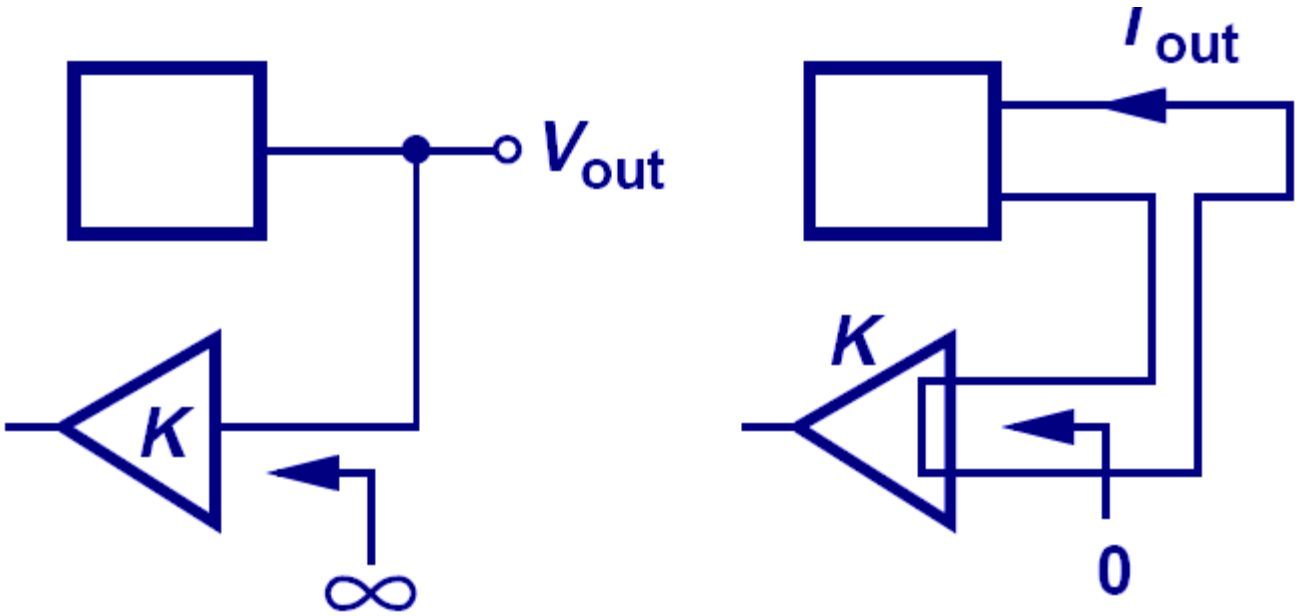
$$K = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

نحوه محاسبه ضریب فیدبک (مثال 2)



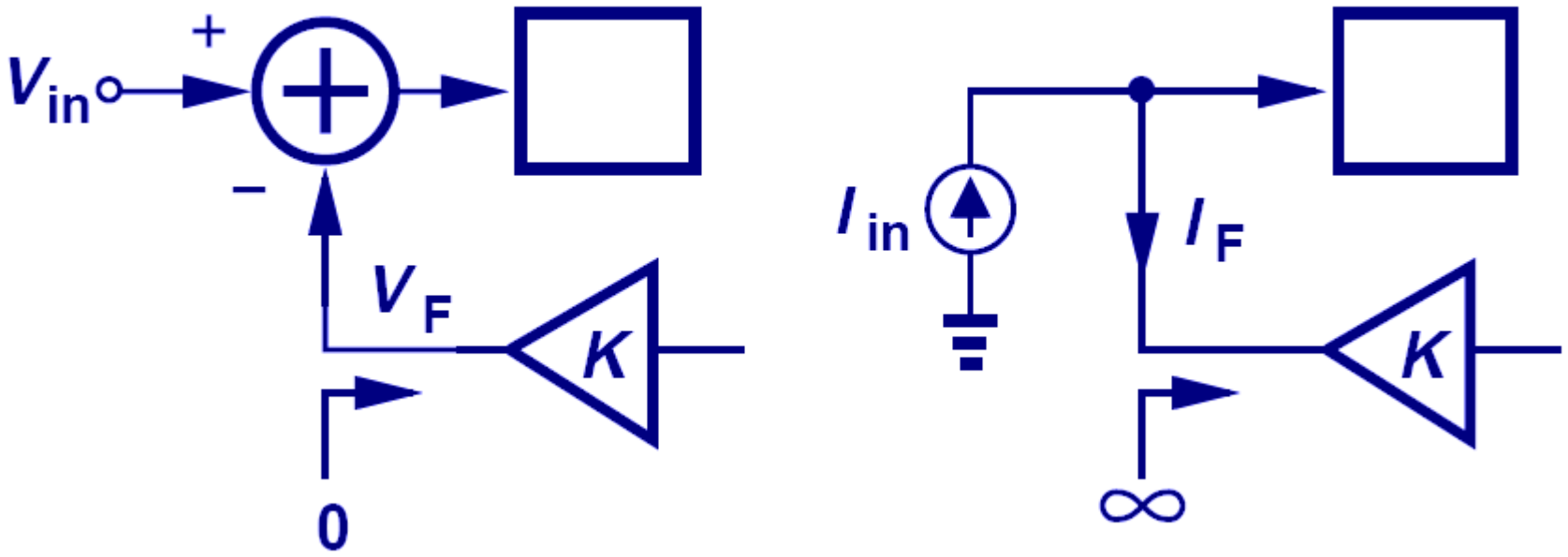
$$K = \frac{i_F}{v_{out}} = g_{mF}$$

امپدانس ورودی یک شبکه فیدبک ایده آل



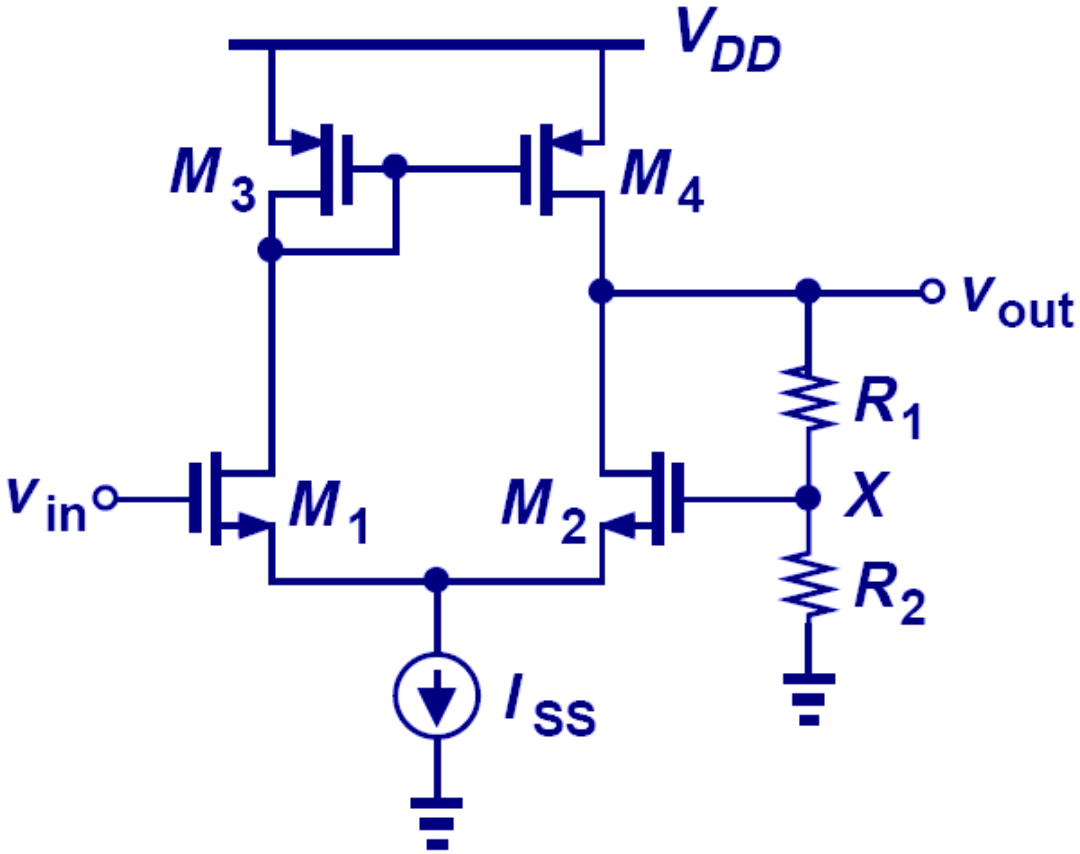
- به منظور نمونه گیری از ولتاژ، حالت ایده آل این است که امپدانس ورودی شبکه فیدبک بینهایت باشد.
- به منظور نمونه گیری از جریان، حالت ایده آل این است که امپدانس ورودی شبکه فیدبک صفر باشد.

امپدانس خروجی یک شبکه فیدبک ایده آل



- به منظور مقایسه ولتاژ فیدبک شده با ولتاژ ورودی، حالت ایده آل این است که امپدانس خروجی شبکه فیدبک صفر باشد.
- به منظور مقایسه جریان فیدبک شده با جریان ورودی، حالت ایده آل این است که امپدانس خروجی شبکه فیدبک بینهایت باشد.

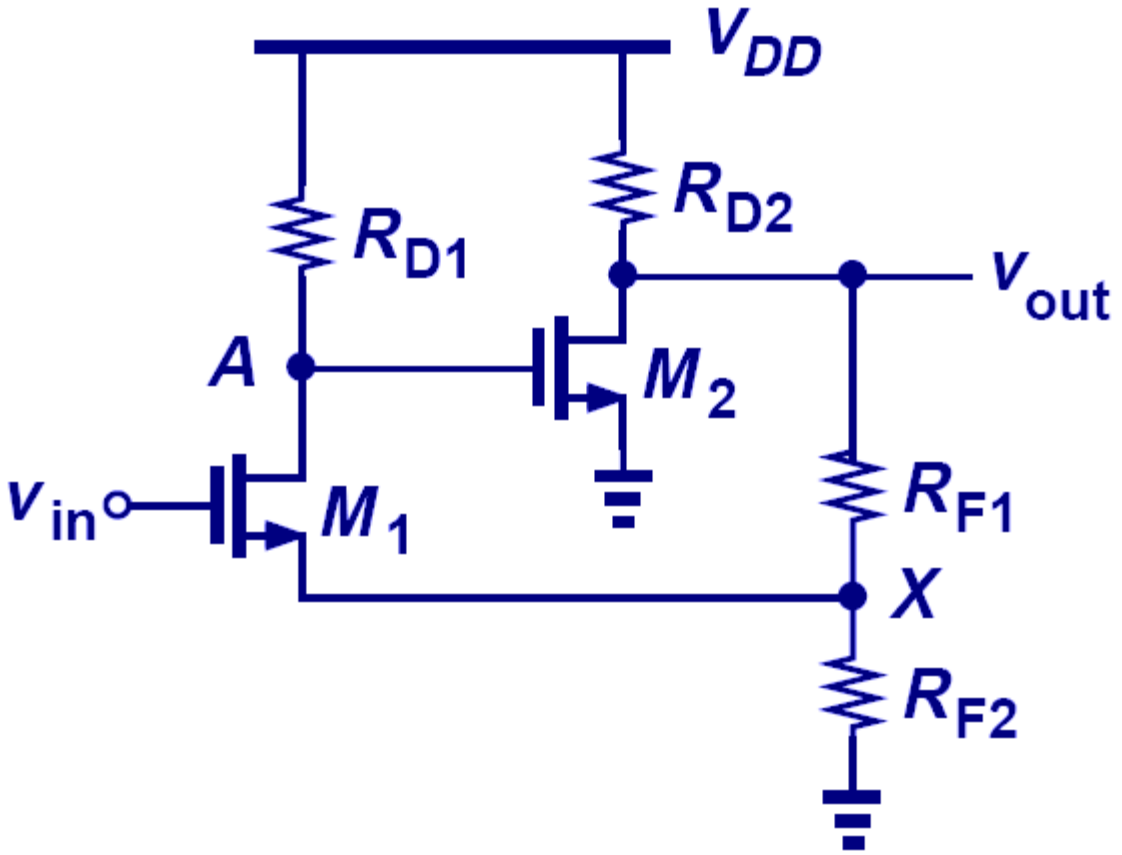
تعیین مثبت یا منفی بودن فیدبک (مثال 1)



$$V_{out}\uparrow \Rightarrow V_x\uparrow \Rightarrow V_{out}\downarrow$$

Negative Feedback

تعیین مثبت یا منفی بودن فیدبک (مثال 2)



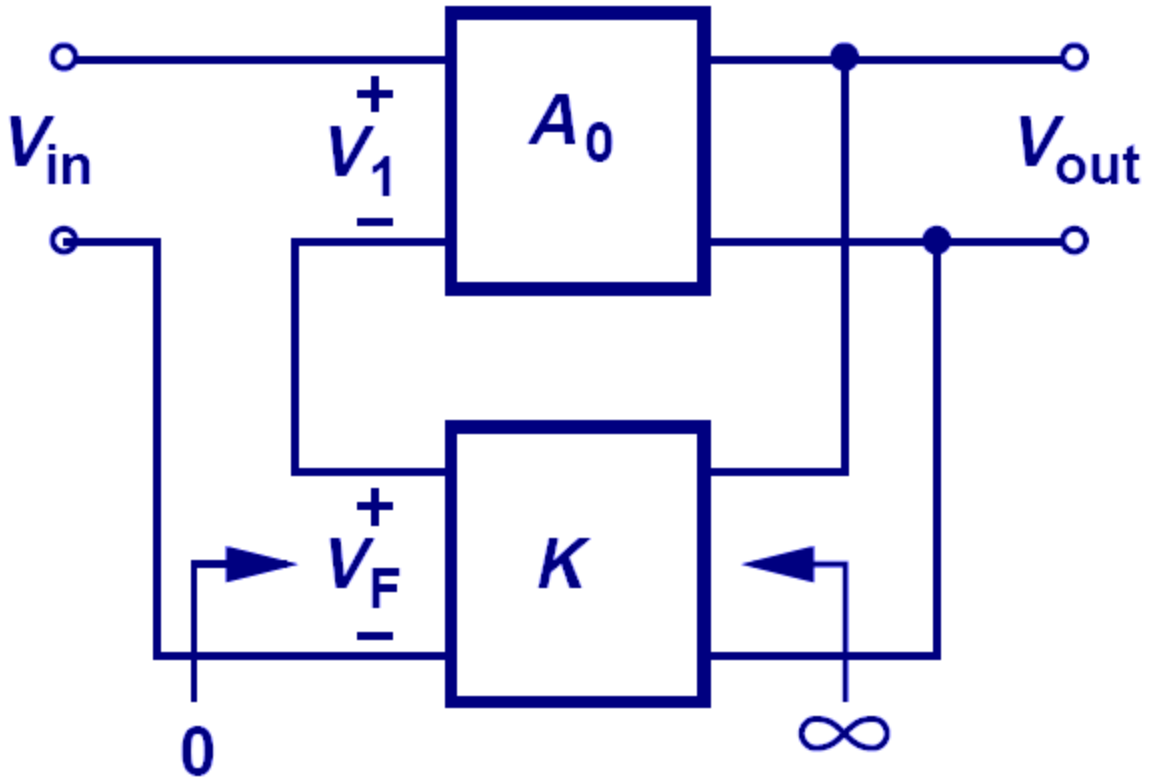
$$V_A \downarrow \Rightarrow V_{out} \uparrow, V_x \uparrow \Rightarrow V_A \uparrow$$

Negative Feedback

توپولوژی های فیدبک

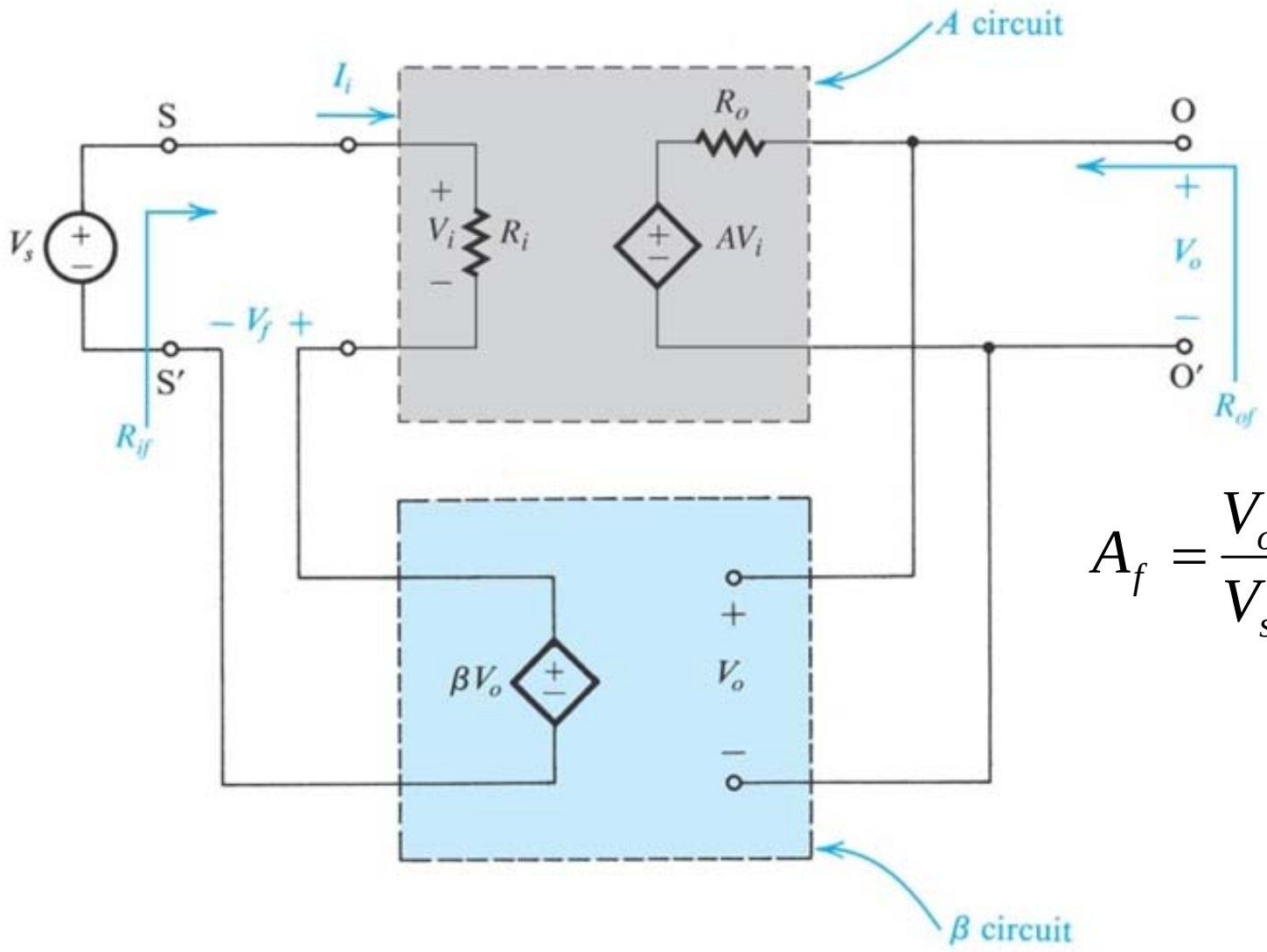
- فیدبک ولتاژ-ولتاژ
  - (این فیدبک معمولا در تقویت کننده های ولتاژ به کار می رود.)
- فیدبک ولتاژ-جریان
  - (این فیدبک معمولا در تقویت کننده های مقاومت انتقالی به کار می رود.)
- فیدبک جریان-ولتاژ
  - (این فیدبک معمولا در تقویت کننده های هدایت انتقالی به کار می رود.)
- فیدبک جریان-جریان
  - (این فیدبک معمولا در تقویت کننده های جریان به کار می رود.)

فیدبک ولتاژ-ولتاژ یا فیدبک موازی-سری یا ولتاژ-سری



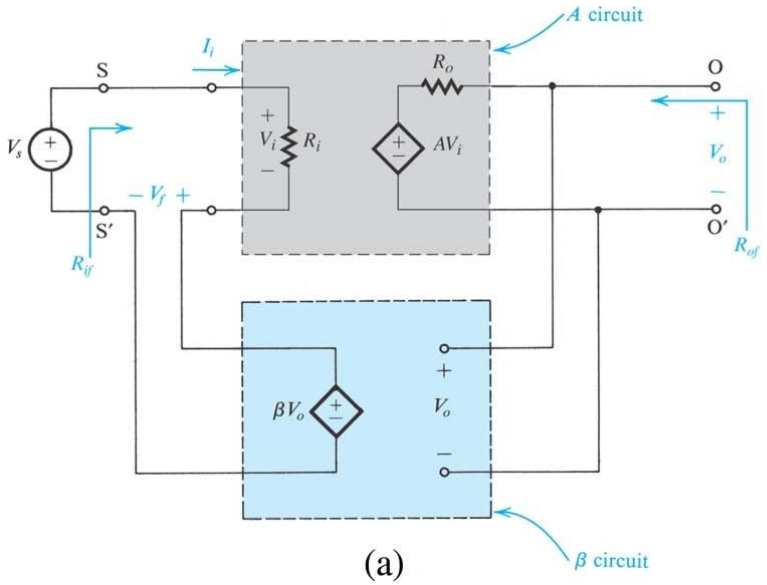
$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{A_0}{1 + KA_0}$$

فیدبک ولتاژ-ولتاژ یا فیدبک موازی-سری یا ولتاژ-سری
(کتاب صدرا)

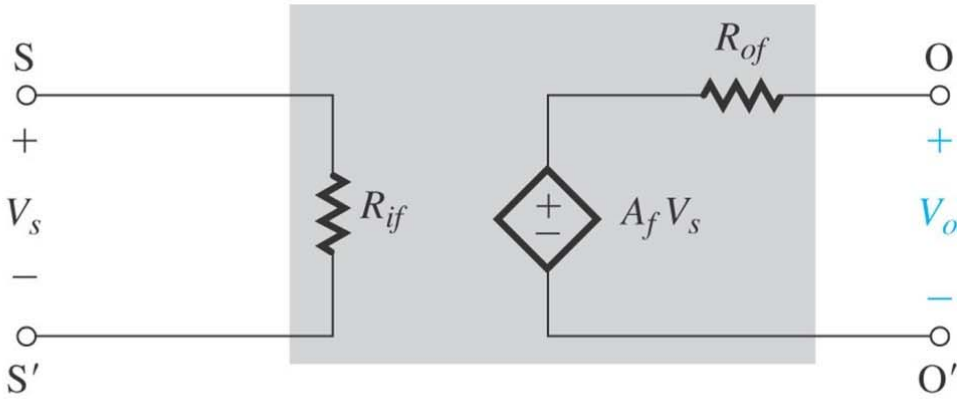


$$A_f = \frac{V_o}{V_s} = \frac{A}{1+\beta A}$$

ادامه



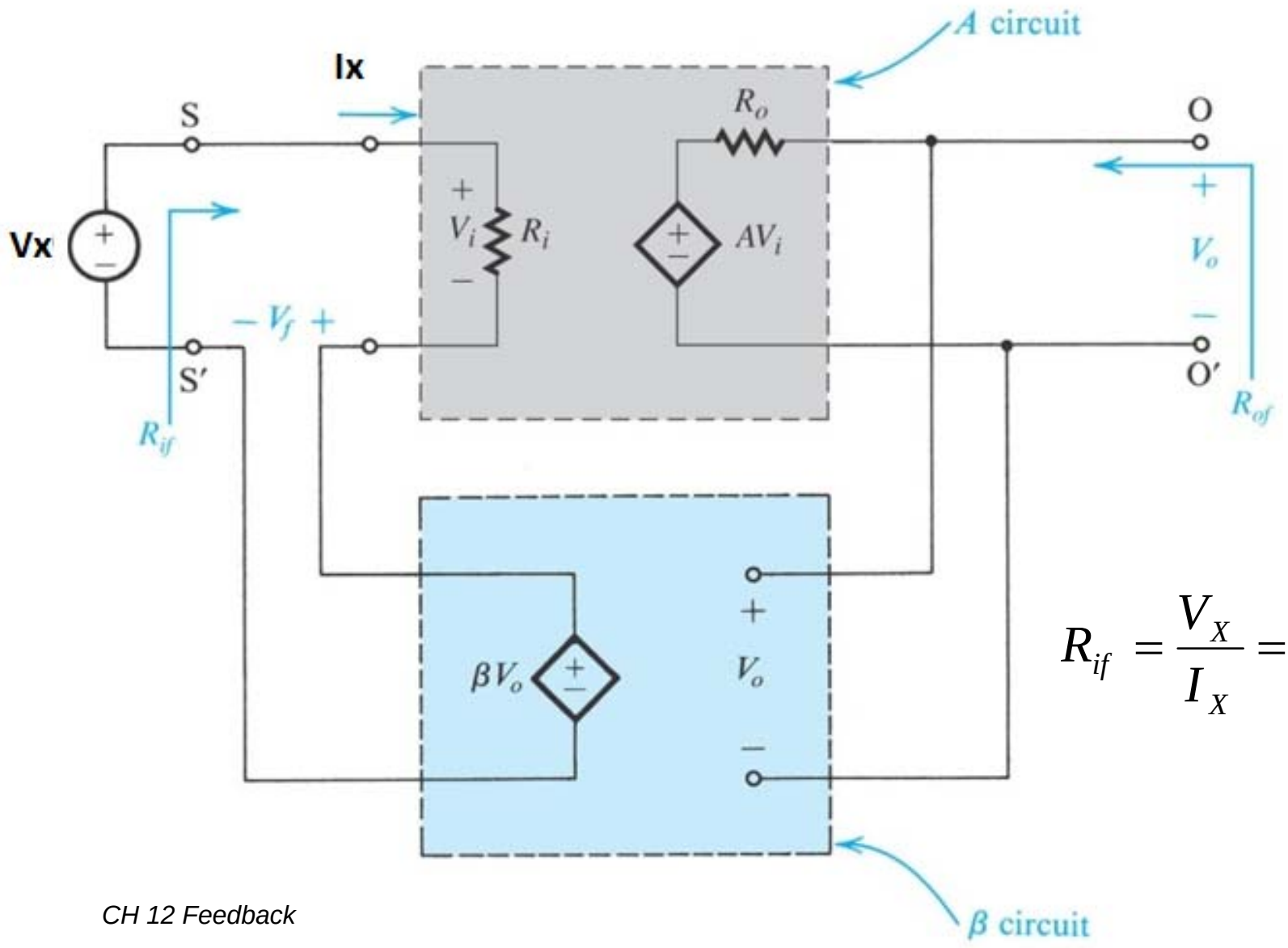
(a)



(b)

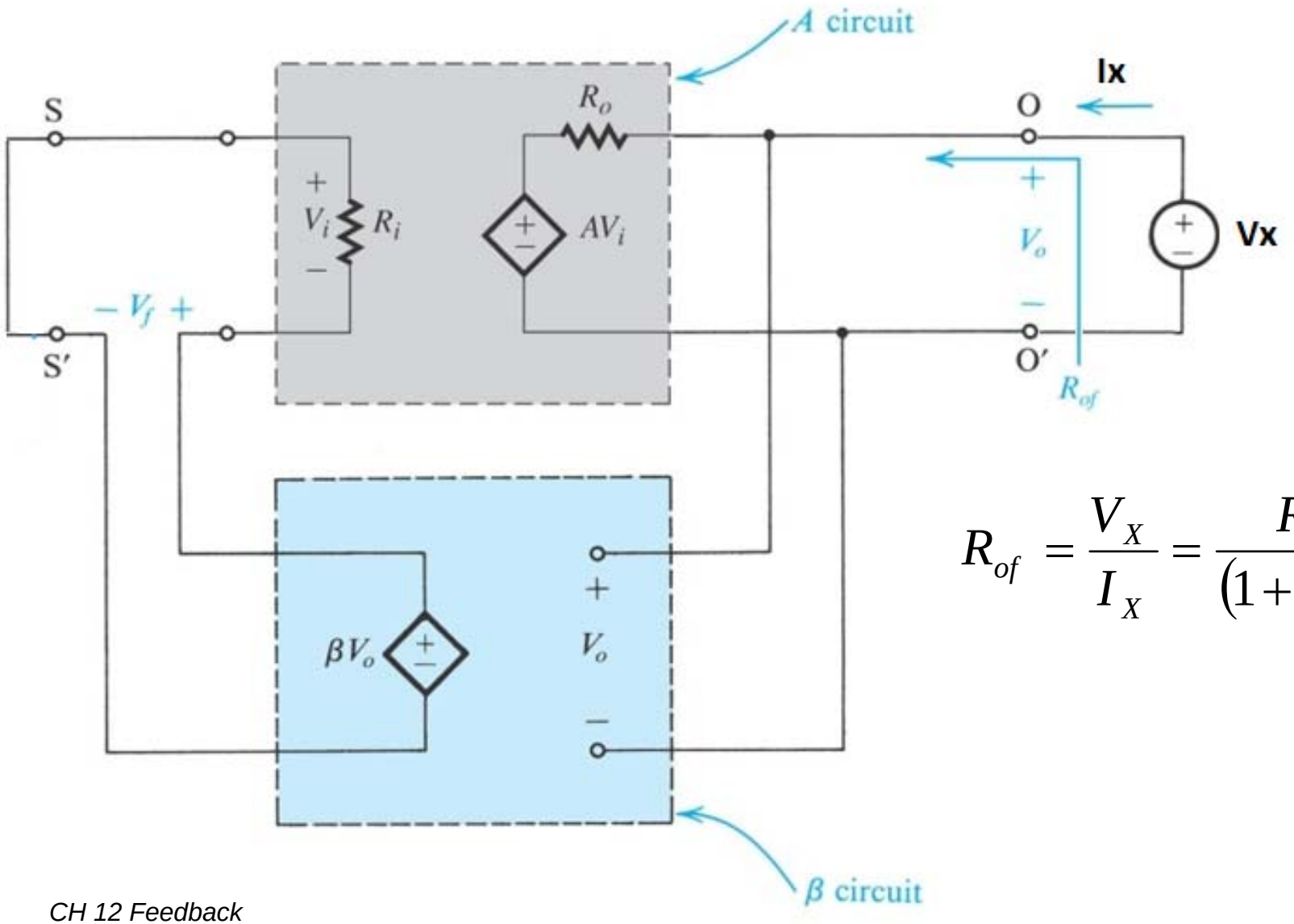
- مدارهای شکل های a و b با هم معادل هستند.

محاسبه امپدانس ورودی تقویت کننده با شبکه فیدبک ایده آل ولتاژ-ولتاژ



$$R_{if} = \frac{V_X}{I_X} = R_i(1+\beta A)$$

محاسبه امپدانس خروجی تقویت کننده با شبکه فیدبک ایده آل ولتاژ-ولتاژ



$$R_{of} = \frac{V_X}{I_X} = \frac{R_o}{(1+\beta A)}$$

جمع بندی

- مشاهده می شود که در فیدبک ولتاژ-ولتاژ امپدانس ورودی افزایش و امپدانس خروجی کاهش می یابد. به همین دلیل این فیدبک معمولا در تقویت کننده های ولتاژ به کار می رود.
- یادآوری می شود که در تقویت کننده های ولتاژ ما تمایل داریم که امپدانس ورودی زیاد و امپدانس خروجی کم باشد. فیدبک ولتاژ-ولتاژ کمک می کند تا ما به هدف مان برسیم.

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