



Fundamentals of Microelectronics II

فصل ۱۲ - فیدبک

(قسمت اول - ملاحظات کلی و انواع تقویت کننده ها)

Mohammad Ali Mansouri- Birjandi

Majid Ghardan

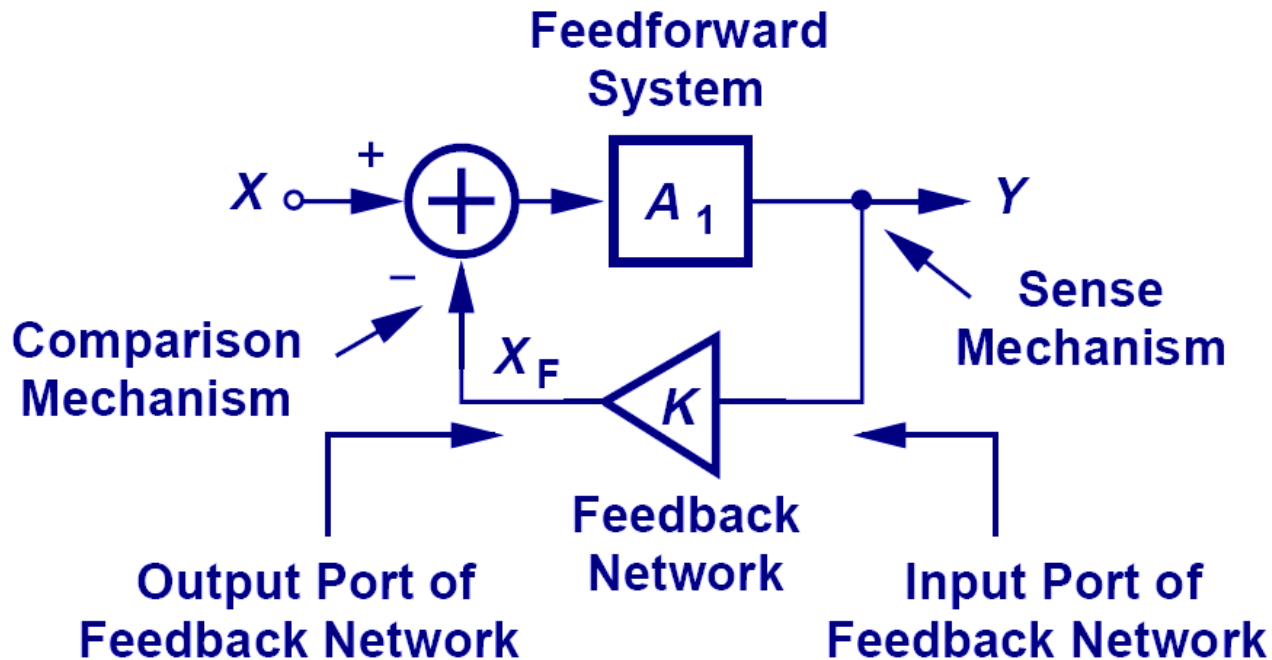
**Faculty of Electrical and Computer Engineering
University of Sistan and Baluchestan (USB)**

**mansouri@ece.usb.ac.ir ,
mamansouri@yahoo.com**

Chapter 12 Feedback

- **12.1 General Considerations**
- **12.2 Types of Amplifiers**

Negative Feedback System



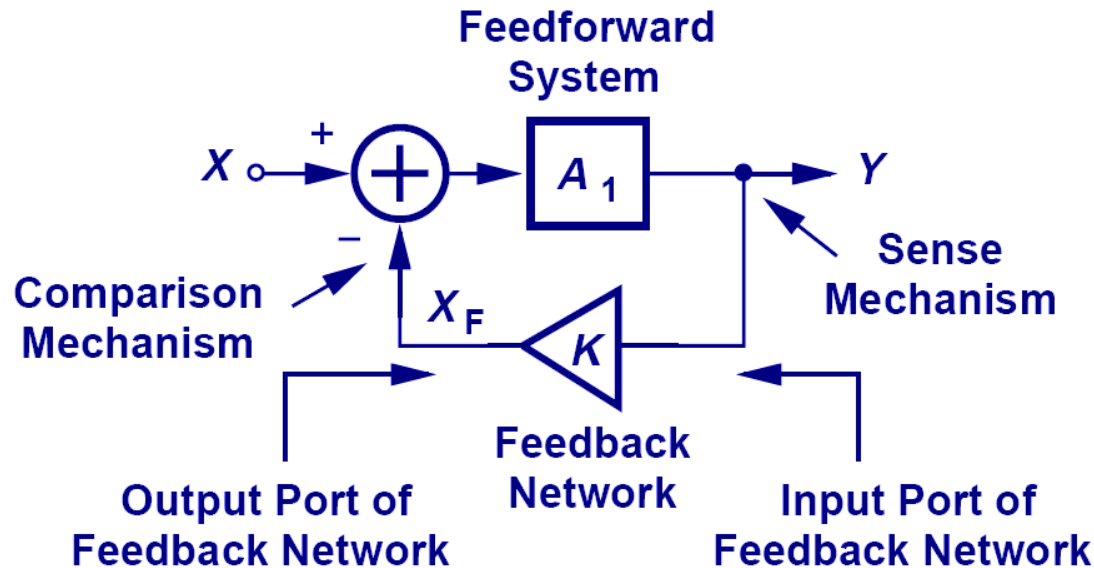
- A negative feedback system consists of four components: 1) feedforward system, 2) sense mechanism, 3) feedback network, and 4) comparison mechanism.



دانشگاه بلوچستان

Close-loop Transfer Function

$K = X_F/Y$ is called the “feedback factor.”



“feedback signal,” X_F ,

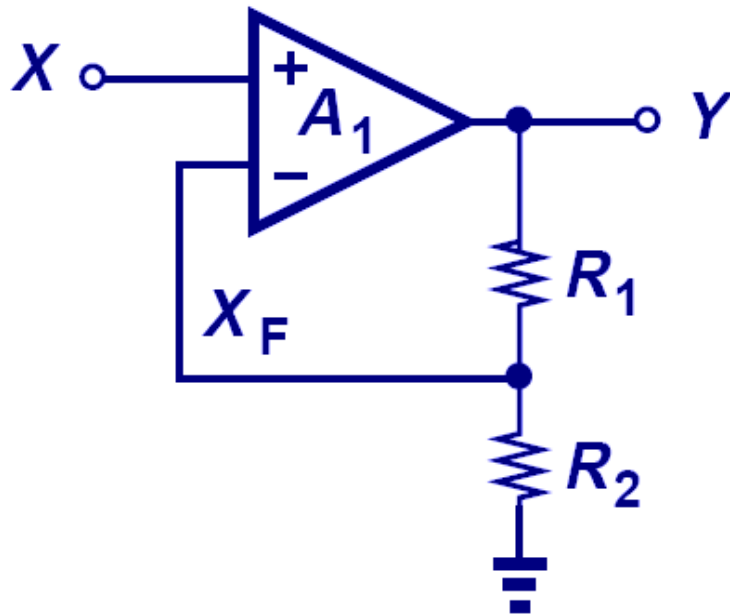
$$X_F = KY$$

$$(X - KY)A_1 = Y.$$

“closed-loop gain.”

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

Feedback Example



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

$$K = R_2 / (R_1 + R_2)$$

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

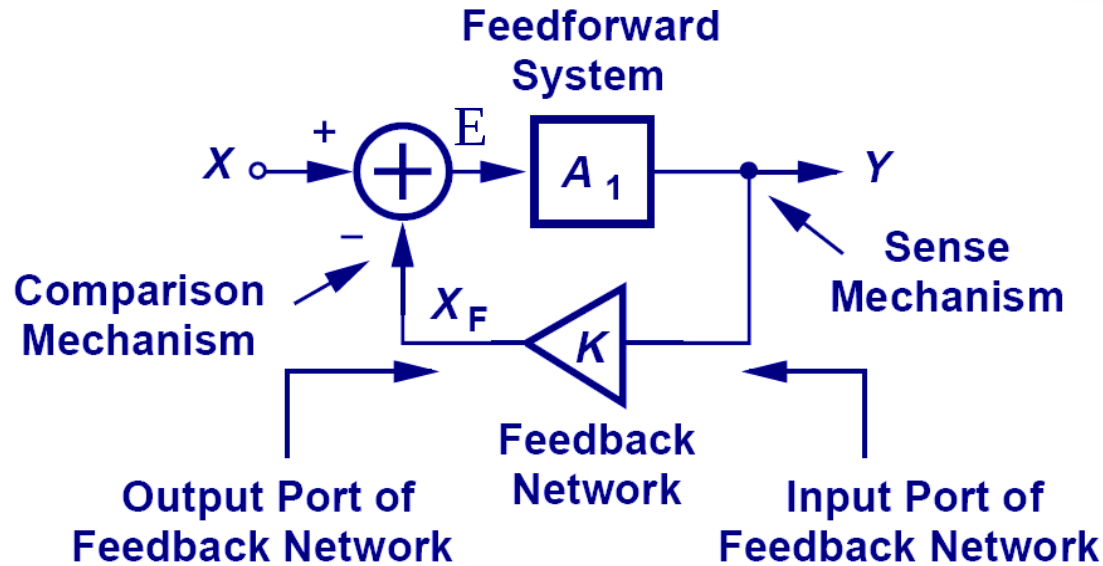
- A_1 is the feedforward network, R_1 and R_2 provide the sensing and feedback capabilities, and comparison is provided by differential input of A_1 .



دانشگاه بلوچستان

Comparison Error

$K = X_F / Y$ is called the “feedback factor.”



$$E = X - X_F$$

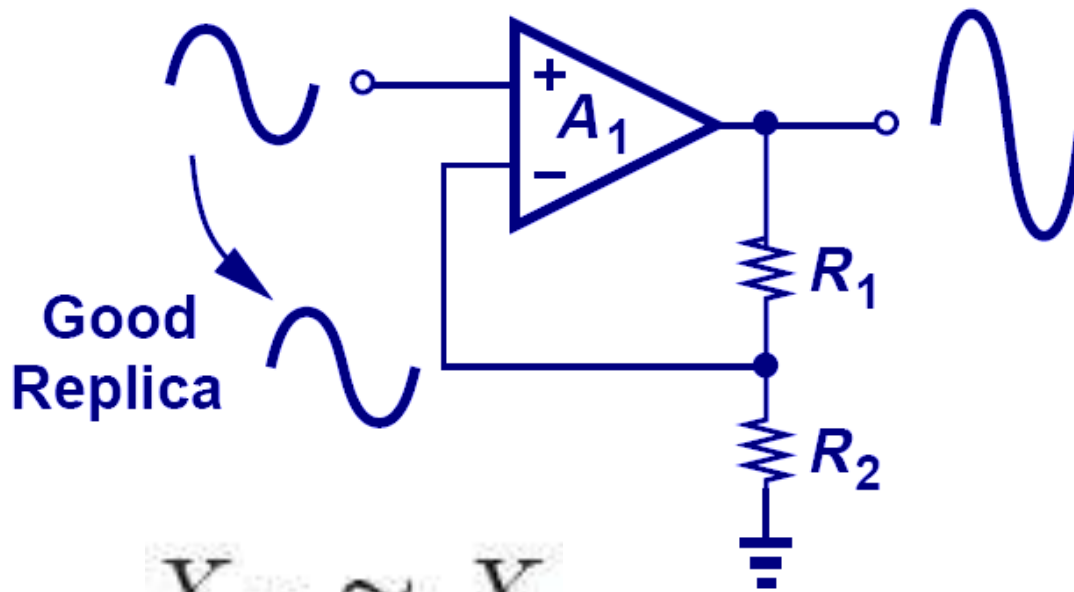
$$X_F = K A_1 E,$$

$$E = \frac{X}{1 + A_1 K}$$

- As $A_1 K$ increases, the error between the input and fed back signal decreases. Or the fed back signal approaches a good replica of the input.

Example 12.2: Comparison Error

$K A_1 = [R_2 / (R_1 + R_2)] A_1$ is large,



$$X_F \approx X.$$

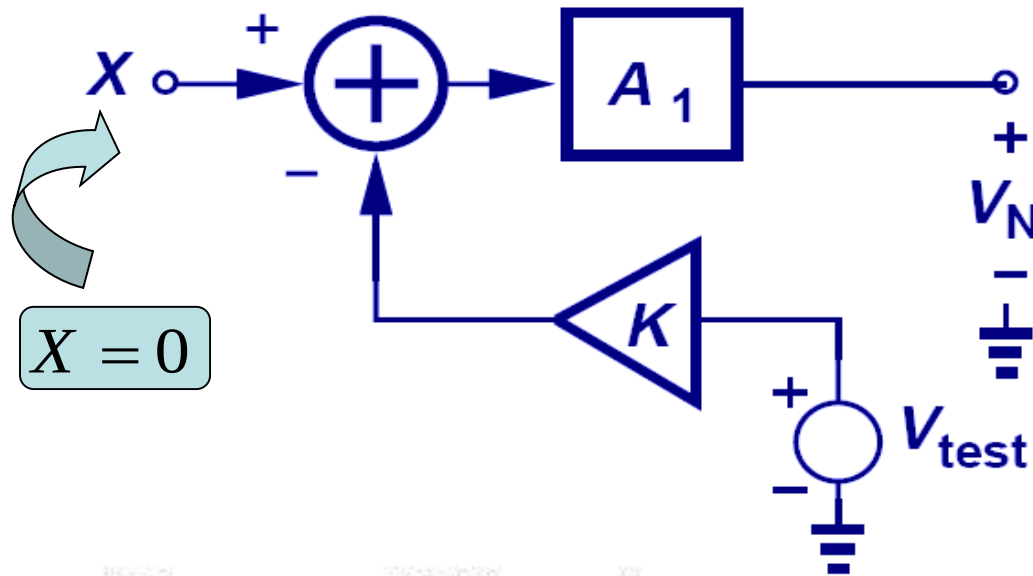
$$Y \frac{R_2}{R_1 + R_2} \approx X$$

$$\frac{Y}{X} \approx 1 + \frac{R_1}{R_2}$$



دانشگاه بلوچستان

Loop Gain



$$V_N = -KV_{test}A_1$$

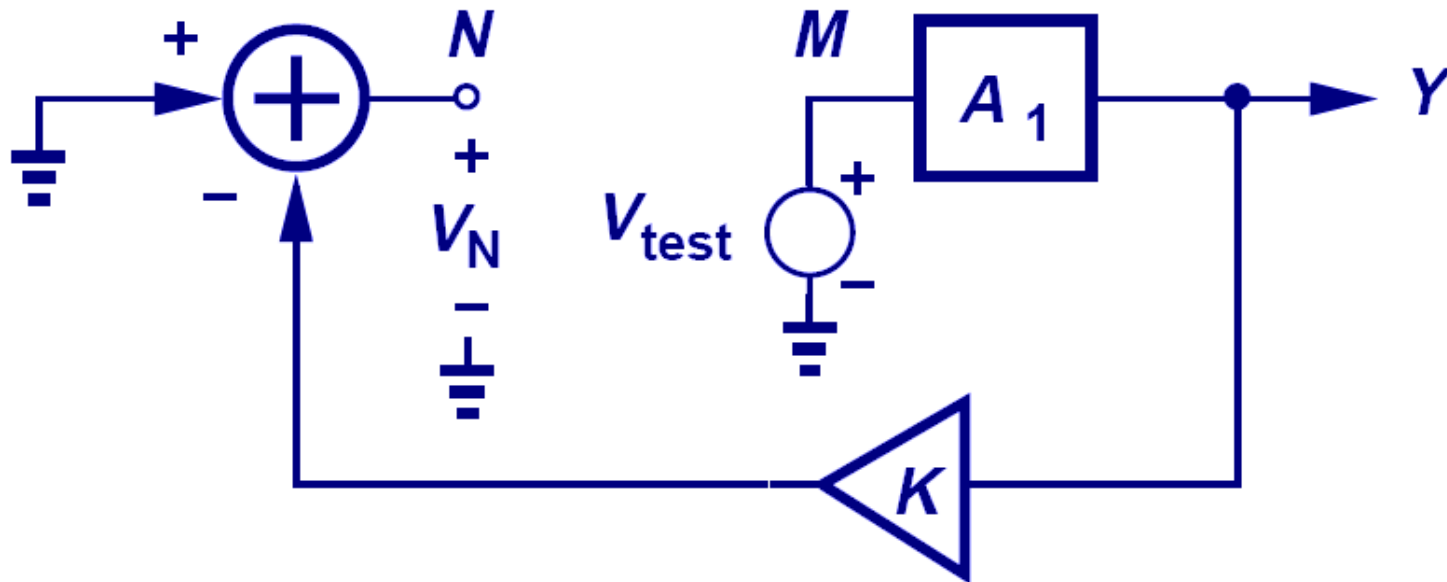
$$KA_1 = -\frac{V_N}{V_{test}}$$

➤ When the input is grounded, and the loop is broken at an arbitrary location, the loop gain is measured to be KA_1 .



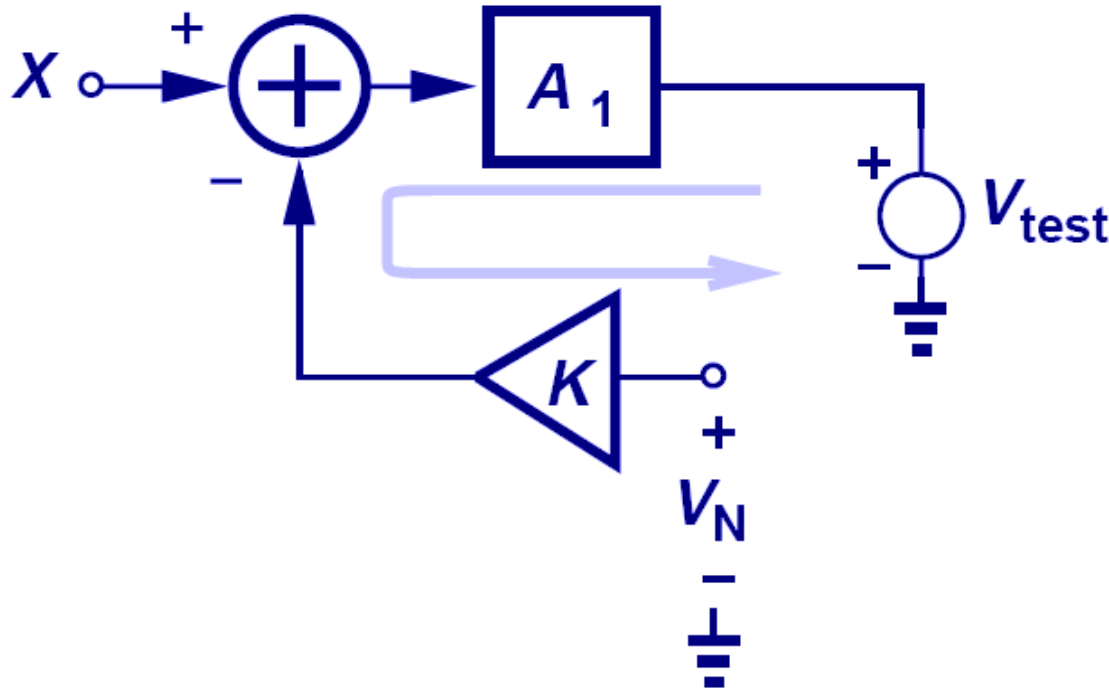
دانشگاه بلوچستان

Example 12.3: Alternative Loop Gain Measurement



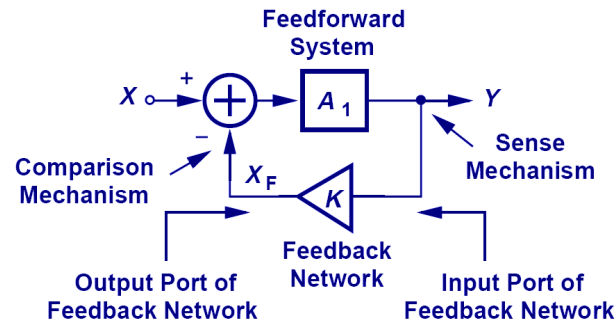
$$V_N = -KA_1 V_{test}$$

Incorrect Calculation of Loop Gain



- Signal naturally flows from the input to the output of a feedforward/feedback system. If we apply the input the other way around, the “output” signal we get is not a result of the loop gain, but due to poor isolation.

12.2: Properties of Negative Feedback

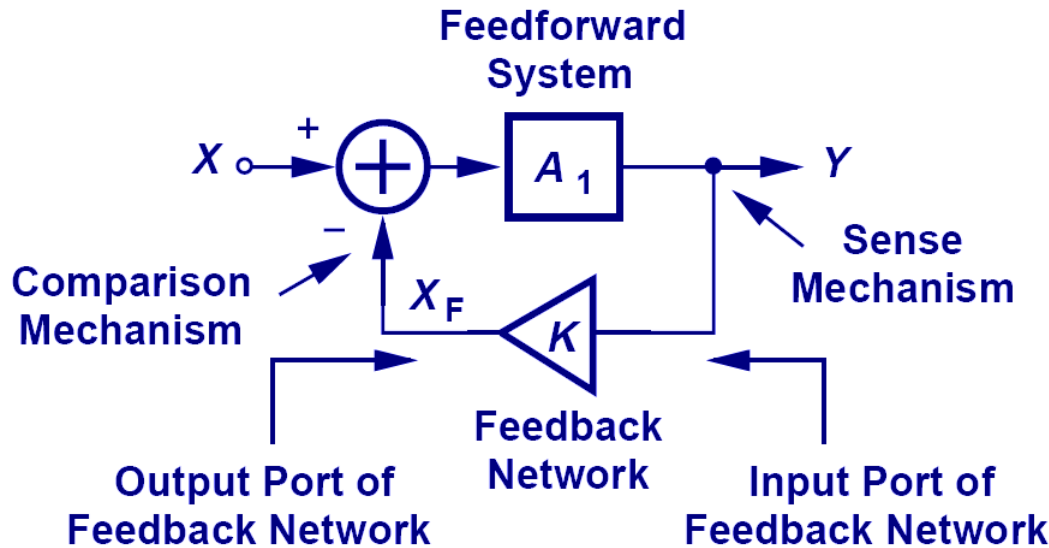


- 1) Gain Desensitization
- 2) Bandwidth enhancement
- 3) Modification of I/O Impedances
- 4) Linearization



دانشگاه پشاور

12.2.1: Gain Desensitization



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

$$A_1 K \gg 1$$

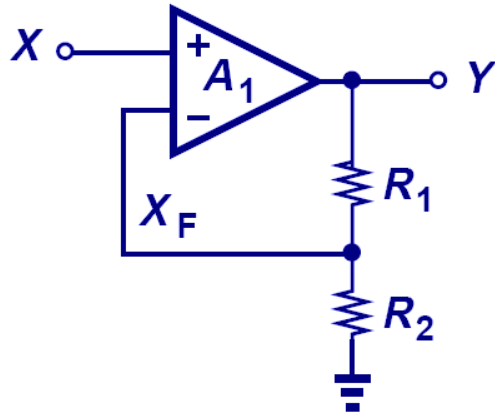


$$\frac{Y}{X} \approx \frac{1}{K}$$

- A large loop gain is needed to create a precise gain, one that does not depend on A_1 , which can vary by $\pm 20\%$.

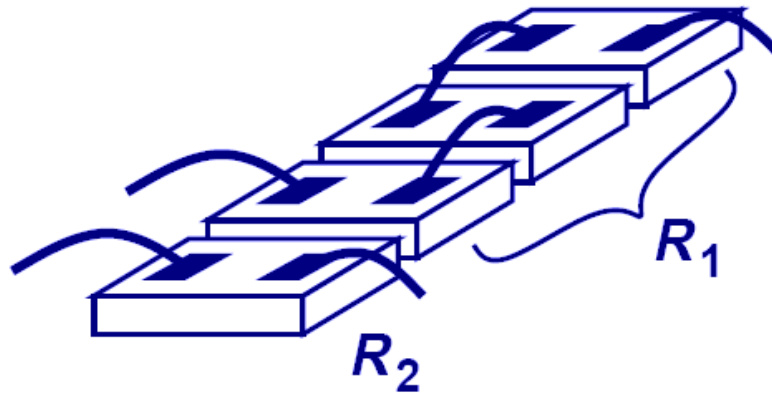


Ratio of Resistors



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

$$\frac{Y}{X} \approx 1 + \frac{R_1}{R_2}$$



- When two resistors are composed of the same unit resistor, their ratio is very accurate. Since when they vary, they will vary together and maintain a constant ratio.

12.2.2: Bandwidth Enhancement

Open Loop

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

*Negative
Feedback*

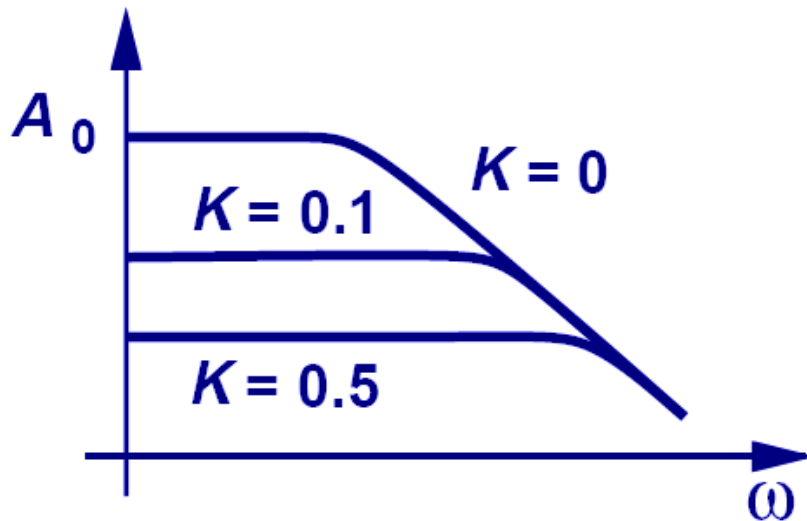


Closed Loop

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

- Although negative feedback lowers the gain by $(1+KA_0)$, it also extends the bandwidth by the same amount.

Example 12.5: Bandwidth Extension



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

$$\text{Closed - Loop Gain} = \frac{A_0}{1 + KA_0}$$

$$\text{Closed - Loop Bandwidth} = (1 + KA_0)\omega_0.$$

Bandwidth Extension

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

$$A_1(s) = \frac{A_0}{1 + \frac{s}{\omega_0}}$$

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

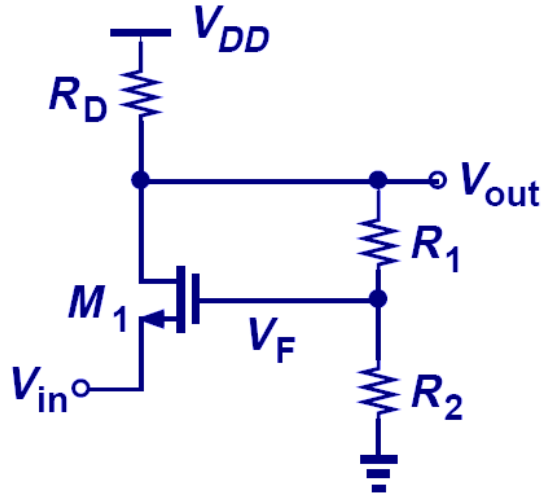
$$\text{Closed - Loop Gain} = \frac{A_0}{1 + KA_0}$$

$$\text{Closed - Loop Bandwidth} = (1 + KA_0)\omega_0.$$

- As the loop gain increases, we can see the decrease of the overall gain and the extension of the bandwidth.



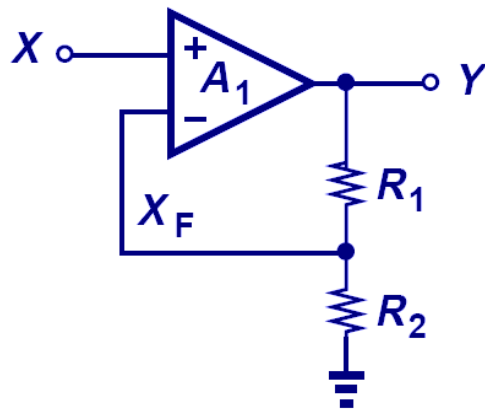
Example 12.7: Open Loop Parameters



$$A_0 \approx g_m R_D$$

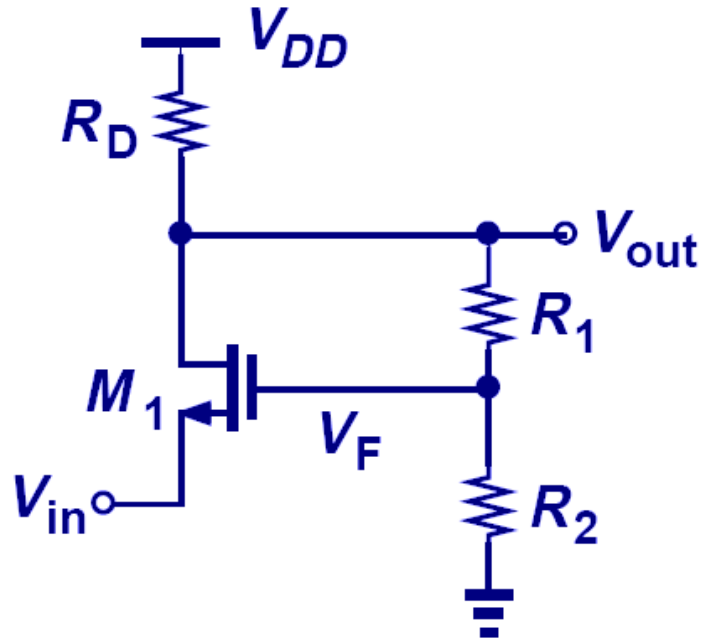
$$R_{in,open} = \frac{1}{g_m}$$

$$R_{out,open} = R_D$$



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

Example: Closed Loop Voltage Gain



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

$$A_0 \approx g_m R_D$$

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{g_m R_D}{1 + \frac{R_2}{R_1 + R_2} g_m R_D}$$



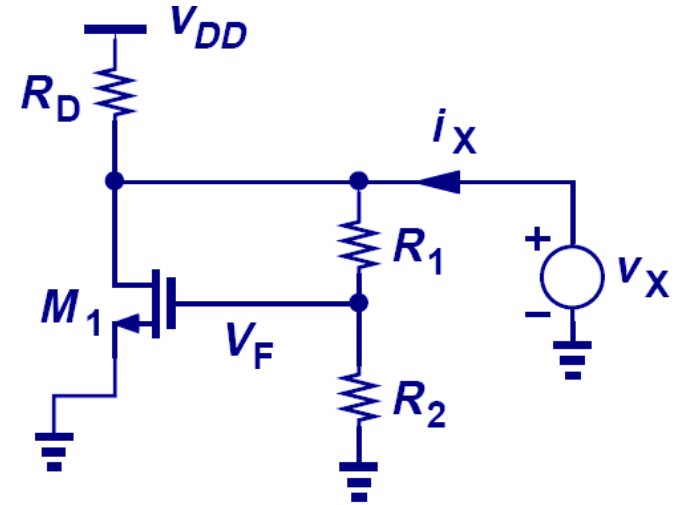
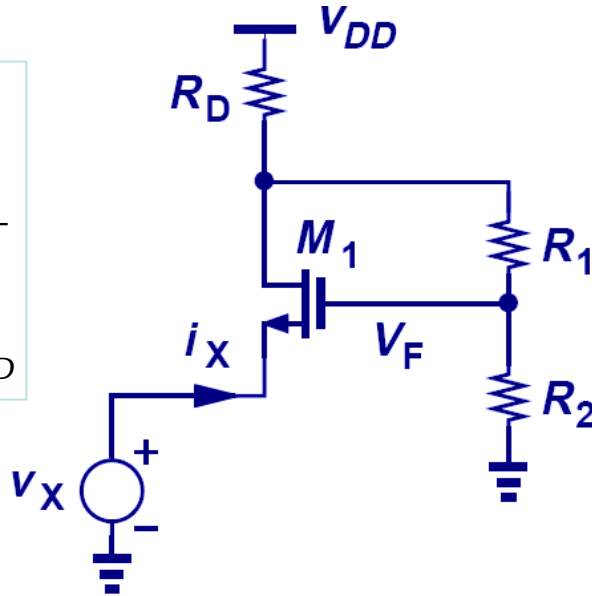
دانشگاه بلوچستان

Example: Closed Loop I/O Impedance

$$A_0 \approx g_m R_D$$

$$R_{in,open} = \frac{1}{g_m}$$

$$R_{out,open} = R_D$$



$$R_{in} = \frac{1}{g_m} \left(1 + \frac{R_2}{R_1 + R_2} g_m R_D \right)$$

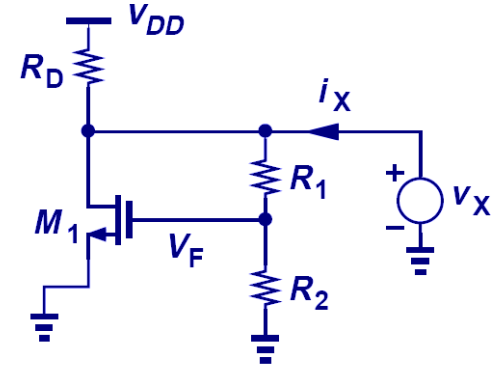
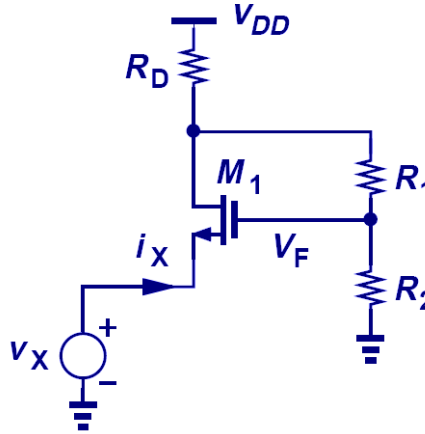
$$R_{out} = \frac{R_D}{1 + \frac{R_2}{R_1 + R_2} g_m R_D}$$

Example: Closed Loop I/O Impedance

$$A_0 \approx g_m R_D$$

$$R_{in,open} = \frac{1}{g_m}$$

$$R_{out,open} = R_D$$

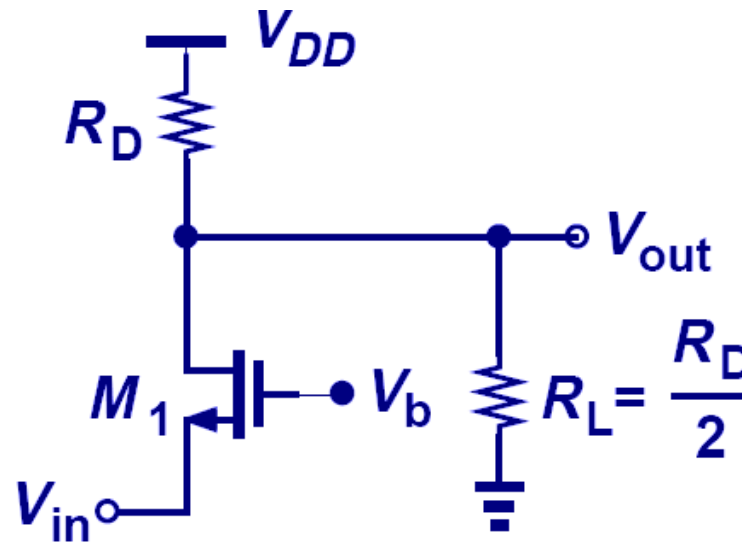


$$i_D = g_m v_{GS} = g_m \left(\frac{+i_X R_D R_2}{R_1 + R_2} - v_X \right)$$

$$R_{in} = \frac{1}{g_m} \left(1 + \frac{R_2}{R_1 + R_2} g_m R_D \right)$$

$$R_{out} = \frac{R_D}{1 + \frac{R_2}{R_1 + R_2} g_m R_D}$$

Example 12.8: Load Desensitization



$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{A_0}{1 + K A_0}$$

$$= \frac{g_m R_D}{1 + \frac{R_2}{R_1 + R_2} g_m R_D}$$

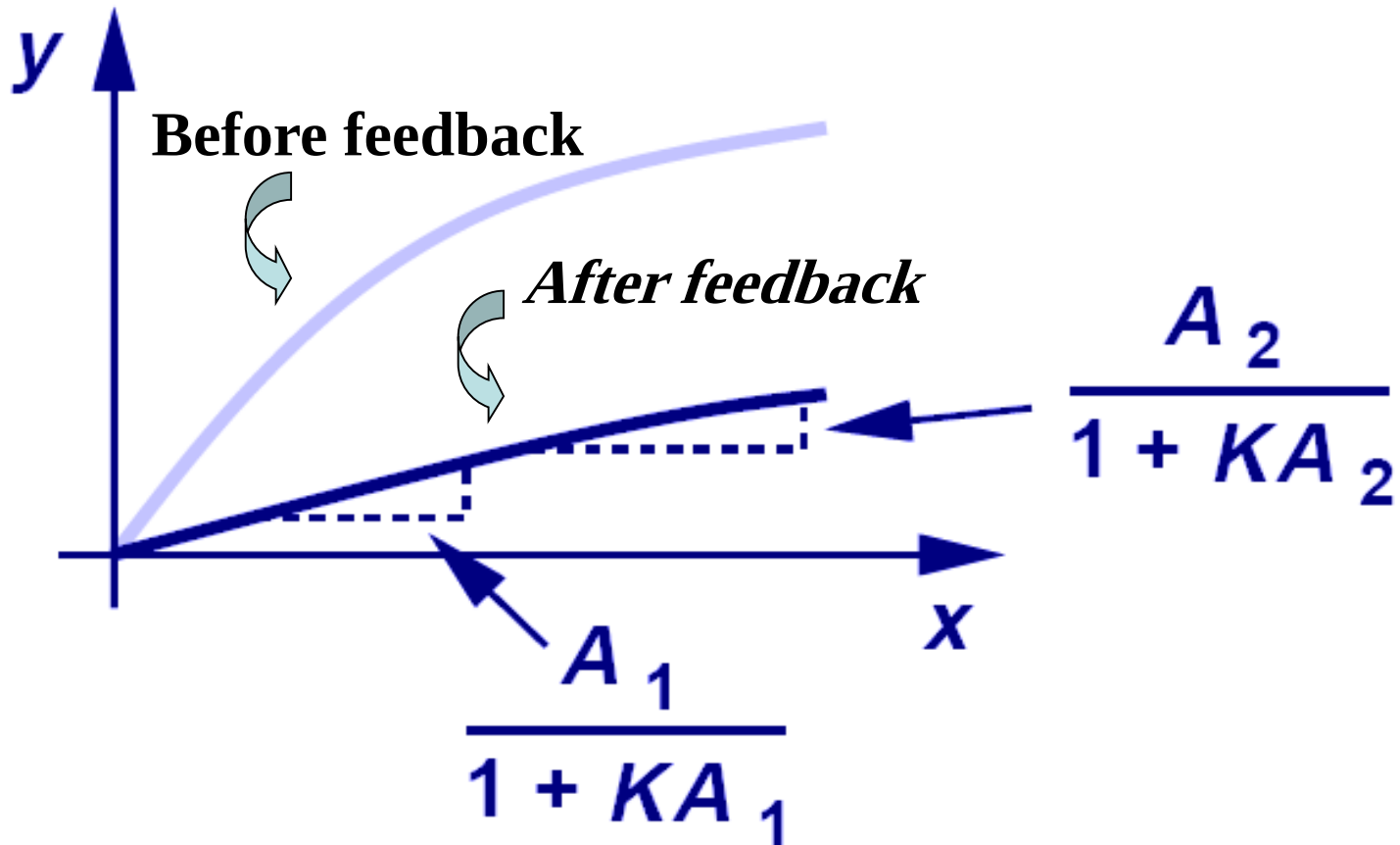
W/O Feedback
Large Difference

$$g_m R_D \rightarrow g_m R_D / 3$$

With Feedback
Small Difference

$$\frac{g_m R_D}{1 + \frac{R_2}{R_1 + R_2} g_m R_D} \rightarrow \frac{g_m R_D}{3 + \frac{R_2}{R_1 + R_2} g_m R_D}$$

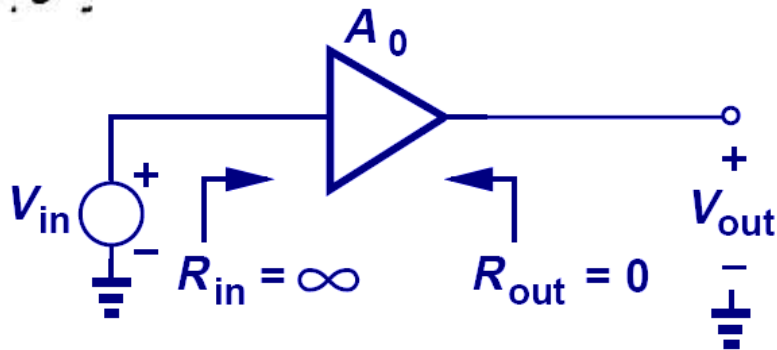
12.2.4: Linearization



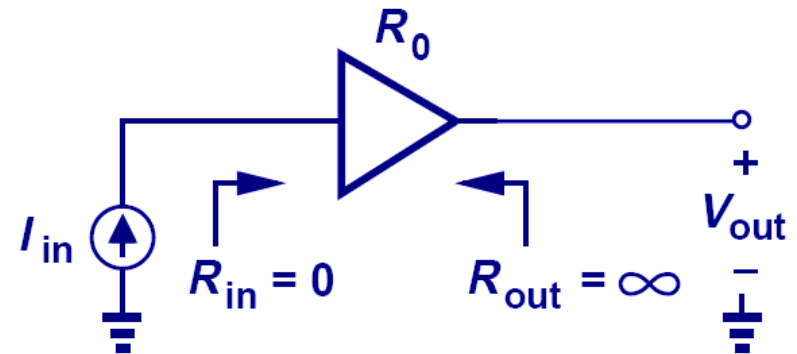


دانشگاه بلوچستان

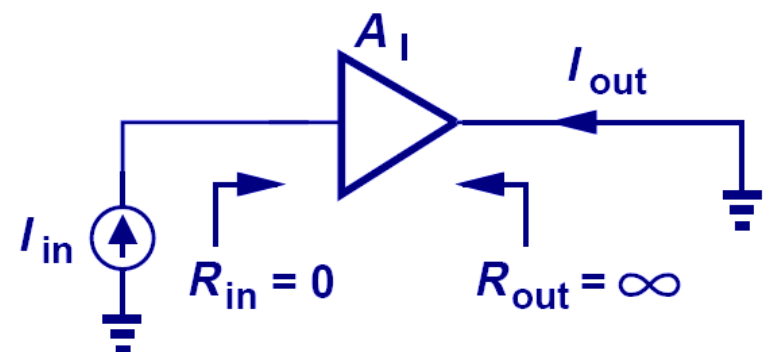
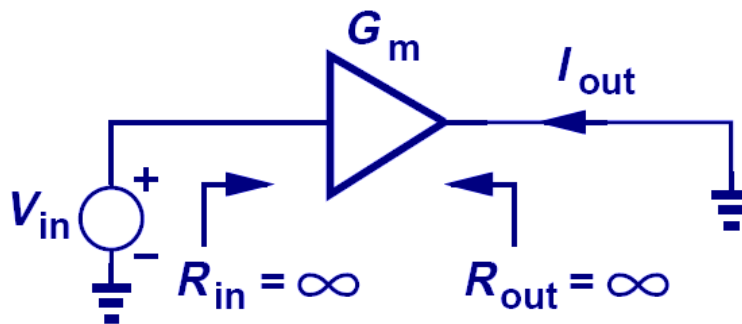
12.3: Four Types of Amplifiers



(a)



(b)



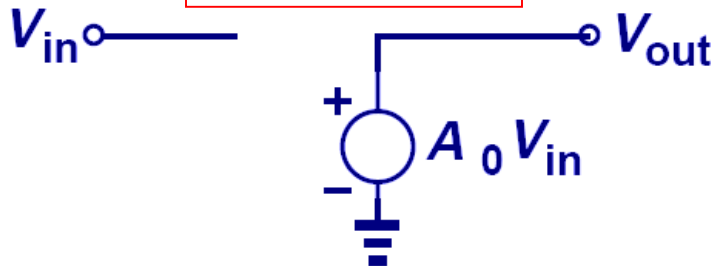
➤ Examples of **(a) voltage**, (b) transimpedance, **(c) transconductance**, and (d) current amplifiers.



دانشگاه بلوچستان

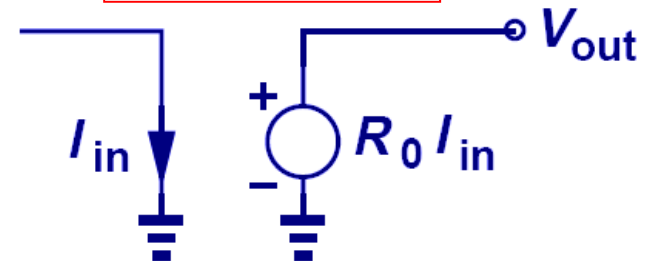
Ideal Models of the Four Amplifier Types

$$R_{in}=\infty, R_{out}=0$$



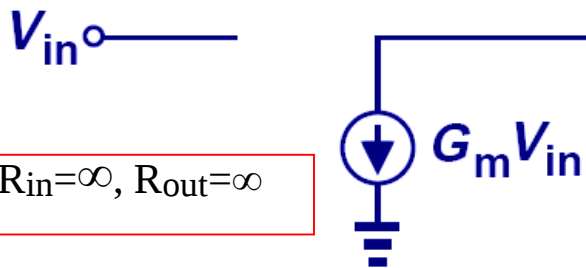
(a)

$$R_{in}=0, R_{out}=0$$

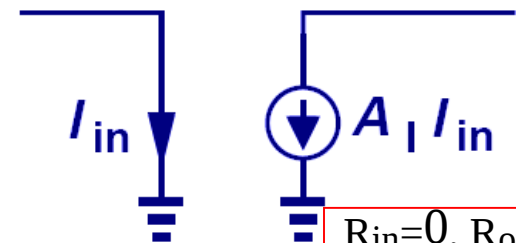


(b)

$$R_{in}=\infty, R_{out}=\infty$$



(c)



$$R_{in}=0, R_{out}=\infty$$

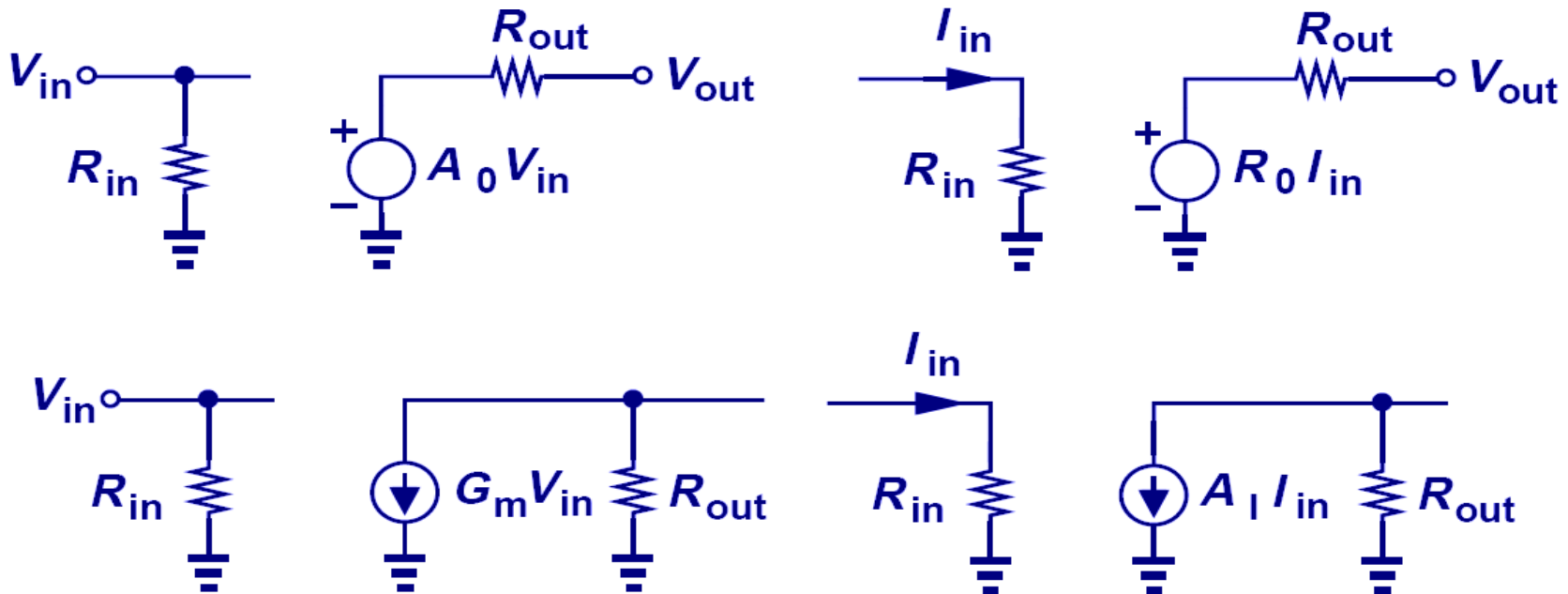
(d)

➤ **Ideal models** for (a) voltage, (b) transimpedance, (c) transconductance, and (d) current amplifiers.



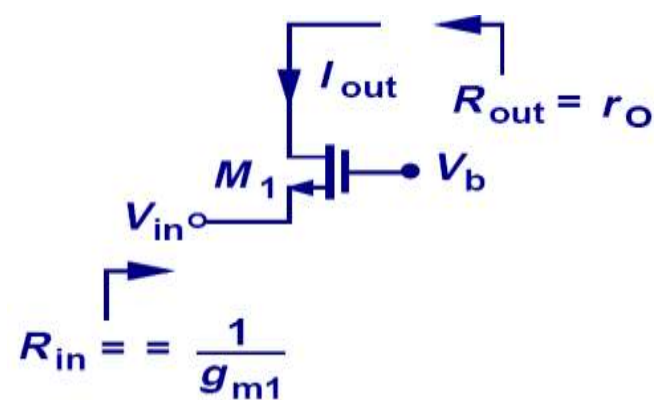
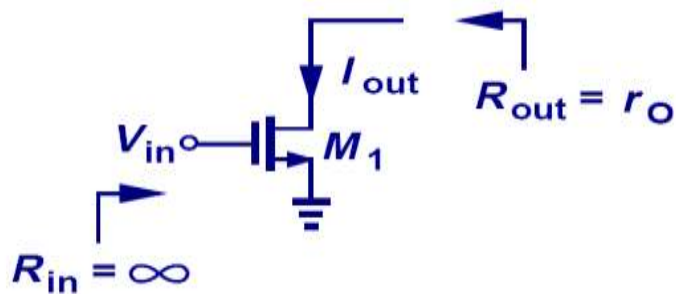
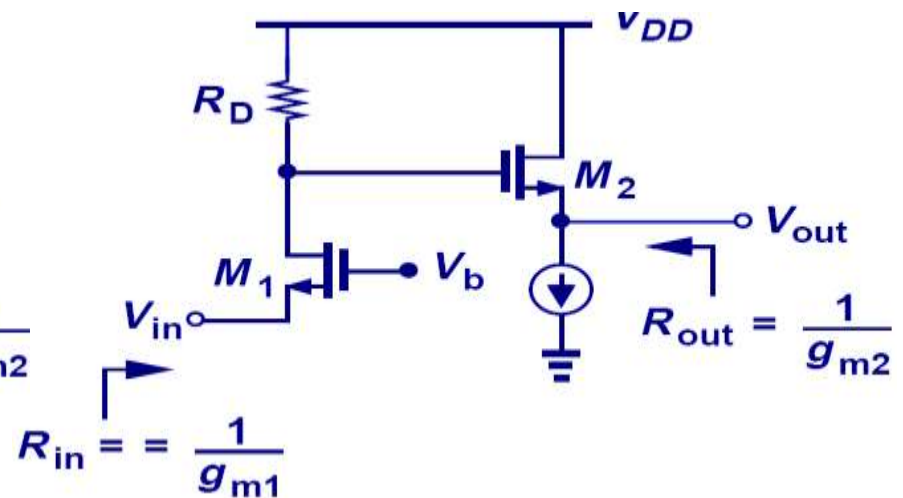
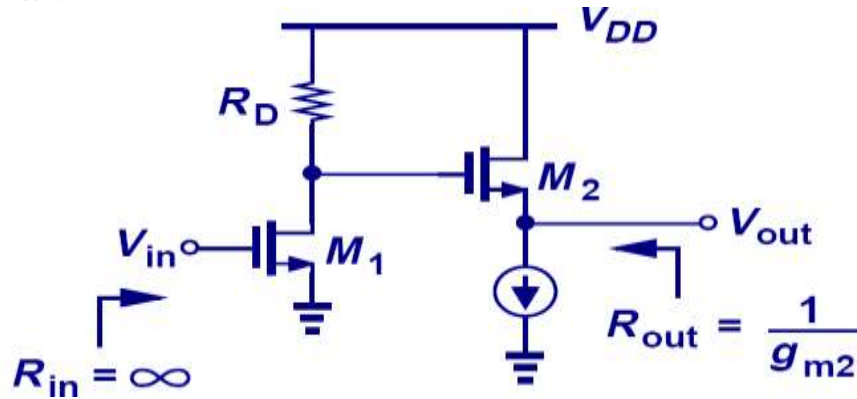
دانشگاه بلوچستان

Realistic Models of the Four Amplifier Types

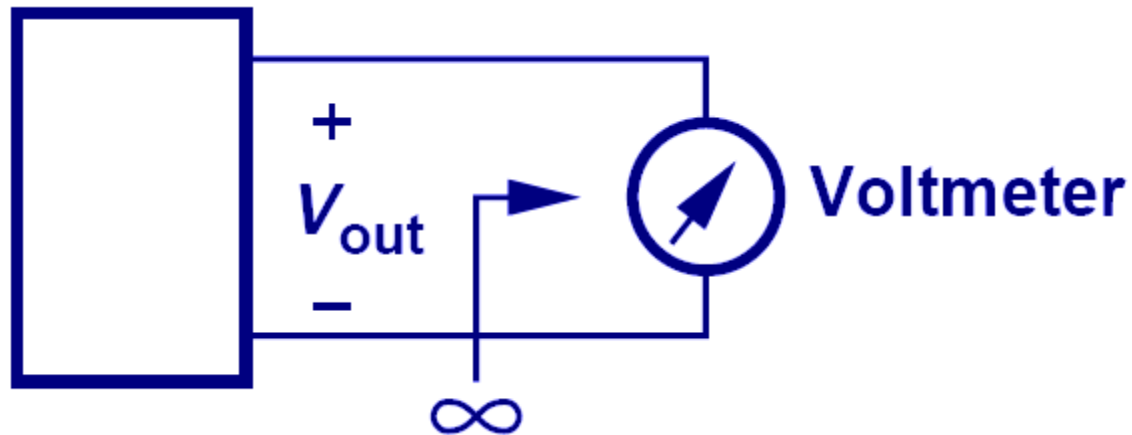




Examples of the Four Amplifier Types



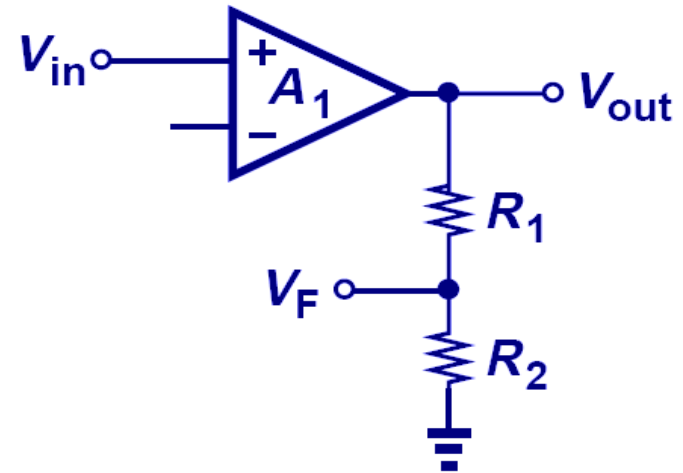
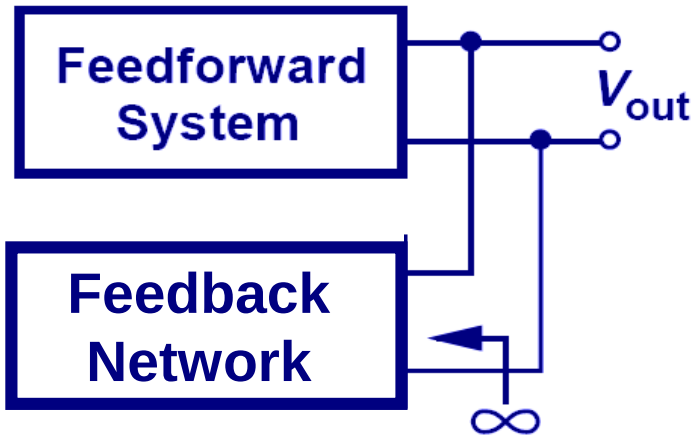
Sensing a Voltage



➤ به منظور حس ولتاژ در دو سر ترمینال ، از **ولت متر** با امپدانس **بی نهایت** ایده آل استفاده می شود.



Sensing and Returning a Voltage

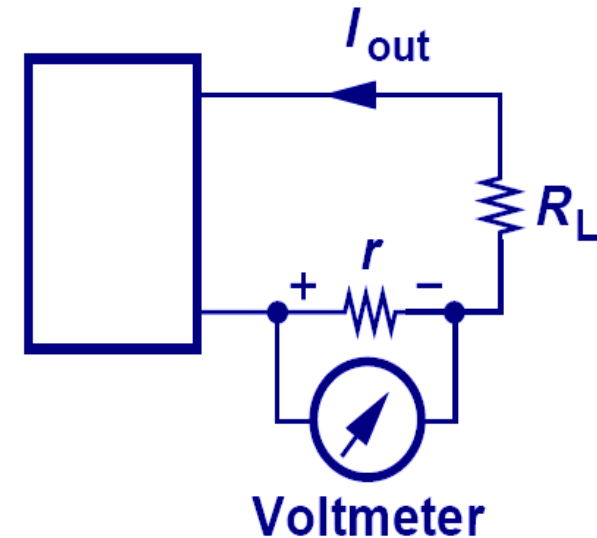
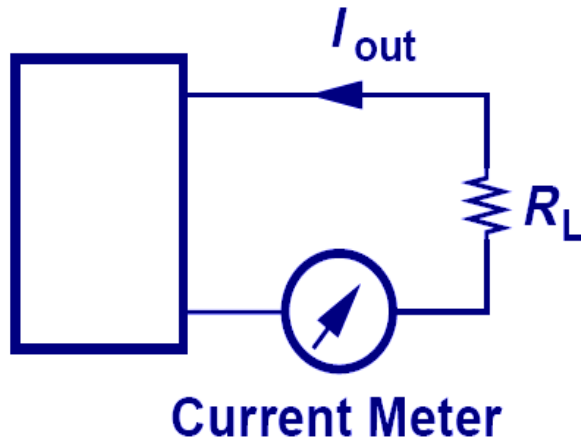


$$R_1 + R_2 \approx \infty$$

- به همین ترتیب ، برای اینکه شبکه فیدبک، ولتاژ خروجی را به درستی درک کند ، باید امپدانس ورودی آن بزرگ باشد.
- R_1 و R_2 همچنین مکانیزم بازگشت ولتاژ را فراهم می کنند.

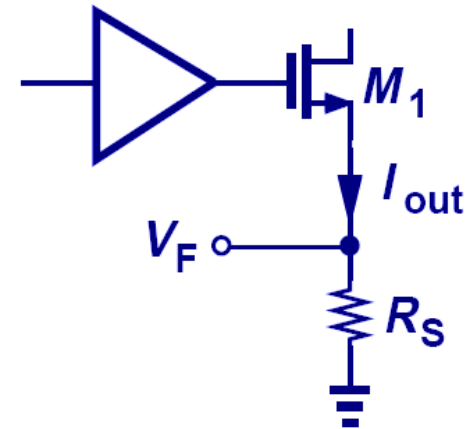
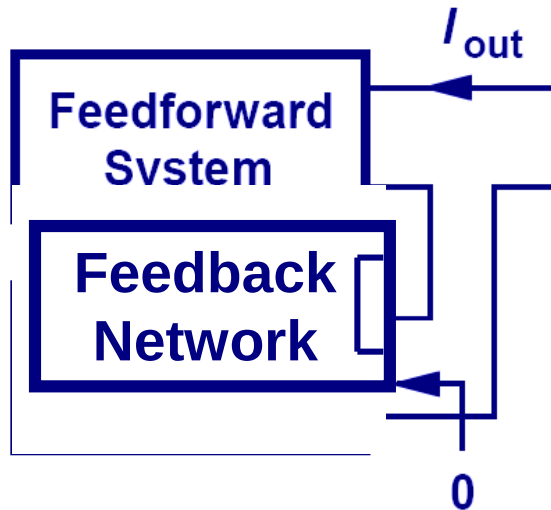


Sensing a Current



- یک جریان را با قرار دادن یک آمپر متر با امپدانس ایده آل صفر در سری با مسیر هدایت اندازه گیری می شود.
- یک آمپر متر از یک مقاومت کوچ r که به موازات ولت متر باشد، تشکیل شده است.

Sensing and Returning a Current



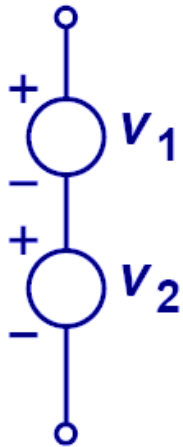
$$R_S \approx 0$$

- به طور مشابه برای اینکه شبکه فیدبک، جریان را به درستی حس کند ، امپدانس ورودی آن باید کوچک باشد.
- R_S باید کوچک باشد تا افت ولتاژ آن باعث تغییر I_{out} نشود.

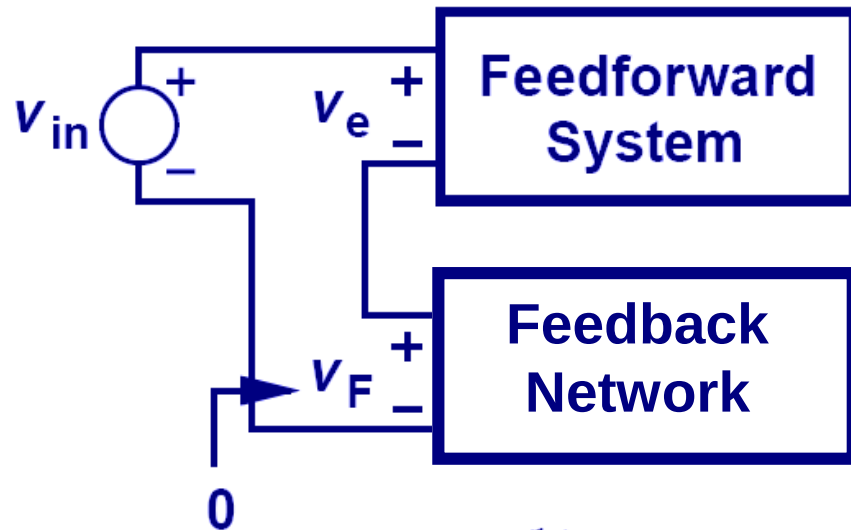


دانشگاه بلوچستان

Addition of Two Voltage Sources



(a)

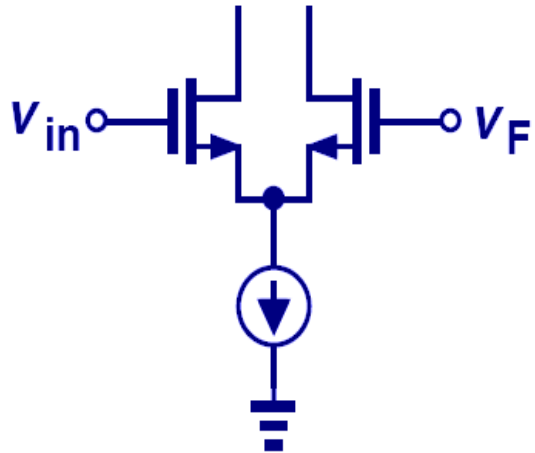


(b)

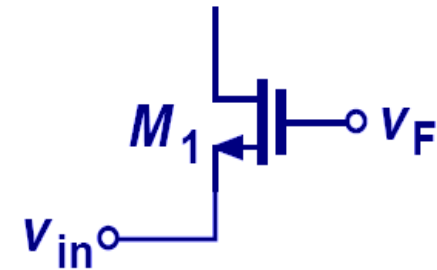
➤ به منظور افزودن یا کم کردن دو منبع ولتاژ ، آنها را به صورت سری قرار می دهیم.
بنابراین شبکه فیدبک به صورت **سری** با منبع ورودی قرار می گیرد.



Practical Circuits to Subtract Two Voltage Sources



(c)

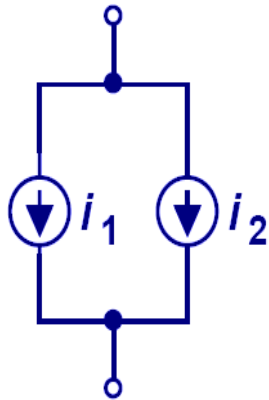


(d)

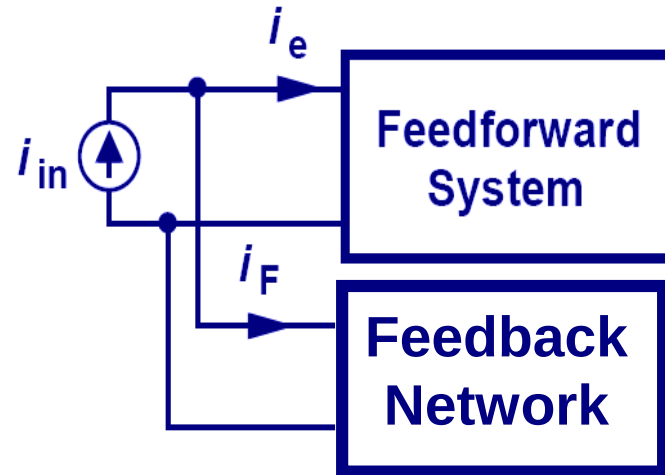
➤ اگرچه مستقیماً به صورت سری نیستند، اما V_{in} و V_F در حال کم شدن هستند، زیرا جریانهای حاصل از هر یک از آنها، متناسب با اختلاف V_{in} و V_F هستند.



Addition of Two Current Sources



(a)

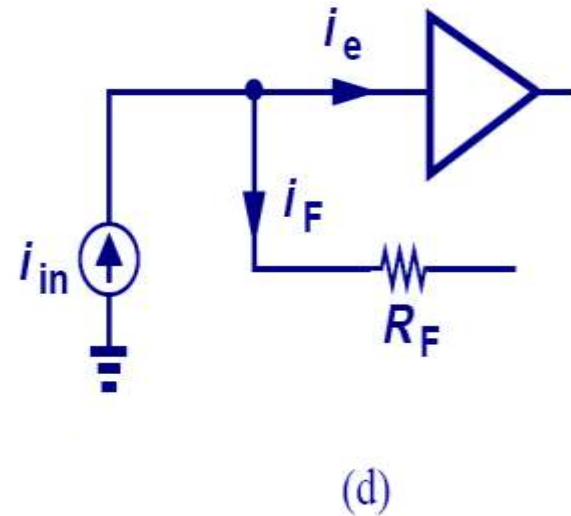
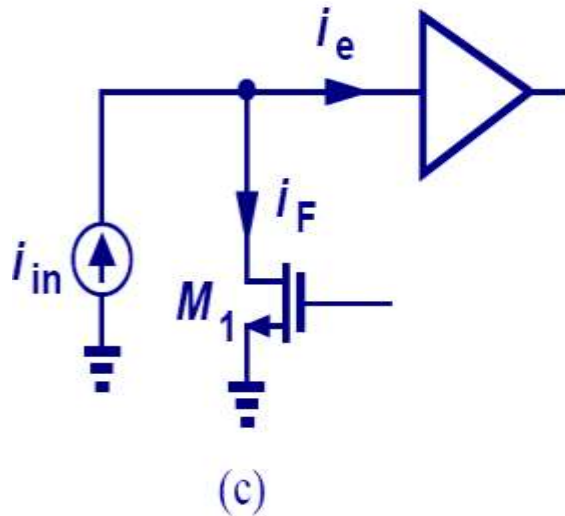


(b)

- برای افزودن دو منبع جریان ، آنها را به صورت موازی قرار می دهیم.
- بنابراین شبکه فیدبک به موازات سیگنال ورودی قرار می گیرد.

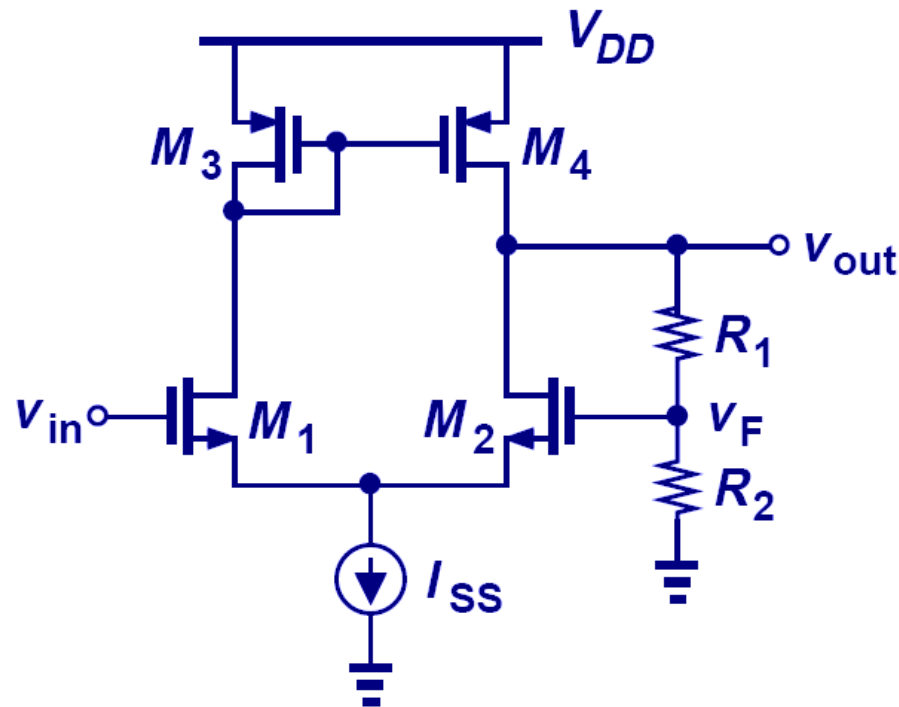


Practical Circuits to Subtract Two Current Sources



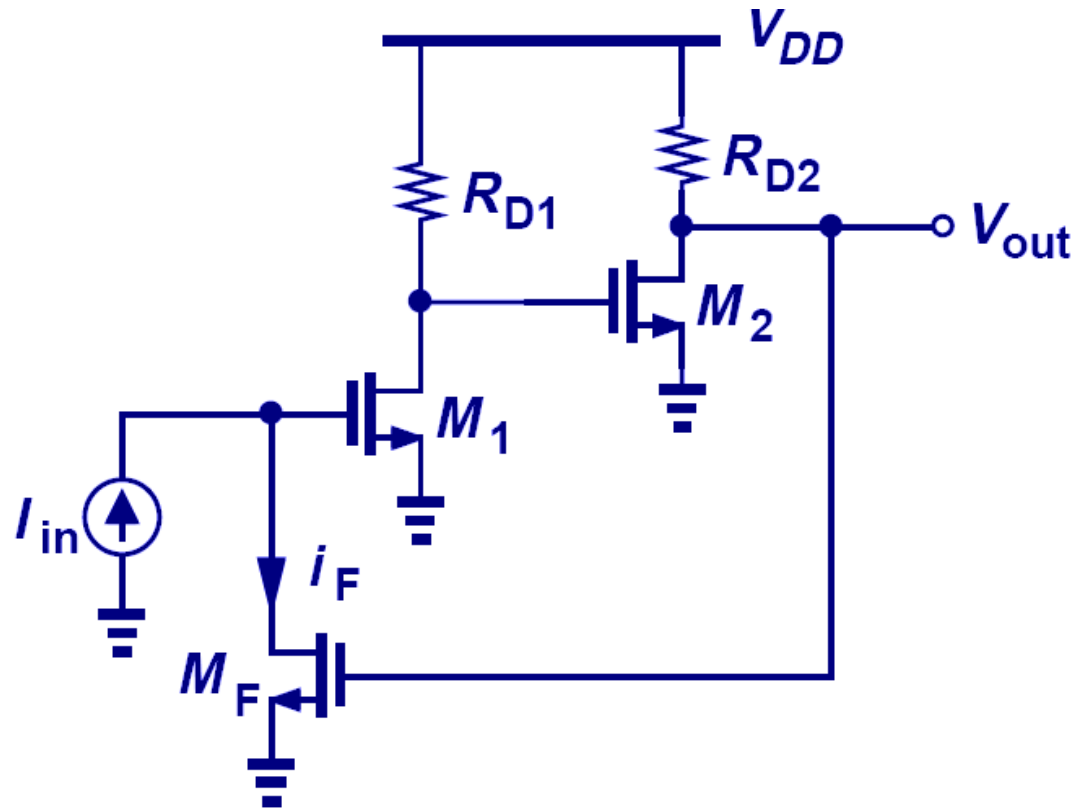
- از آنجا که M_1 و R_F به طور موازی با منبع جریان ورودی هستند، جریان های مربوطه در حال تفریق هستند.
- توجه داشته باشید، R_F باید به اندازه کافی بزرگ باشد تا منبع جریان را تخمین بزند.

Example 10.12: Sense and Return



- R_1 و R_2 ولتاژ خروجی را به شبکه feedforward متشکل از M_1 - M_4 برمی گردانند.
- M_1 و M_2 نیز به عنوان تفریق گر ولتاژ عمل می کنند.

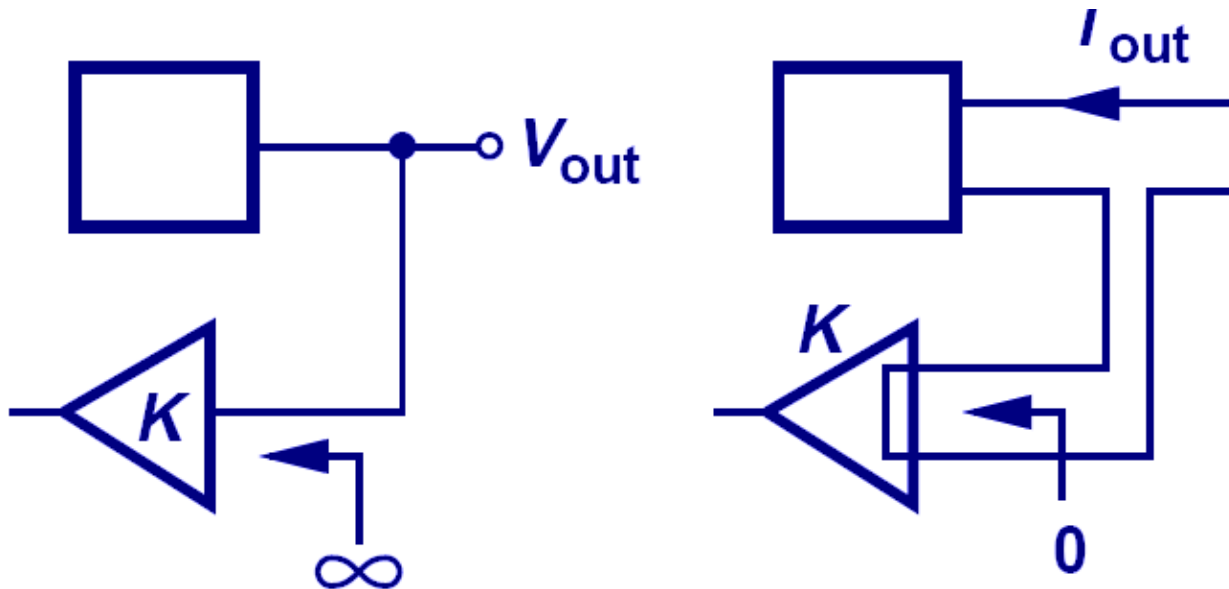
Example 10.13: Feedback Factor



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



Input Impedance of an Ideal Feedback Network

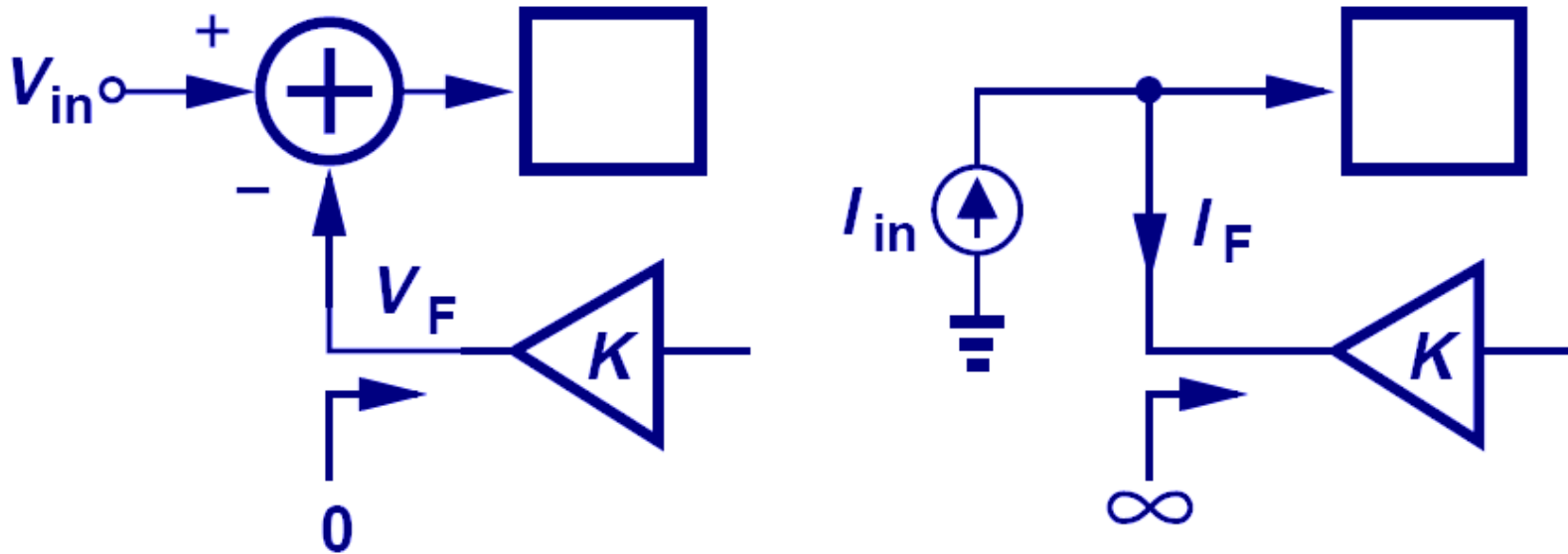


➤ برای حس کردن ولتاژ ، امپدانس ورودی یک شبکه فیدبک ایده آل، باید بی نهایت باشد.

➤ برای حس کردن جریان، امپدانس ورودی یک شبکه فیدک ایده آل، باید صفر باشد.



Output Impedance of an Ideal Feedback Network



- برای برگرداندن ولتاژ، امپدانس خروجی یک شبکه فیدبک ایده آل باید صفر باشد.
- برای بازگرداندن جریان، امپدانس خروجی یک شبکه ایده آل برای فیدبک باید بی نهایت باشد.

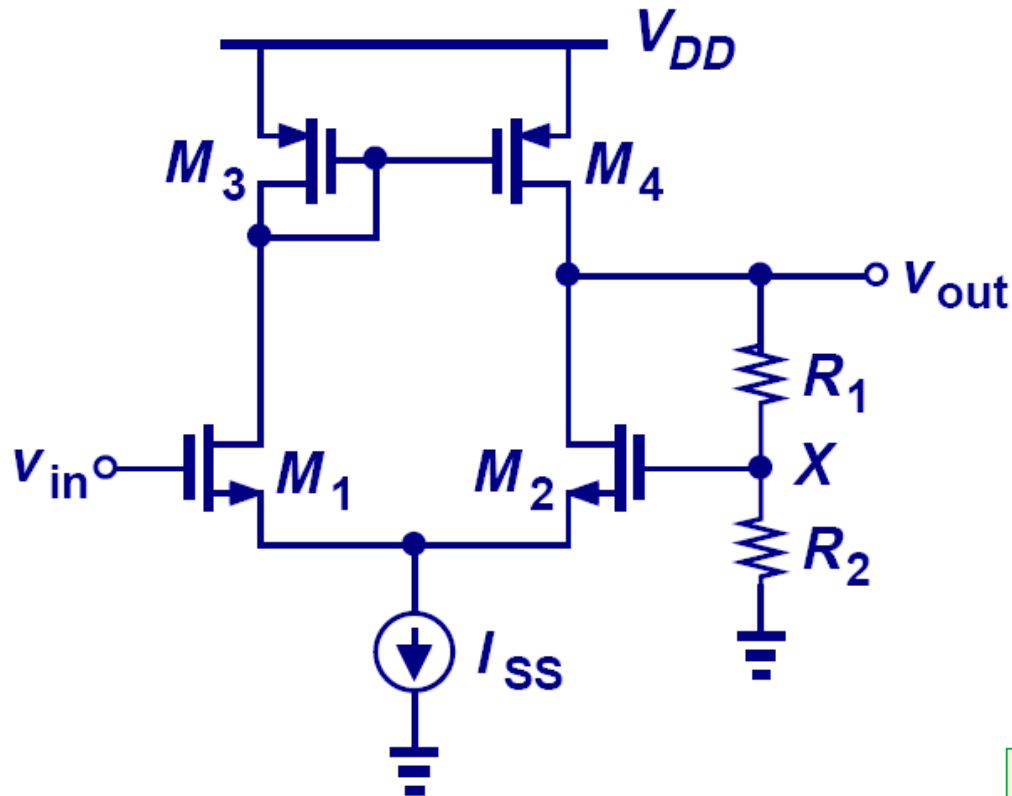
Determining the Polarity of Feedback

(۱) فرض کنید ورودی (ولتاژ یا جریان) یا بالا یا پایین می رود.

(۲) سیگنال را از طریق حلقه دنبال کنید.

(۳) تعیین کنید که آیا مقدار برگشتی، تغییر اصلی را افزایش می دهد یا با آن مخالف است.

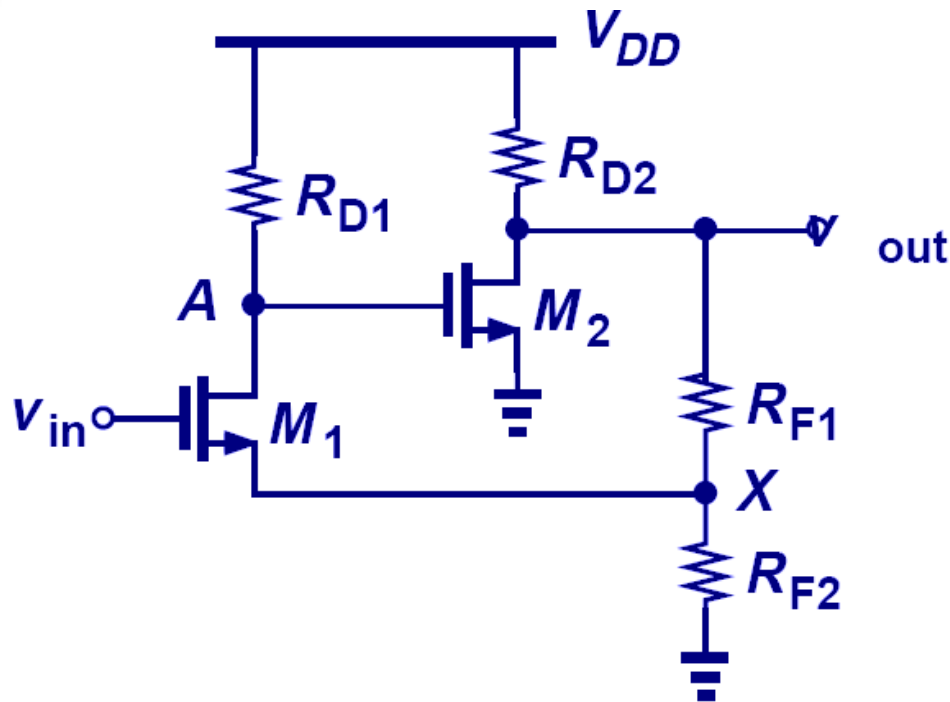
Polarity of Feedback Example I



Negative Feedback

$V_{in} \uparrow \Rightarrow I_{D1} \uparrow, I_{D2} \downarrow \Rightarrow V_{out} \uparrow, V_x \uparrow \Rightarrow I_{D2} \uparrow, I_{D1} \downarrow$

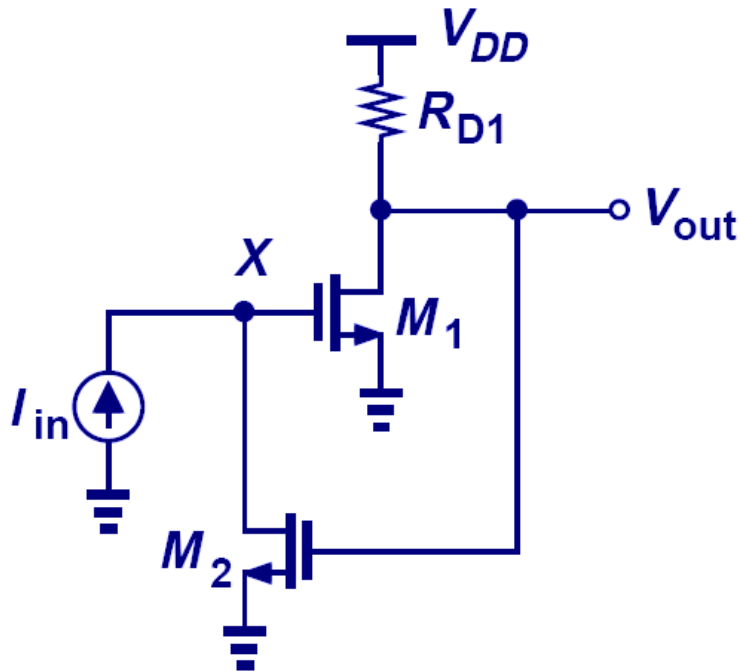
Polarity of Feedback Example II



Negative Feedback

$V_{in} \uparrow \Rightarrow I_{D1} \uparrow, V_A \downarrow \Rightarrow V_{out} \uparrow, V_x \uparrow \Rightarrow I_{D1} \downarrow, V_A \uparrow$

Polarity of Feedback Example III



Positive Feedback

$I_{in} \uparrow \rightarrow I_{D1} \uparrow, V_X \uparrow \rightarrow V_{out} \downarrow, I_{D2} \downarrow \rightarrow I_{D1} \uparrow, V_X \uparrow$