Fundamentals of Microelectronics

- CH1 Why Microelectronics?
- CH2 Basic Physics of Semiconductors
- CH3 Diode Circuits
- CH4 Physics of Bipolar Transistors
- CH5 Bipolar Amplifiers
- CH6 Physics of MOS Transistors
- CH7 CMOS Amplifiers
- CH8 JFET Transistor

Chapter 7 CMOS Amplifiers

- 7.1 General Considerations
- 7.2 Common-Source Stage
- 7.3 Common-Gate Stage
- 7.4 Source Follower
- 7.5 Summary and Additional Examples

Chapter Outline

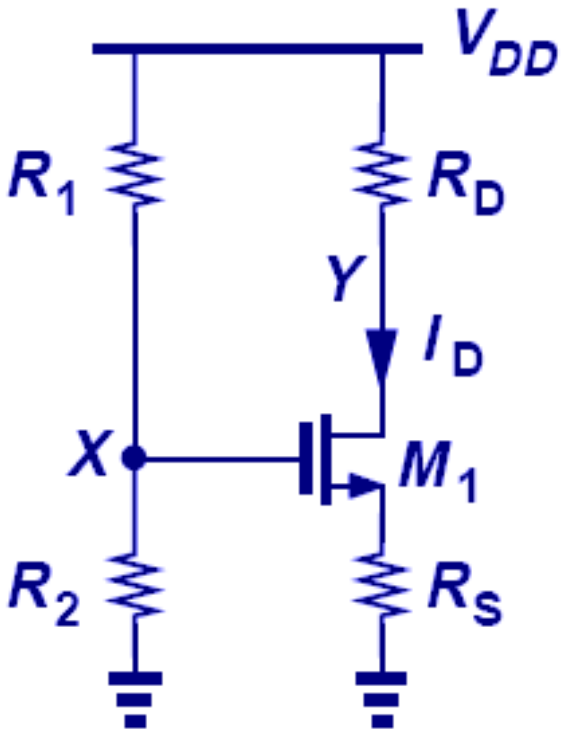
General Concepts

- Biasing of MOS Stages
- Realization of Current Sources

MOS Amplifiers

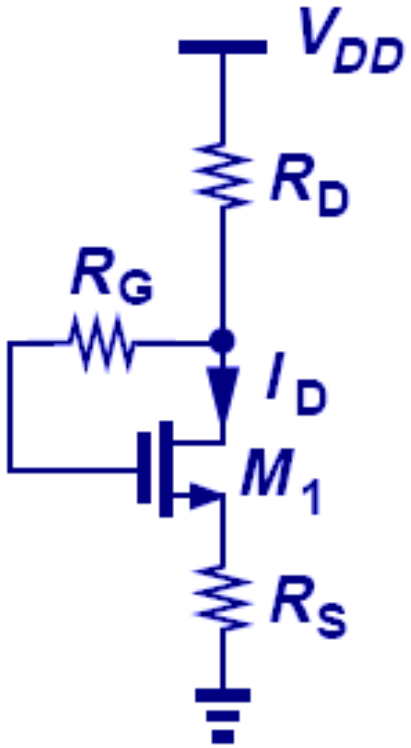
- Common–Source Stage
- Common–Gate Stage
- Source Follower

بایاس MOS



- ولتاژ گره X به وسیله V_{DD}, R_1, R_2 تعیین می شود.

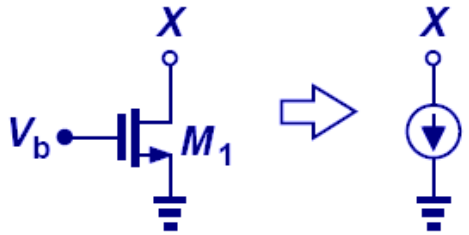
بایاس سرخود



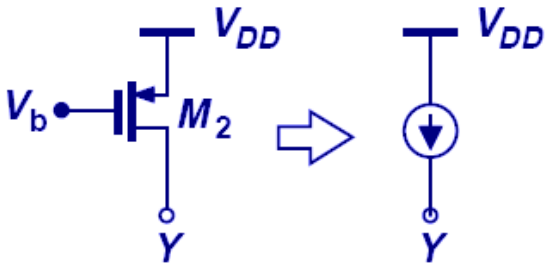
$$I_D R_D + V_{GS} + R_S I_D = V_{DD}$$

- در تحلیل مدار فوق توجه به نکات زیر لازم است:
  - ترانزیستور همواره در ناحیه اشباع است.
  - افت پتانسیل بر روی مقاومت R_G برابر با صفر است.

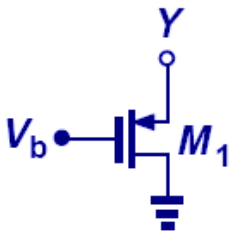
منابع جریان dc



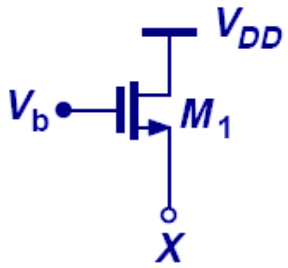
(a)



(b)



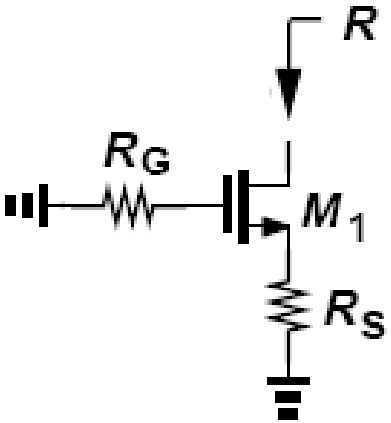
(c)



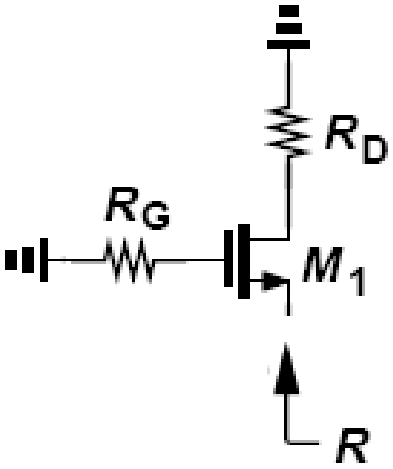
(d)

- شکل های a وb نحوه تحقق منبع جریان dc را نشان می دهند. البته در این مدارها فرض شده است که ترانزیستور در ناحیه اشباع قرار دارد.
- توجه به این نکته لازم است که شکل های c و d معادل منبع جریان نیستند.

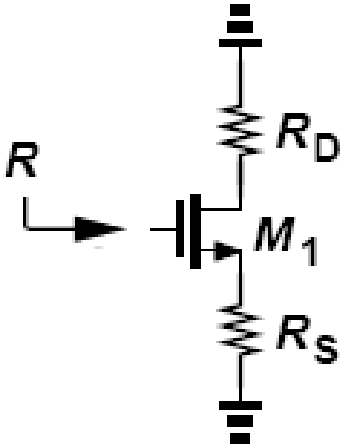
سه نکته مهم در تحلیل سیگنال کوچک (ac)



$$R = r_O + (1 + g_m r_O) R_S$$

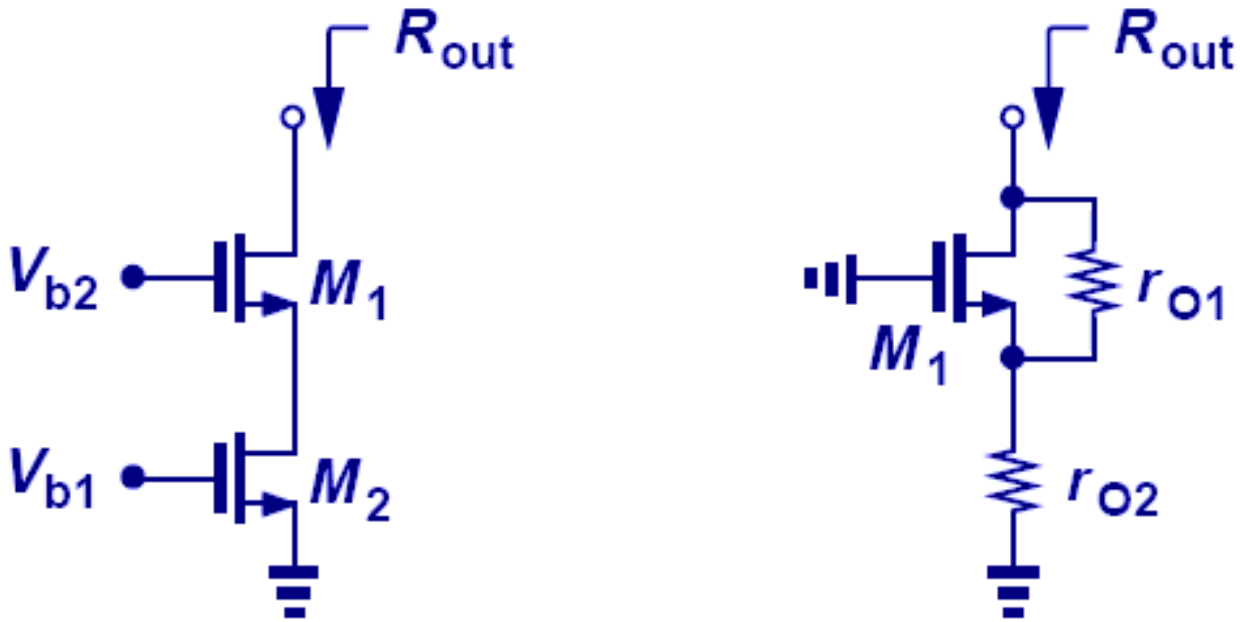


$$R = \frac{r_O + R_D}{1 + g_m r_O}$$



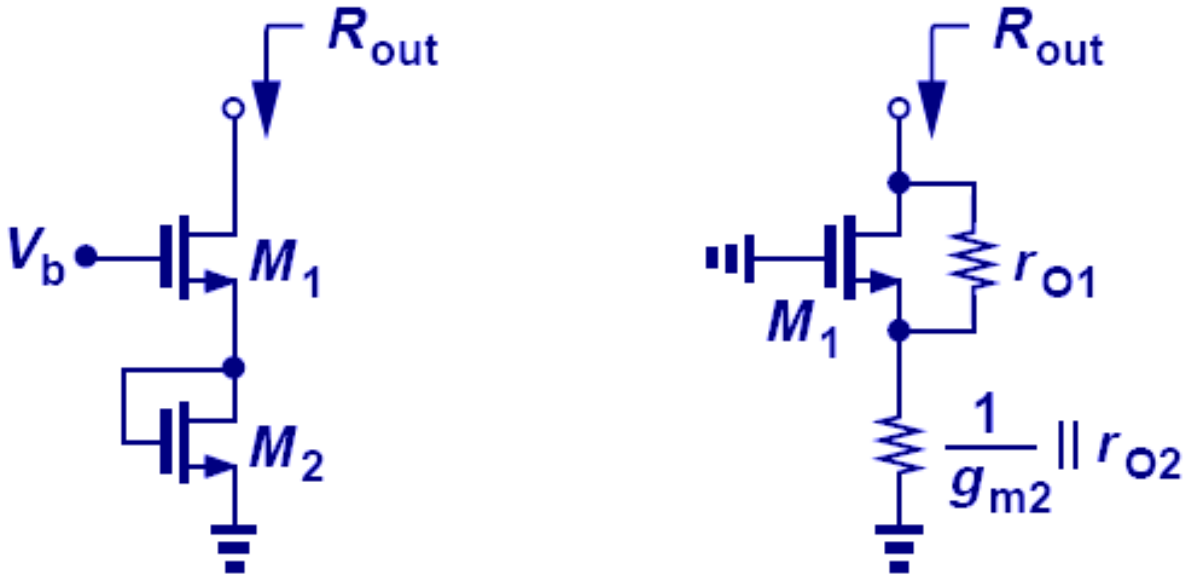
$$R = \infty$$

مثال 1



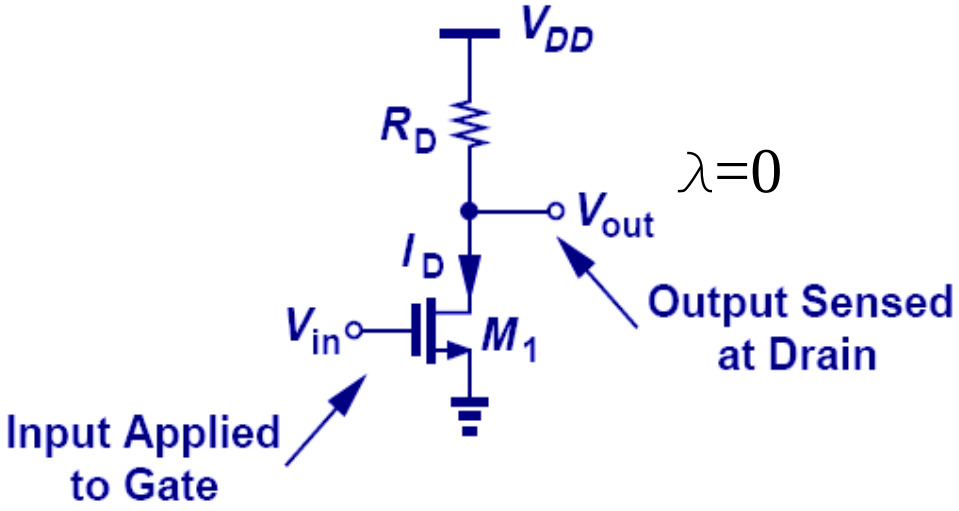
$$R_{out} = r_{O1} + (1 + g_{m1} r_{O1}) r_{O2}$$

مثال 2

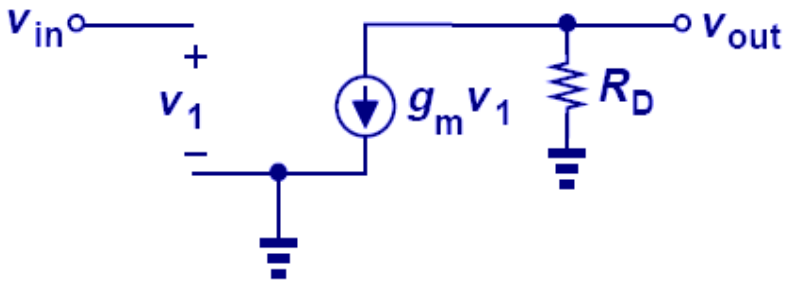


$$R_{out} = r_{O1} + (1 + g_{m1} r_{O1}) \left(\frac{1}{g_{m2}} \| r_{O2} \right)$$

طبقه سورس-مشترک



$\lambda=0$

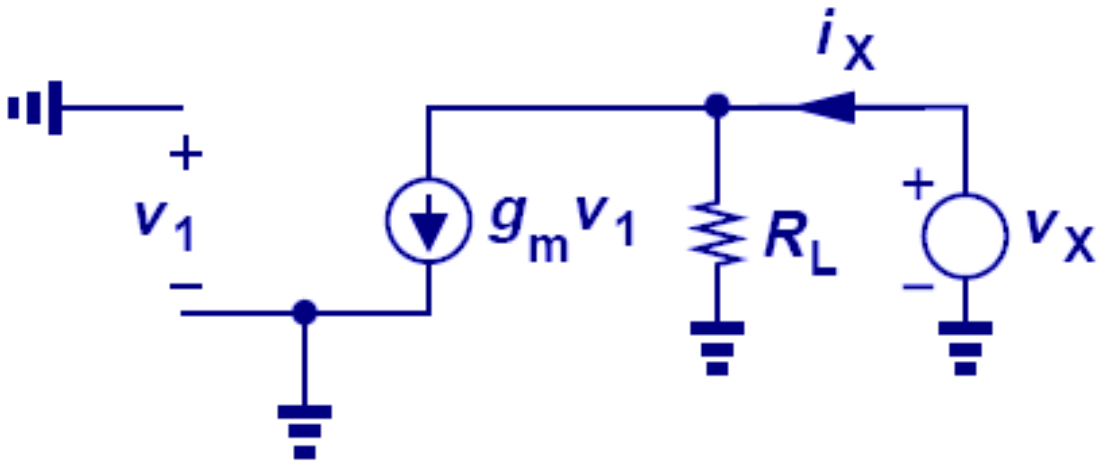


$$\lambda = 0$$

$$A_v = -g_m R_D$$

$$A_v = -\sqrt{2\mu_n C_{ox} \frac{W}{L} I_D R_D}$$

ادامه

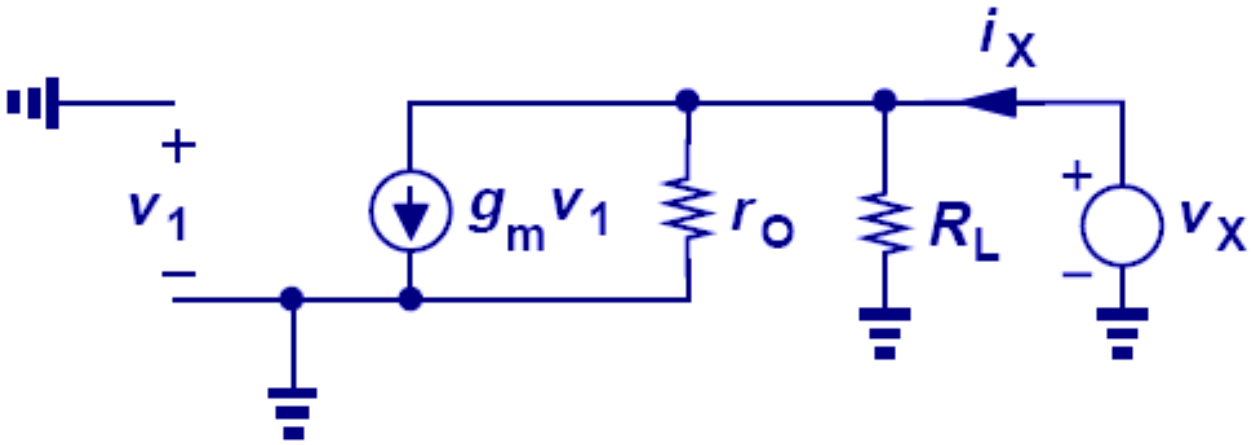


$$A_v = -g_m R_L$$

$$R_{in} = \infty$$

$$R_{out} = R_L$$

طبقه CS با فرض $\lambda \neq 0$



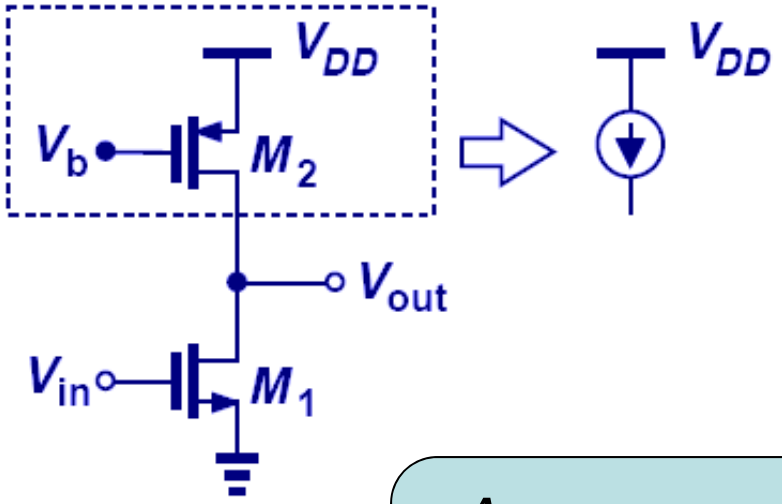
$$A_v = -g_m \left(R_L \parallel r_O \right)$$

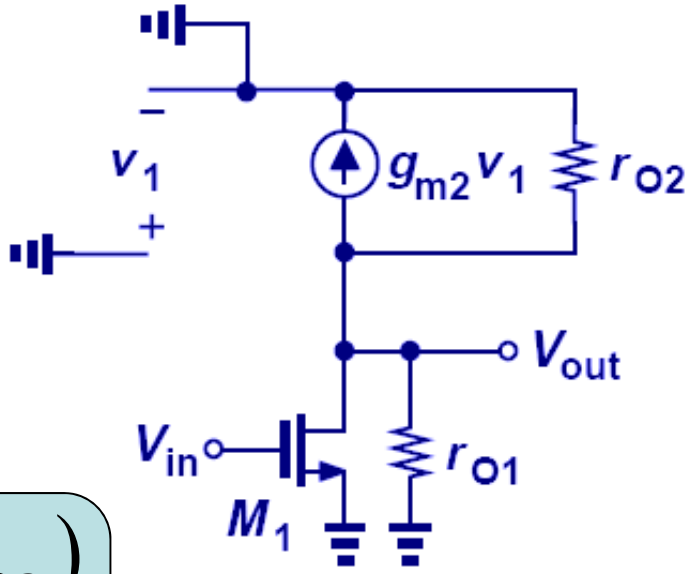
$$R_{in} = \infty$$

$$R_{out} = R_L \parallel r_O$$

استفاده از منبع جریان dc به عنوان بار برای طبقه CS

$\lambda_1 = \lambda_2 \# 0$

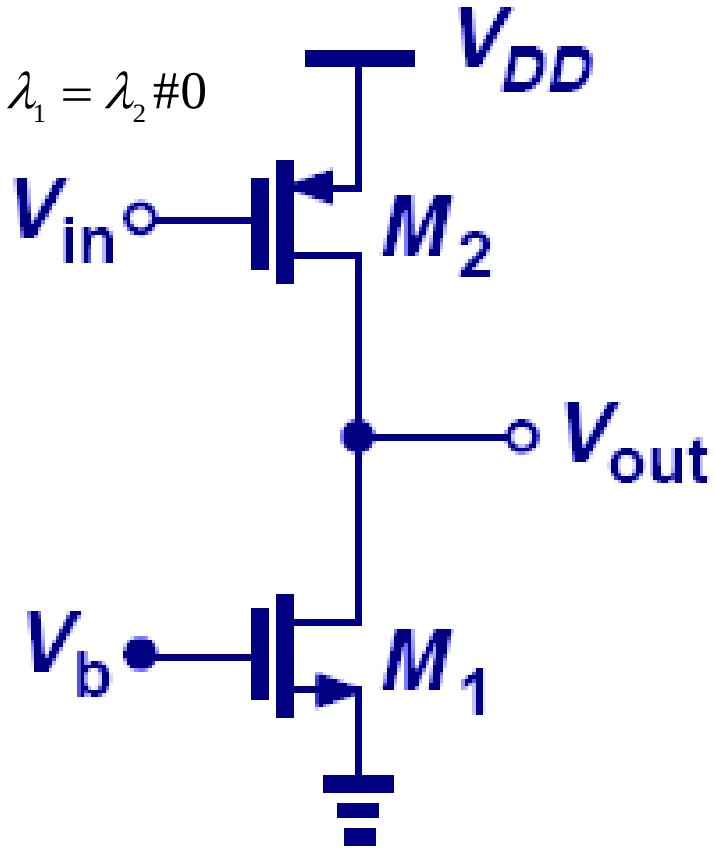




$$A_v = -g_{m1}(r_{O1} \| r_{O2})$$
$$R_{out} = r_{O1} \| r_{O2}$$

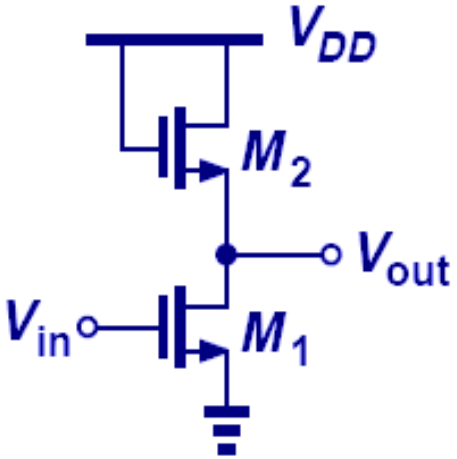
- منبع جریان dc در تحلیل ac دارای امپدانس بسیار زیادی است. همین امر سبب افزایش بهره تقویت کننده می شود.
- مزیت استفاده از منبع جریان به جای مقاومت به عنوان بار این است که در تحلیل dc، افت پتانسل روی منبع جریان می تواند کم باشد علی رغم اینکه مقاومت منبع جریان در تحلیل ac بسیار زیاد است.

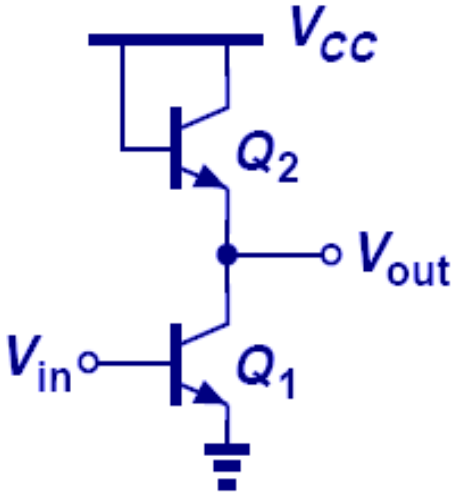
تقویت کننده CS با استفاده از PMOS

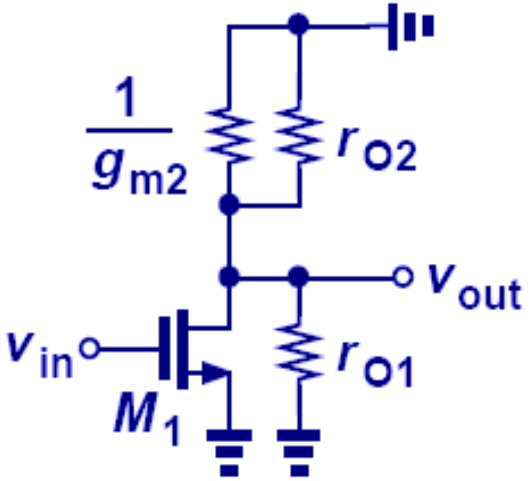


$$A_v = -g_{m2}(r_{O1} \| r_{O2})$$

تقویت کننده CS با بار دیودی





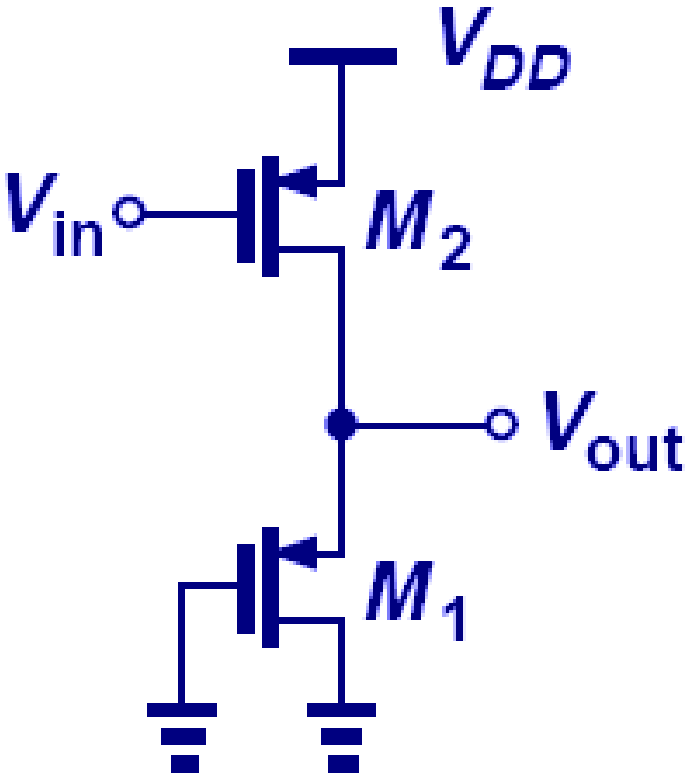


$$\lambda = 0 \Longrightarrow \quad A_v = -g_{m1} \cdot \frac{1}{g_{m2}} = -\sqrt{\frac{(W/L)_1}{(W/L)_2}}$$

$$\lambda \# 0 \Longrightarrow \quad A_v = -g_{m1}\left(\frac{1}{g_{m2}} \parallel r_{O2} \parallel r_{O1}\right)$$

- اگرچه بهره این ساختار کم است ولی توجه کنید که بهره فقط به ابعاد هندسی ترانزیستورها بستگی دارد. به عبارت دیگر بهره کاملا مستقل از دما و پارامترهای فیزیکی ترانزیستور است.

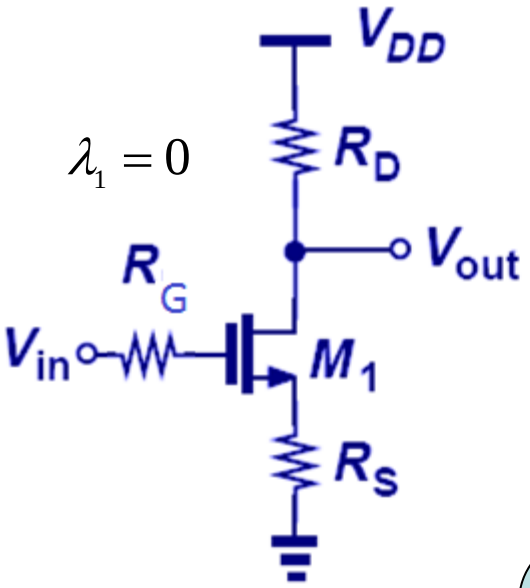
تقویت کننده CS با بار دیودی PMOS

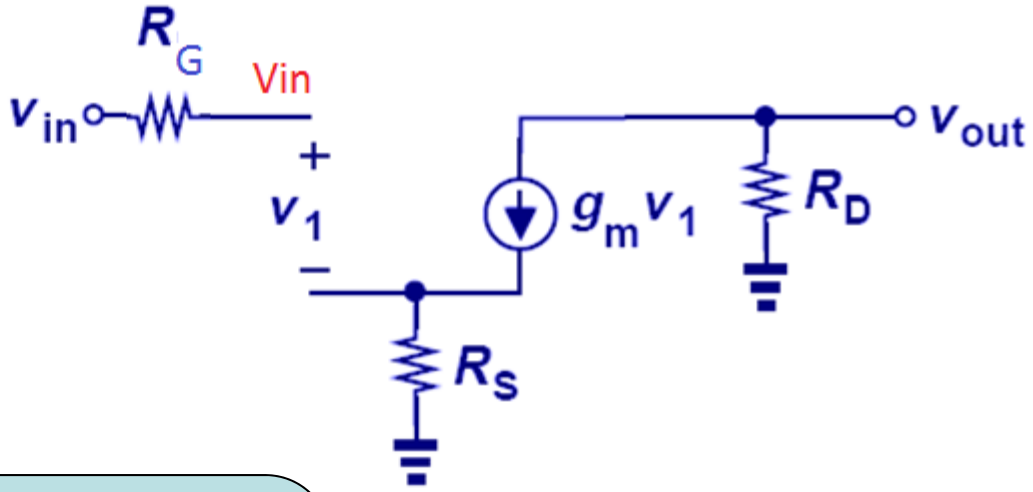


$$\lambda_{1,2} = 0$$

$$A_v = -g_{m2}\left(\frac{1}{g_{m1}} \| r_{o1} \| r_{o2}\right)$$

تقویت کننده CS با مقاومت موجود در سورس

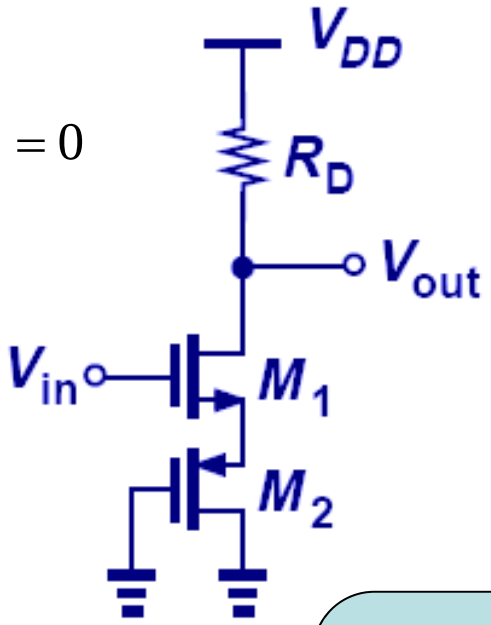


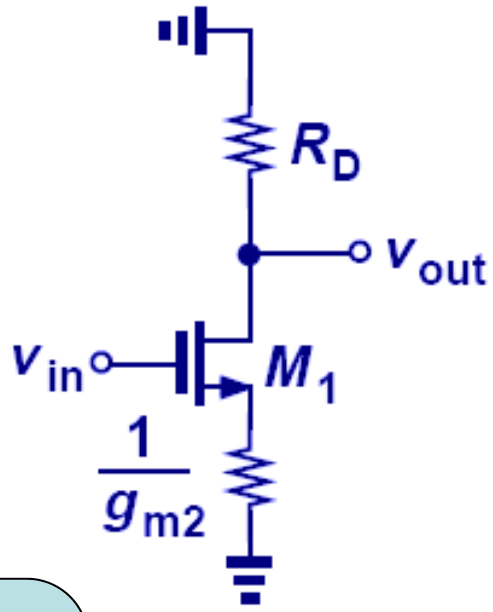


$$A_v = -\frac{R_D}{\frac{1}{g_m} + R_S}$$

مثال

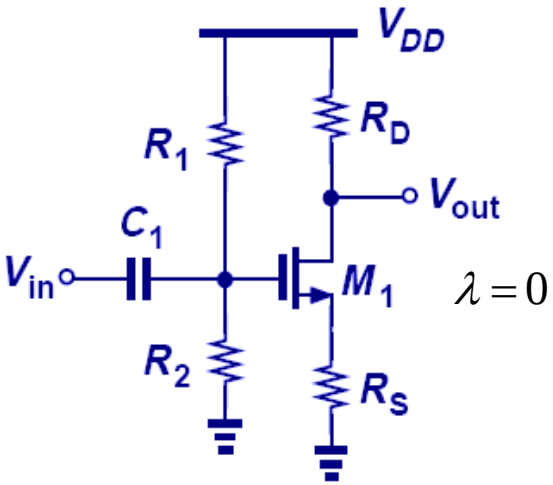
$\lambda_1 = \lambda_2 = 0$

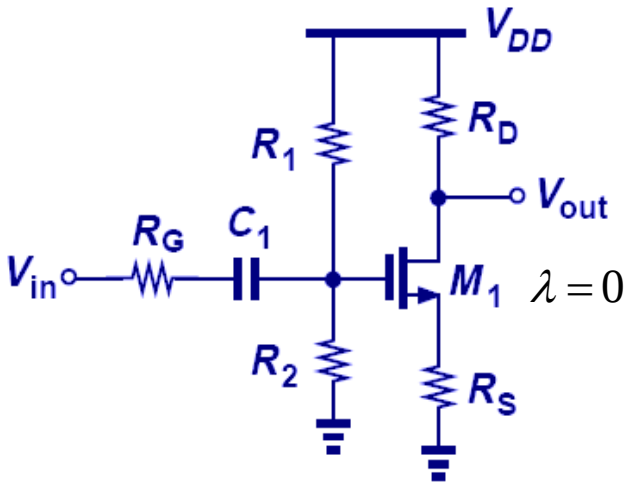


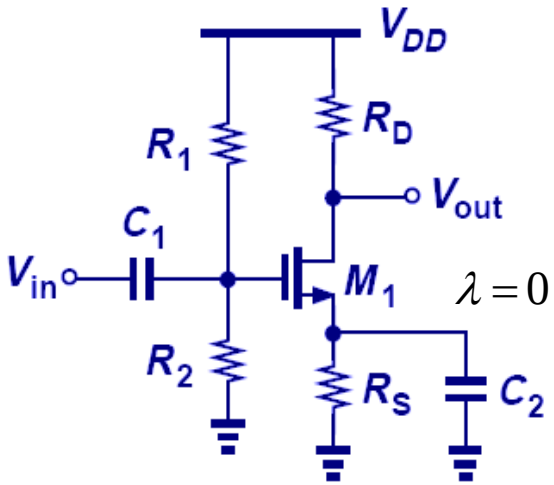


$$A_v = -\frac{R_D}{\frac{1}{g_{m1}} + \frac{1}{g_{m2}}}$$

تقویت کننده CS به همراه مدار بایاس

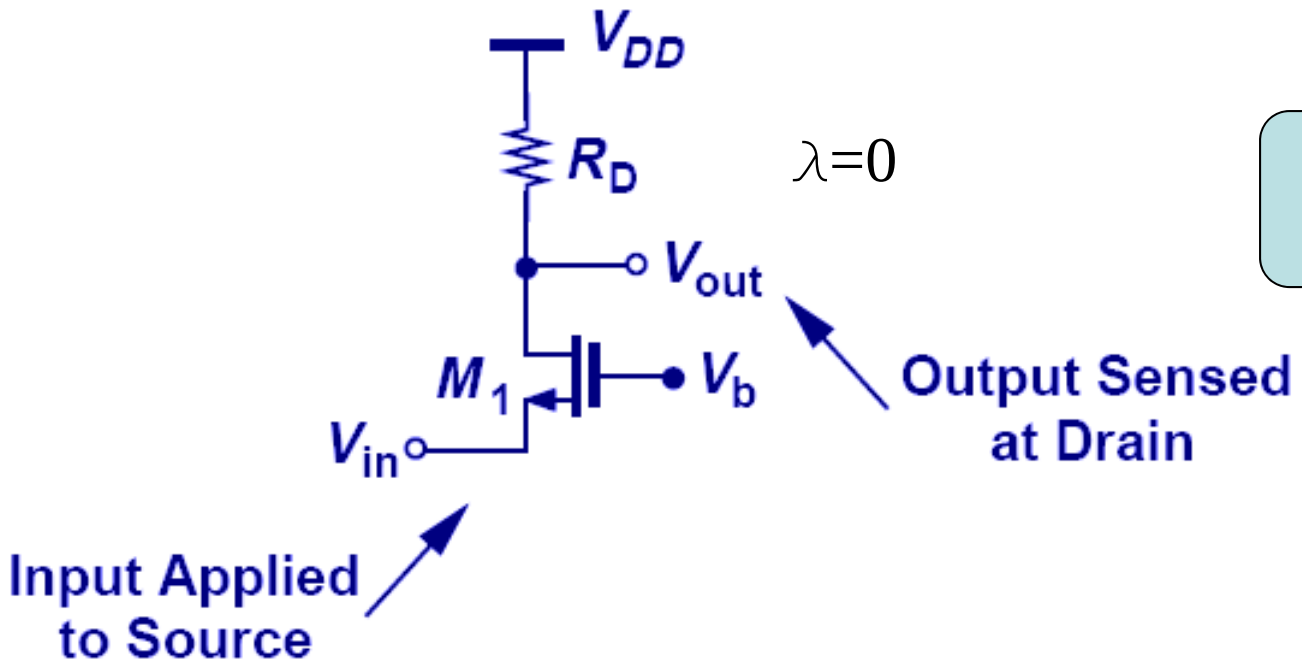






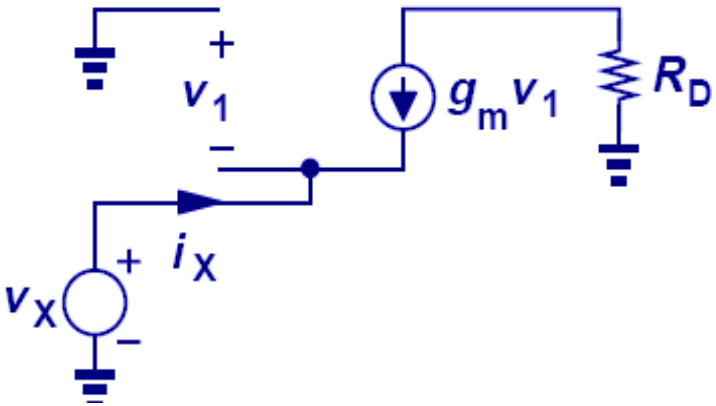
$$A_v = \frac{-R_D}{\frac{1}{g_m} + R_S}, \quad A_v = \frac{R_1 \parallel R_2}{R_G + R_1 \parallel R_2} \cdot \frac{-R_D}{\frac{1}{g_m} + R_S}, \quad A_v = -g_m R_D$$

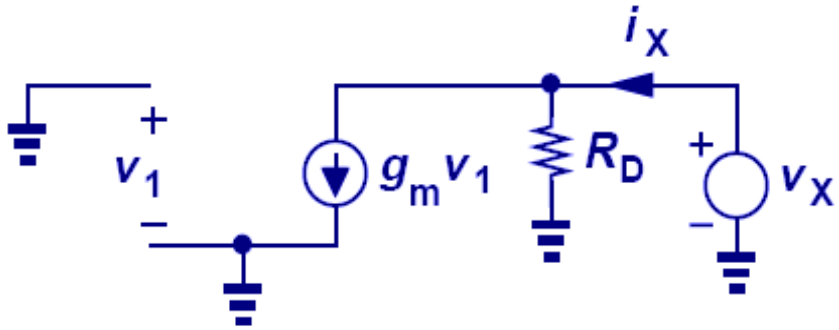
تقویت کننده گیت-مشترک



$$A_v = g_m R_D$$

امپدانس ورودی/خروجی در طبقه CG





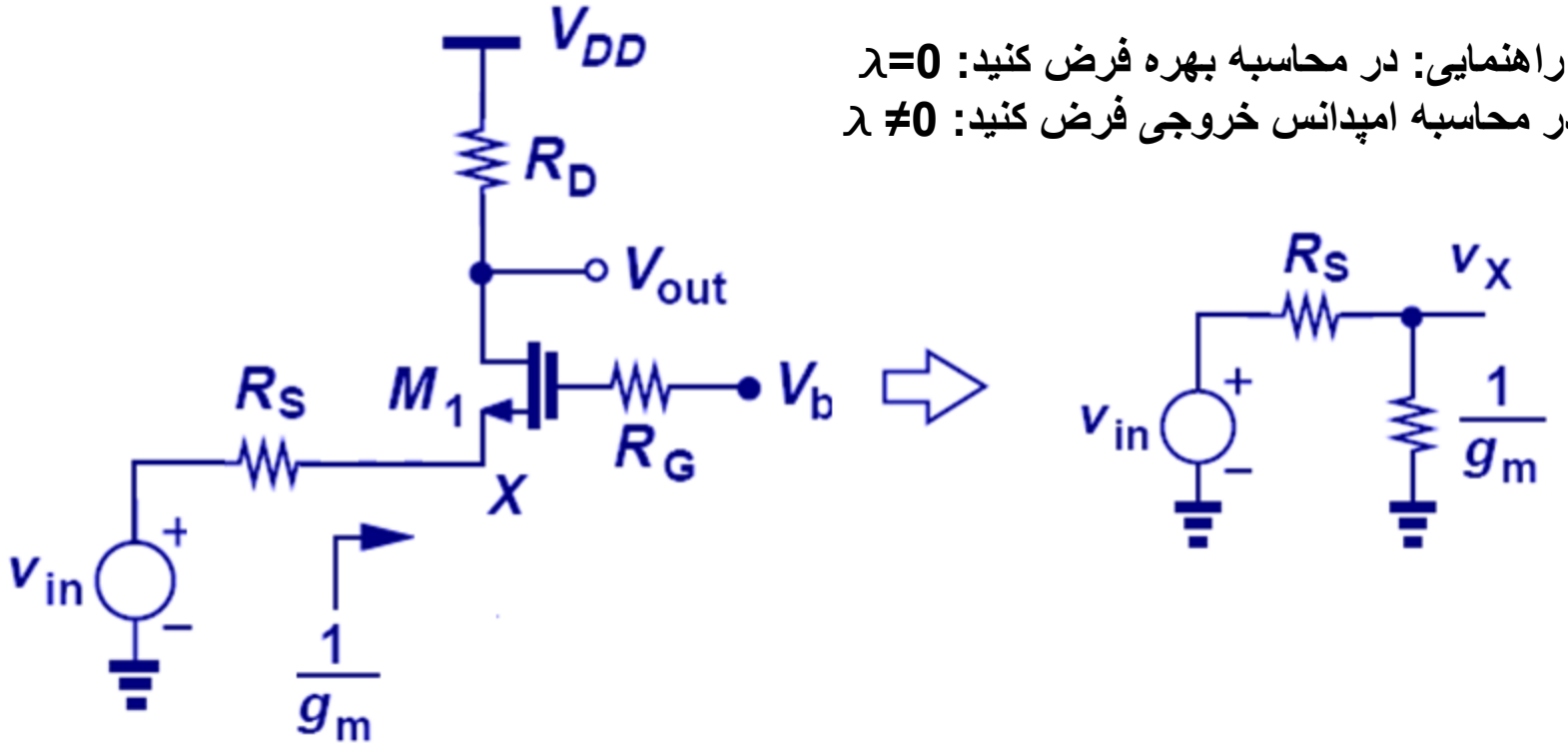
$$R_{in} = \frac{1}{g_m}$$

$$\lambda = 0$$

$$R_{out} = R_D$$

تقویت کننده CG با مقاومت موجود در سورس

راهنمایی: در محاسبه بهره فرض کنید: $\lambda=0$
در محاسبه امپدانس خروجی فرض کنید: $\lambda \neq 0$

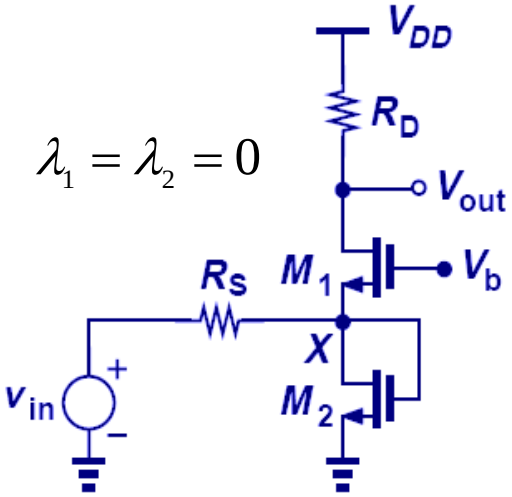


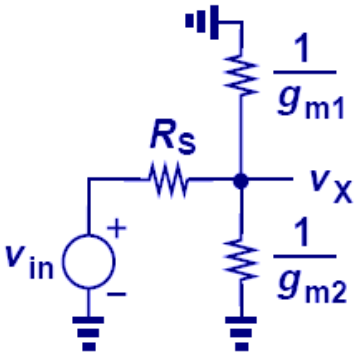
$$\lambda = 0 \Longrightarrow \quad A_v = \frac{R_D}{\frac{1}{g_m} + R_S}, \qquad R_{in} = \frac{1}{g_m}$$

$$\lambda \# 0 \Longrightarrow R_{out} = \left[(1 + g_m r_O) R_S + r_O\right] \| R_D$$

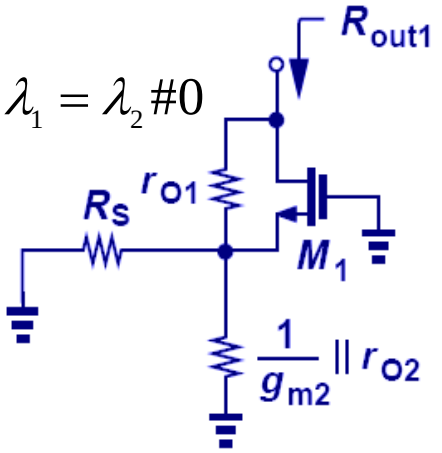
مثال

$\lambda_1 = \lambda_2 = 0$





$\lambda_1 = \lambda_2 \# 0$



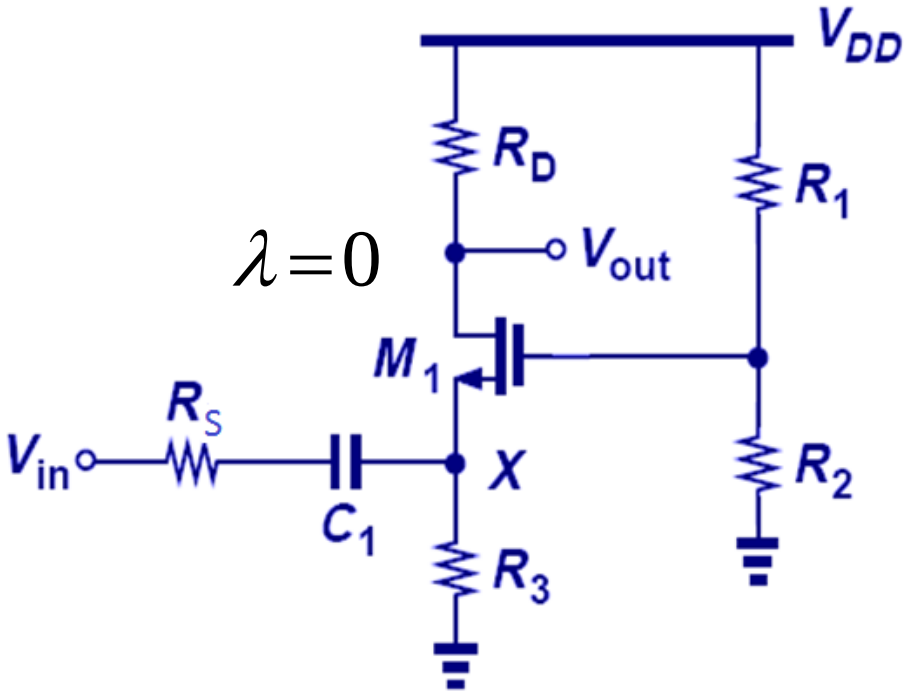
$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{\dfrac{1}{g_{m1}+g_{m2}}}{\dfrac{1}{g_{m1}+g_{m2}}+R_S} \times g_{m1}R_D$$

or

$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{R_D}{\dfrac{1}{g_{m1}}+\dfrac{1}{g_{m2}} \| R_S} \times \frac{\dfrac{1}{g_{m2}}}{\dfrac{1}{g_{m2}}+R_S}$$

$$R_{out} = \left[r_{O1} + (1+g_{m1}r_{O1}) \left(\frac{1}{g_{m2}} \| r_{o2} \| R_S \right) \right] \| R_D$$

تقویت کننده CG به همراه مدار بایاس

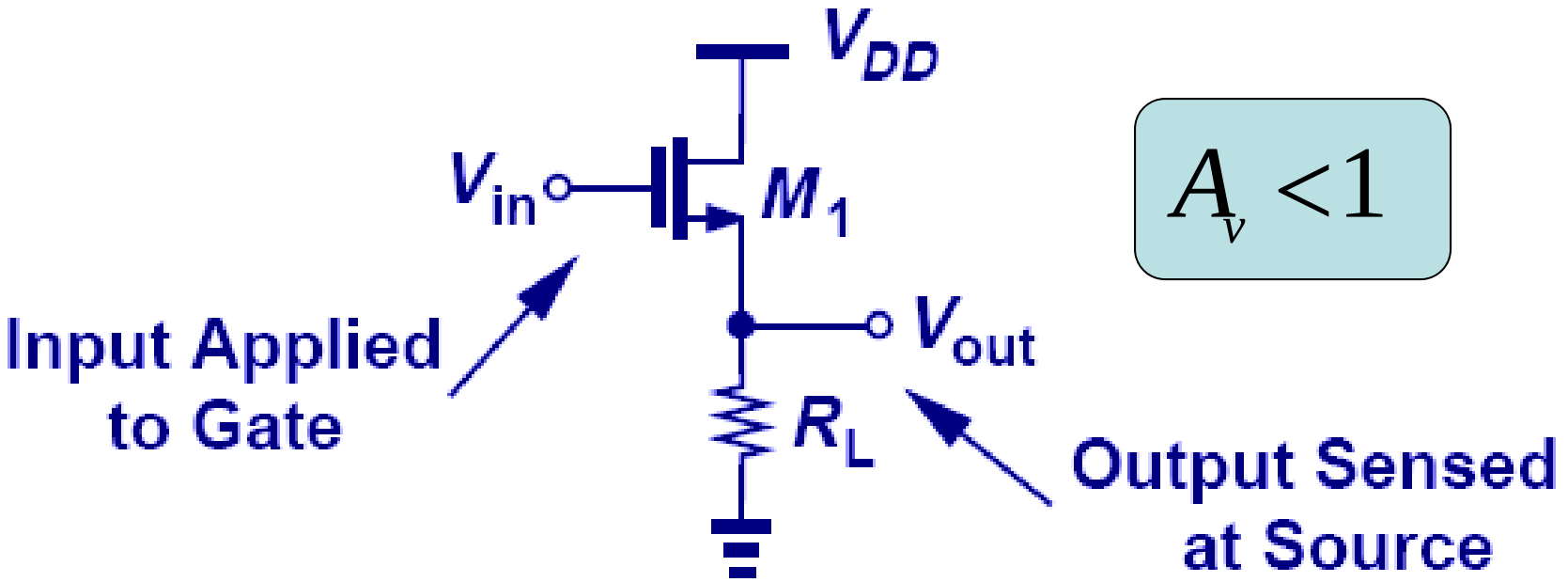


$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{R_3 \parallel (1/g_m)}{R_3 \parallel (1/g_m) + R_S} \cdot g_m R_D$$

or

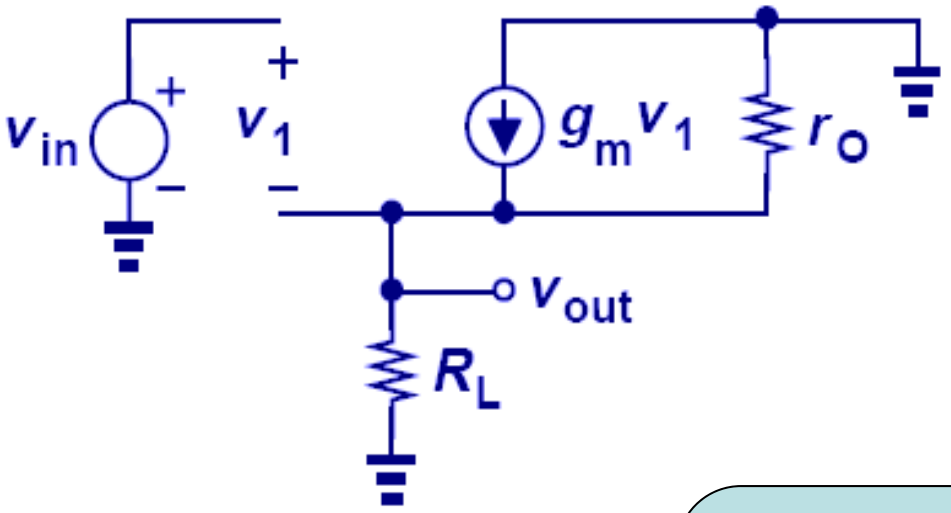
$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{R_D}{R_3 \parallel R_S + 1/g_m} \cdot \frac{R_3}{R_3 + R_S}$$

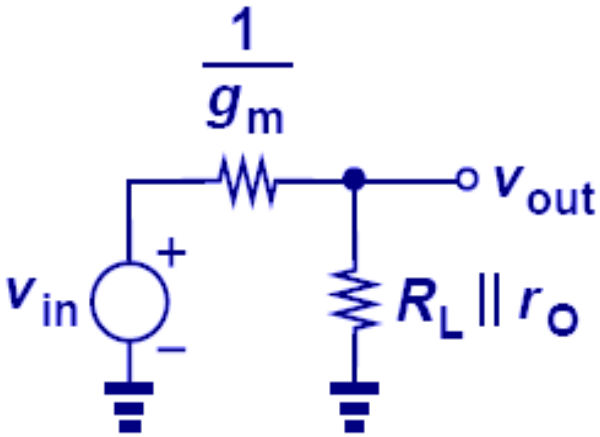
طبقه درین مشترک یا (Source Follower)



$$A_v < 1$$

ادامه

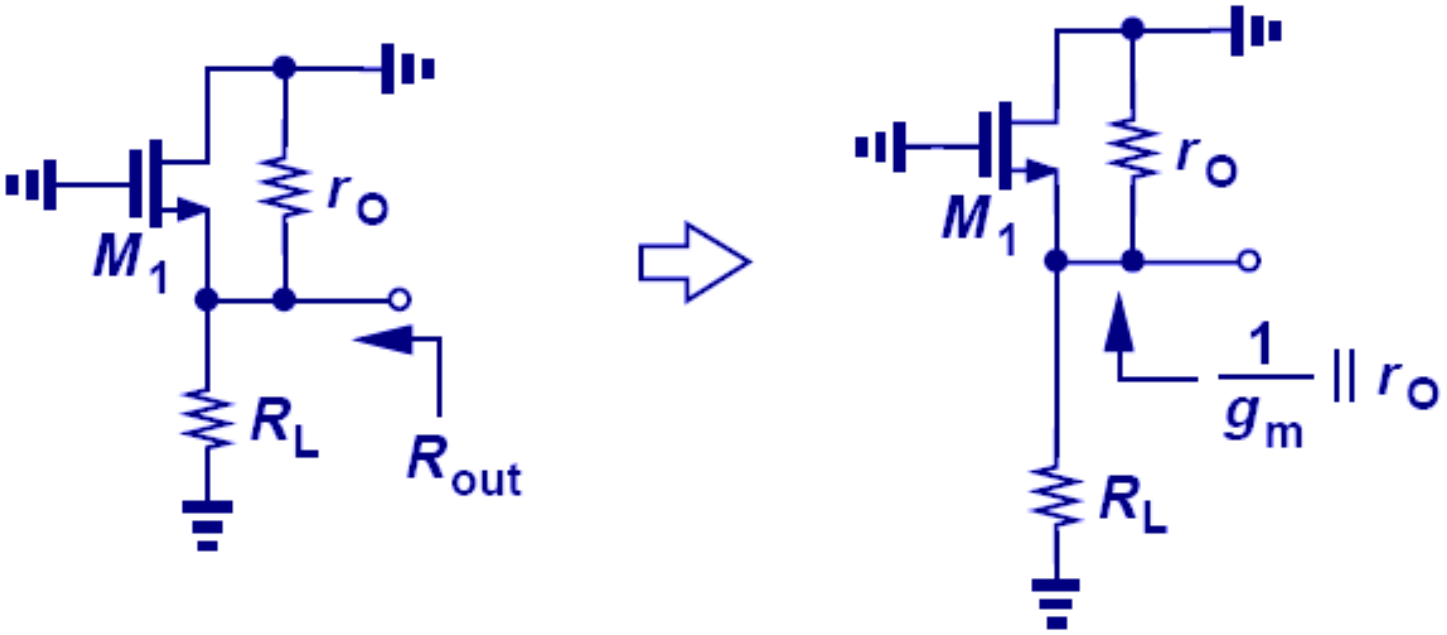




$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{r_O \| R_L}{\frac{1}{g_m} + r_O \| R_L}$$

- همانند تقویت کننده کلکتور-مشترک، این تقویت کننده نیز به صورت تقسیم کننده مقاومتی عمل می کند.

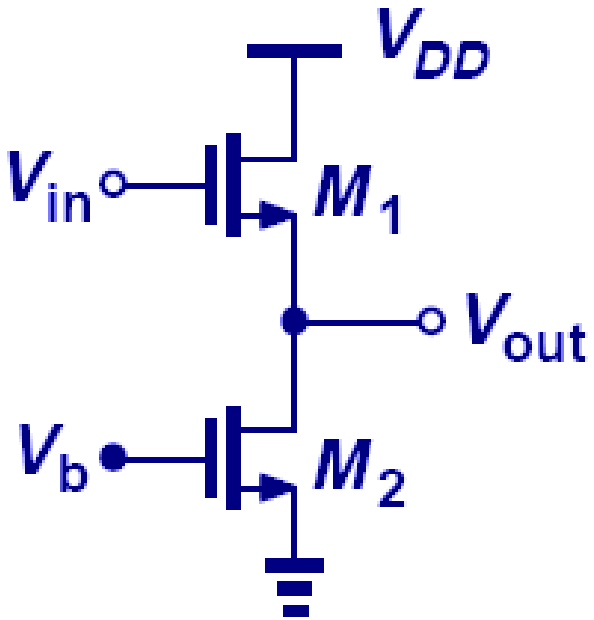
محاسبه امپدانس خروجی

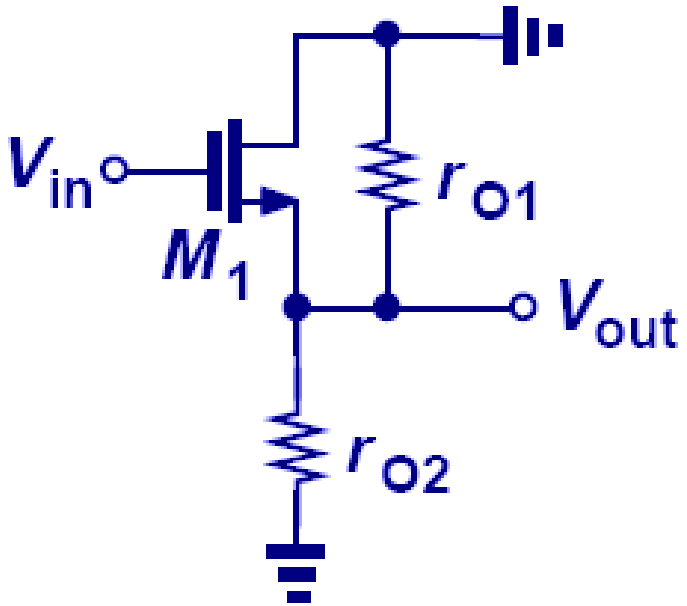


$$R_{out} = \frac{1}{g_m} \| r_O \| R_L \approx \frac{1}{g_m} \| R_L$$

- امپدانس خروجی این تقویت کننده نسبتا کم است.

مثالی از تقویت کننده درین-مشترک

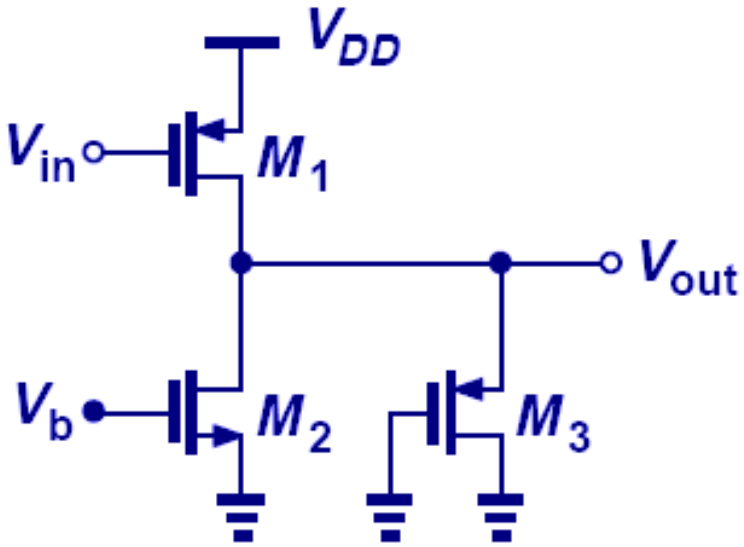




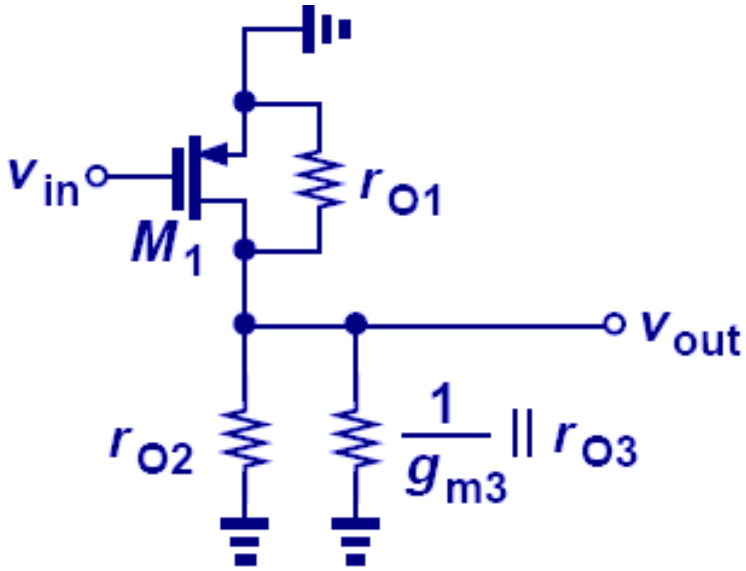
$$A_v = \frac{r_{O1} \parallel r_{O2}}{\frac{1}{g_{m1}} + r_{O1} \parallel r_{O2}}$$

- در این مثال ترانزیستور M_2 به عنوان منبع جریان عمل می کند.

مثال 1 از تقویت کننده CS



(a)



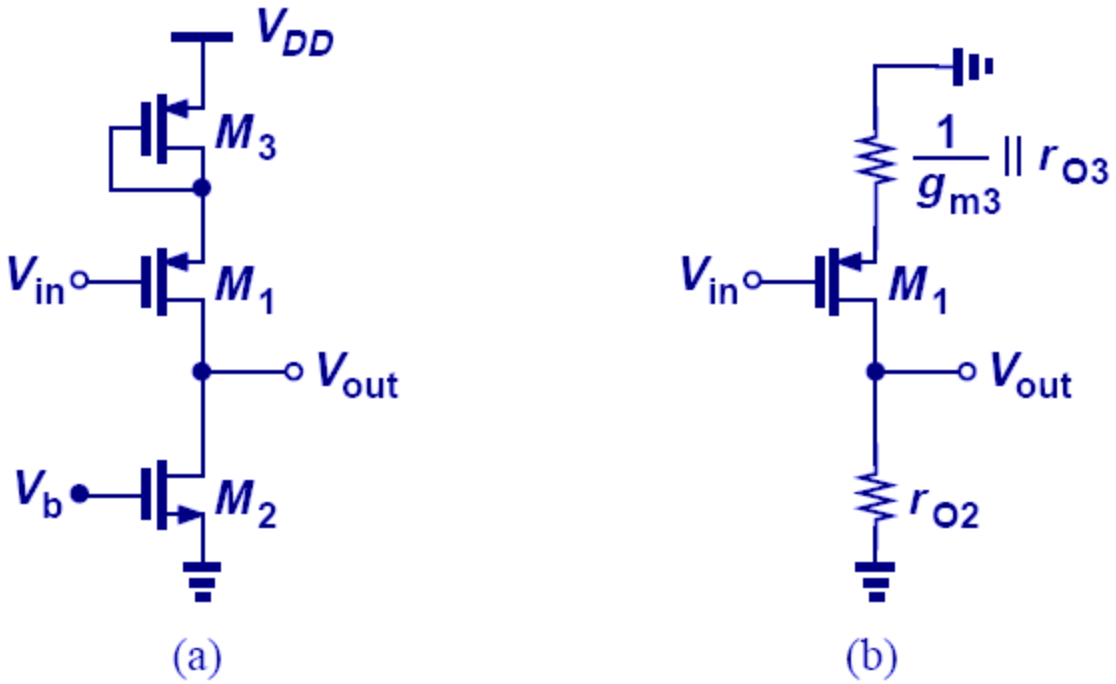
(b)

$$A_v = -g_{m1}\left(\frac{1}{g_{m3}} \| r_{O1} \| r_{O2} \| r_{O3}\right)$$

$$R_{out} = \frac{1}{g_{m3}} \| r_{O1} \| r_{O2} \| r_{O3}$$

- ترانزیستور M_1 به عنوان ترانزیستور اصلی و M_2, M_3 به عنوان بار عمل می کنند.

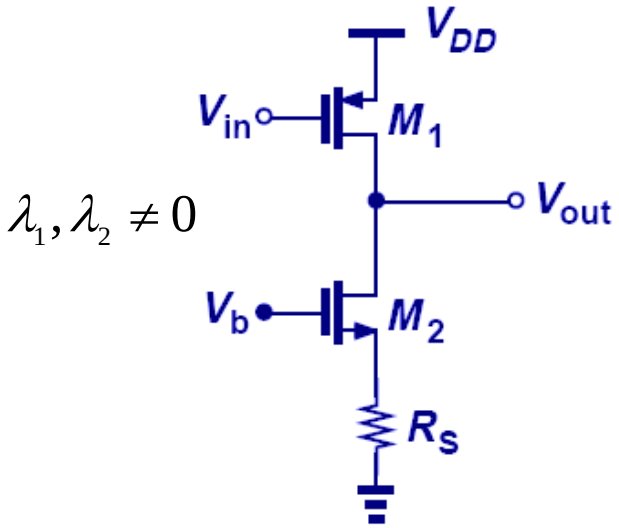
مثال 2 از تقویت کننده CS



$$\lambda_1 = 0, \lambda_2, \lambda_3 \neq 0 \Longrightarrow \quad A_v = -\frac{r_{O2}}{\frac{1}{g_{m1}} + \frac{1}{g_{m3}} \| r_{O3}}$$

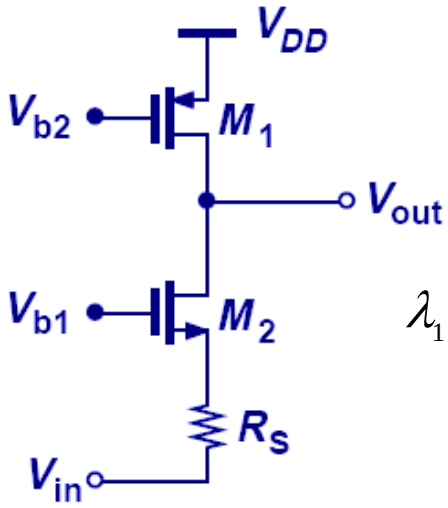
- ترانزیستور M_1 به عنوان ترانزیستور اصلی، M_3 به عنوان مقاومت موجود در سورس و M_2 به عنوان بار عمل می کنند.

مثال هایی از طبقات CS و CG



$\lambda_1, \lambda_2 \neq 0$

(a)



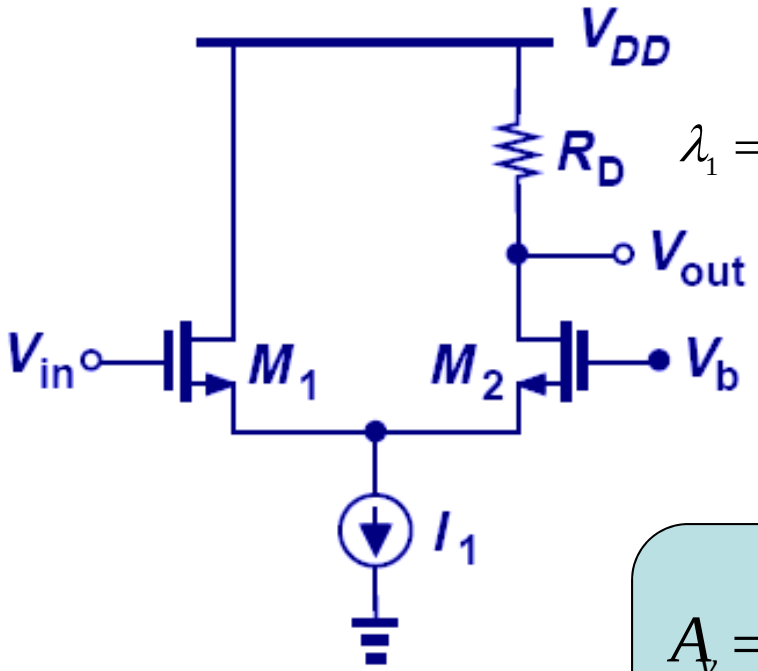
$\lambda_1 \neq 0, \lambda_2 = 0$

(b)

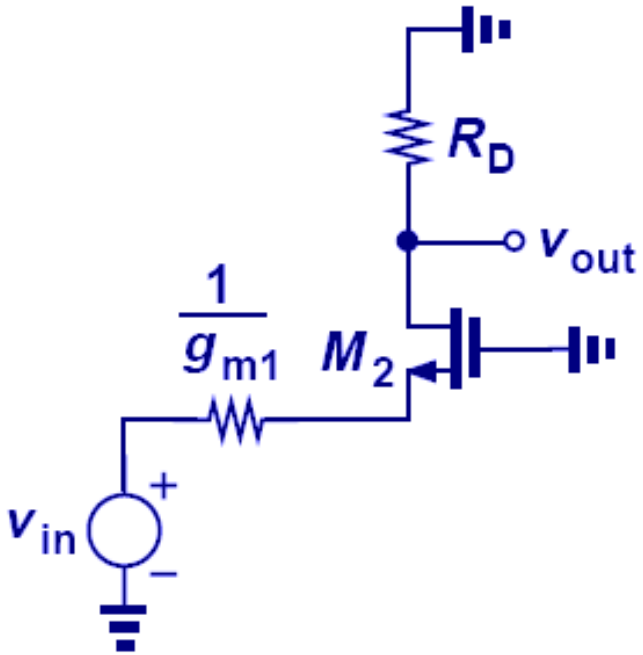
$$A_{v_CS} = -g_{m1}\left(\left[(1+g_{m2}r_{O2})R_S + r_{O2}\right] \| \, r_{O1}\right)$$

$$A_{v_CG} = \frac{r_{O1}}{\frac{1}{g_{m2}} + R_S}$$

مثال 1 از ترکیب دو نوع تقویت کننده



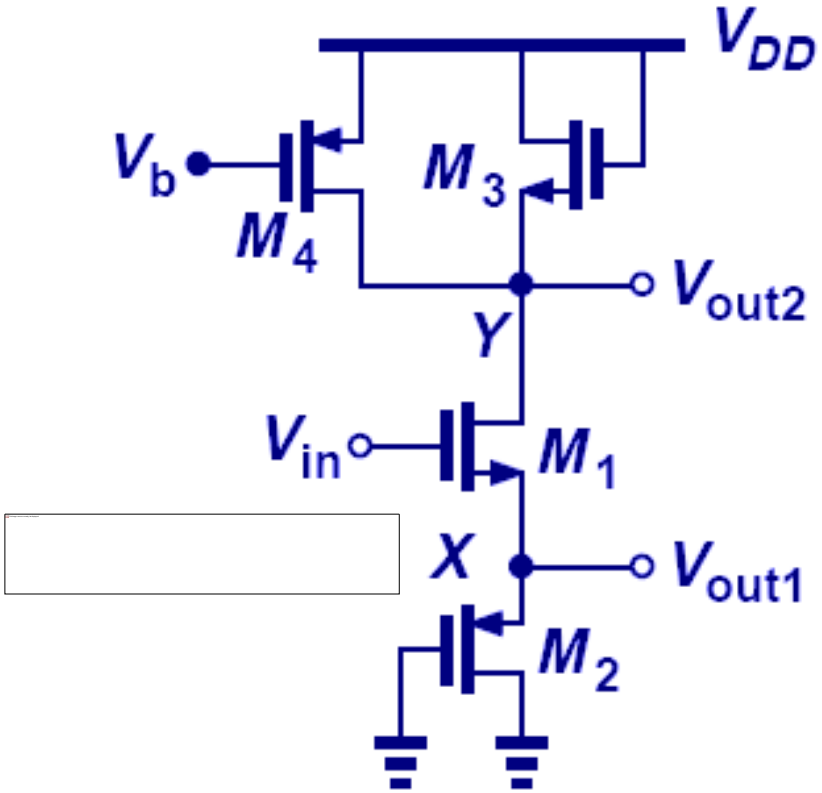
$$\lambda_1 = \lambda_2 = 0$$



$$A_v = \frac{R_D}{\frac{1}{g_{m1}} + \frac{1}{g_{m2}}}$$

- اگر مدار معادل تونن مدار سمت چپ را استفاده کنیم، متوجه می شویم که نهایتا یک تقویت کننده CG خواهیم داشت که بهره آن به سادگی قابل محاسبه است.

مثال 2 از ترکیب دو نوع تقویت کننده



$$\frac{v_{out1}}{v_{in}} = -\frac{\frac{1}{g_{m2}} \| r_{O2}}{\frac{1}{g_{m2}} \| r_{O2} + \frac{1}{g_{m1}}}$$

$$\frac{v_{out2}}{v_{in}} = -\frac{\frac{1}{g_{m3}} \| r_{O3} \| r_{O4}}{\frac{1}{g_{m2}} \| r_{O2} + \frac{1}{g_{m1}}}$$

- این مثال نشان می دهد که اگر در یک مدار چندین خروجی مورد توجه ما باشد در آن صورت ممکن است با توجه به هر خروجی نوع خاصی از تقویت کننده را داشته باشیم.
- اگر خروجی V_{out1} مد نظر باشد در آن صورت تقویت کننده **CD** خواهیم داشت.
- اگر خروجی V_{out2} مد نظر باشد در آن صورت تقویت کننده **CS** خواهیم داشت.