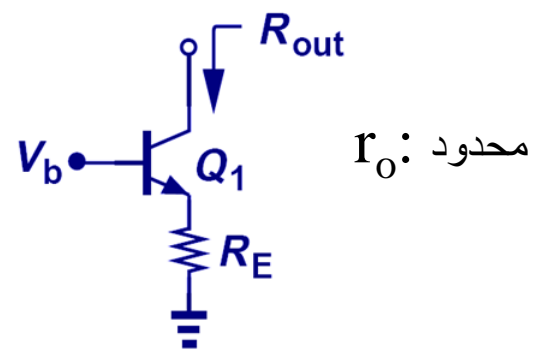
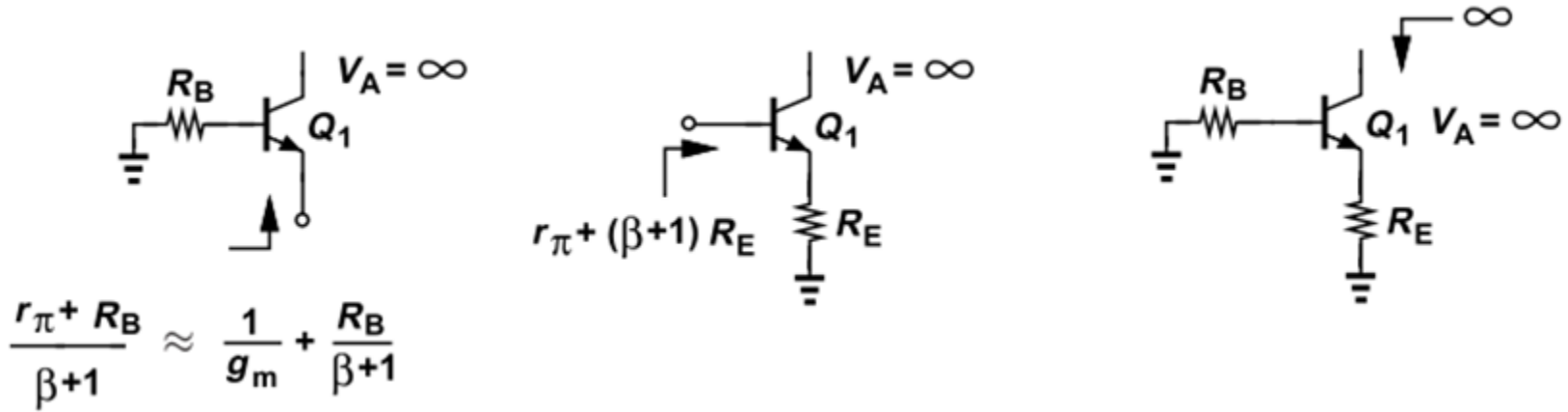


# Chapter 9 Cascode Stages and Current Mirrors

- **9.1 Cascode Stage**
- **9.2 Current Mirrors**

سه نکته مهم در مورد امپدانس دیده شده از پایه های ترانزیستور



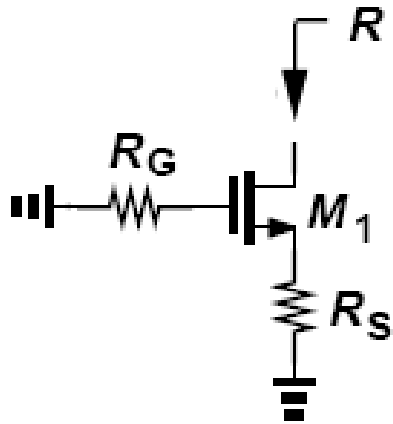
$$R_{out} = (1 + g_m r_O)(R_E \parallel r_{\pi}) + r_O$$

## تحقق رفتار دیودی با استفاده از ترانزیستور

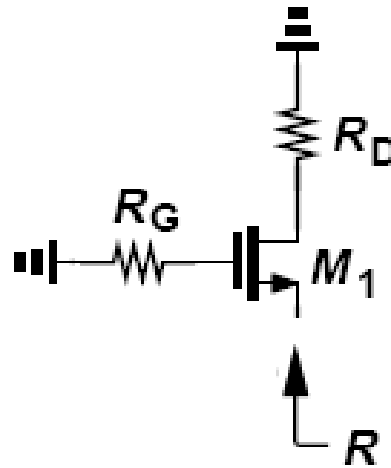


$$R_{out} = \frac{1}{g_m} \parallel r_o \cong \frac{1}{g_m}$$

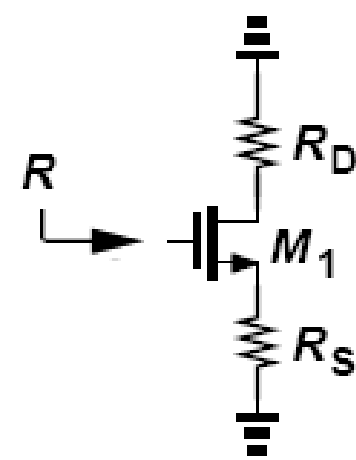
سه نکته مهم در مورد امپدانس دیده شده از پایه های ماسفت



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

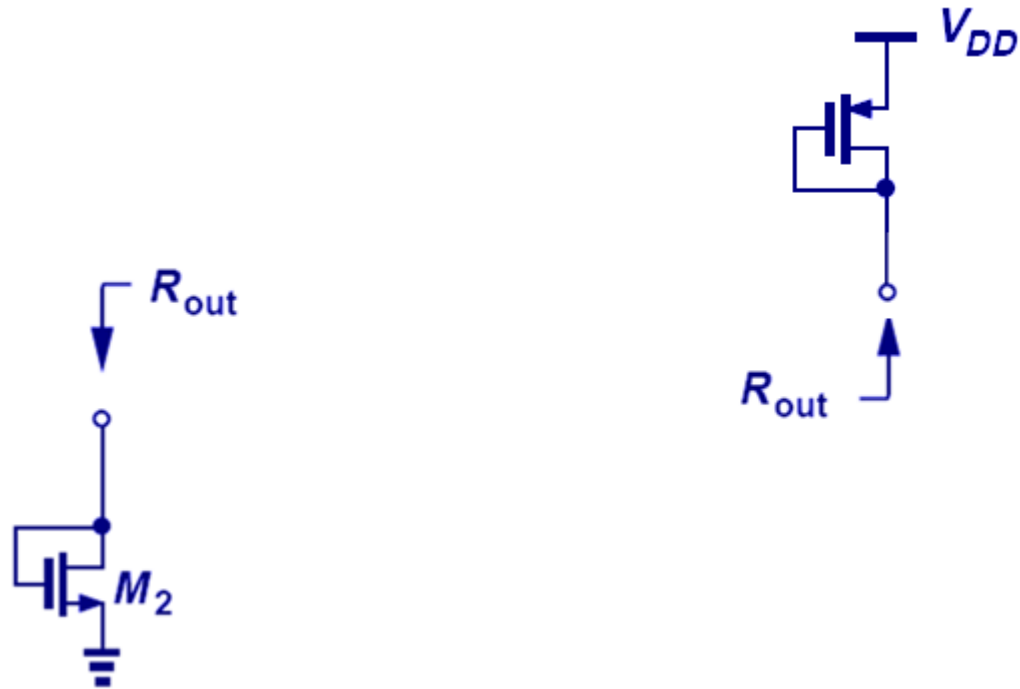


$$R = \frac{r_o + R_D}{1 + g_m r_o}$$



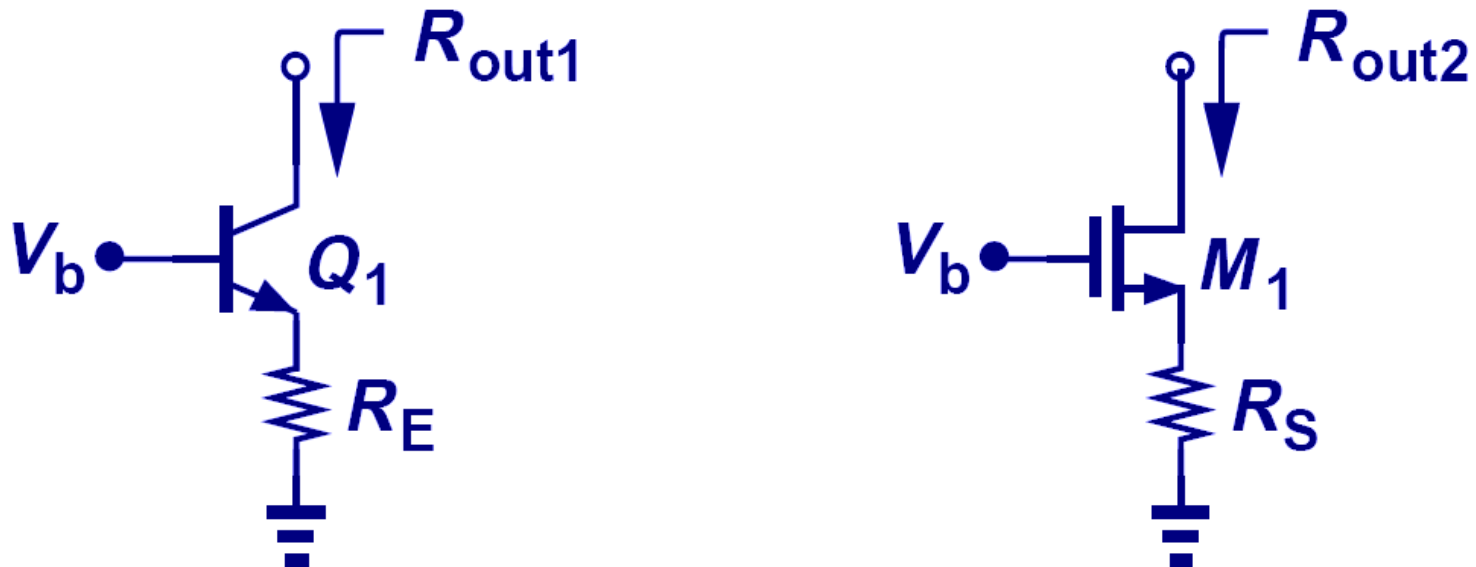
$$R = \infty$$

## تحقق رفتار دیودی با استفاده از ماسفت



$$R_{out} = \frac{1}{g_m} \parallel r_o \cong \frac{1}{g_m}$$

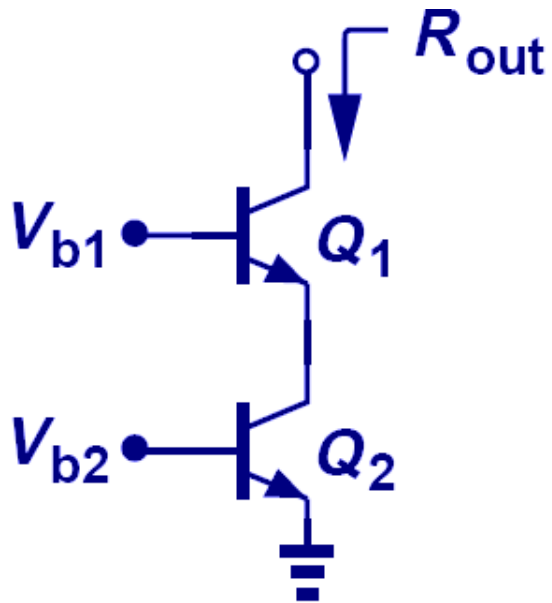
قرار دادن مقاومت در امیتر یا سورس سبب افزایش امپدانس خروجی می شود



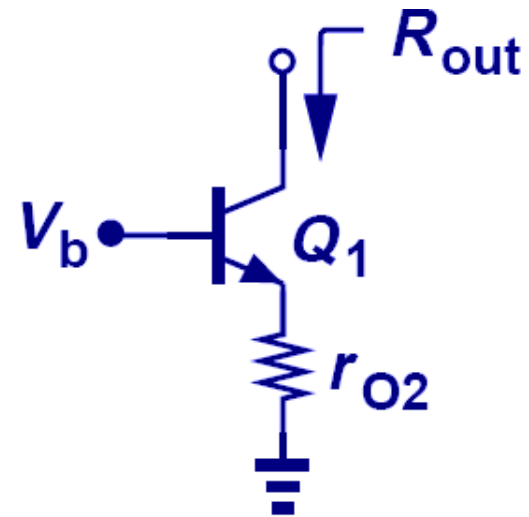
$$R_{out1} = [1 + g_m r_o] (R_E \parallel r_\pi) + r_o$$

$$R_{out2} = (1 + g_m r_o) R_S + r_o$$

## کسکد کردن ترانزیستورهای دوقطبی



(a)

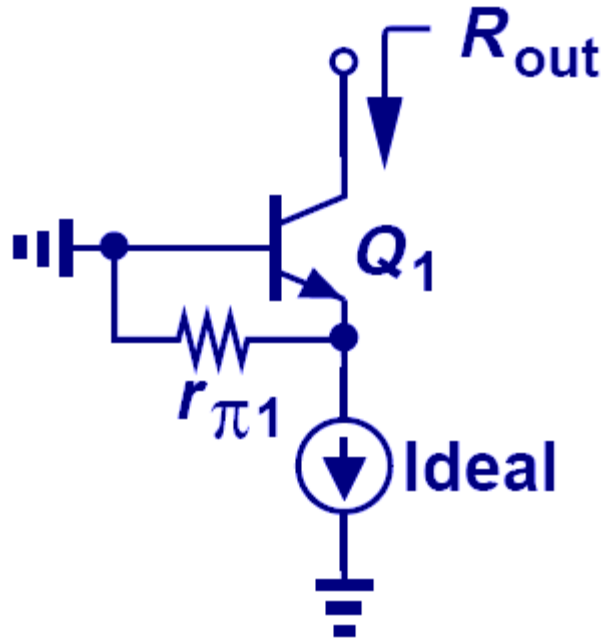


(b)

$$R_{out} = [1 + g_{m1} r_{O1}] (r_{O2} \parallel r_{\pi 1}) + r_{O1}$$

$$R_{out} \approx g_{m1} r_{O1} (r_{O2} \parallel r_{\pi 1})$$

## حداکثر امپدانس خروجی

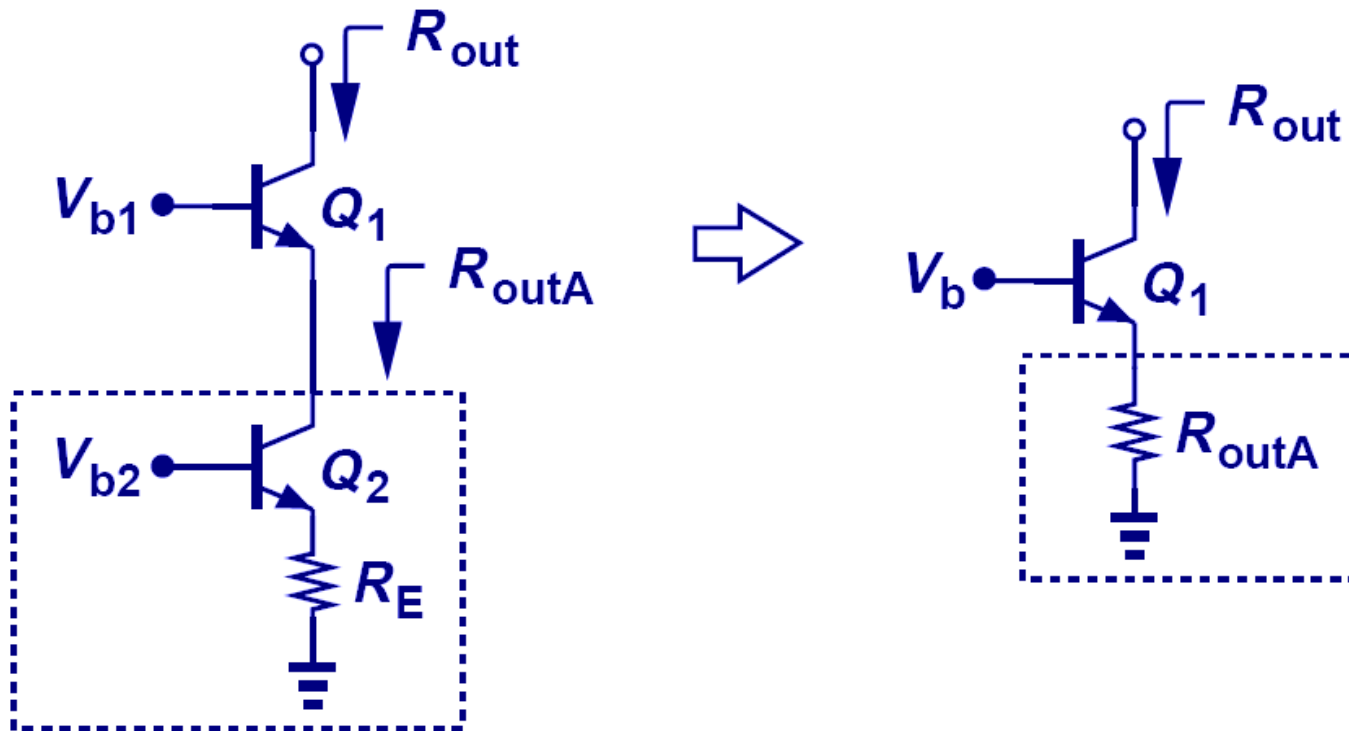


$$R_{out, \max} \approx g_{m1} r_{O1} r_{\pi 1}$$

$$R_{out, \max} \approx \beta_1 r_{O1}$$



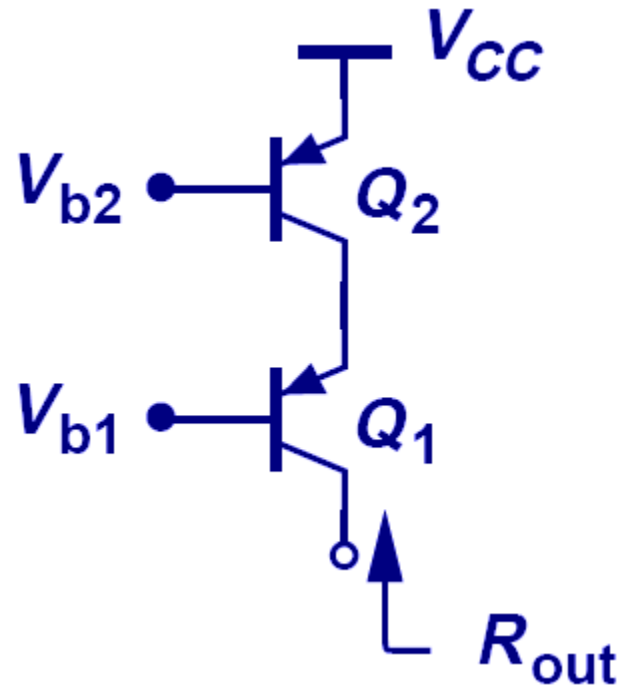
## مثال



$$R_{outA} = [1 + g_{m2} r_{O2}] (R_E \parallel r_{\pi 2}) + r_{O2}$$

$$R_{out} = [1 + g_{m1} r_{O1}] (R_{outA} \parallel r_{\pi 1}) + r_{O1}$$

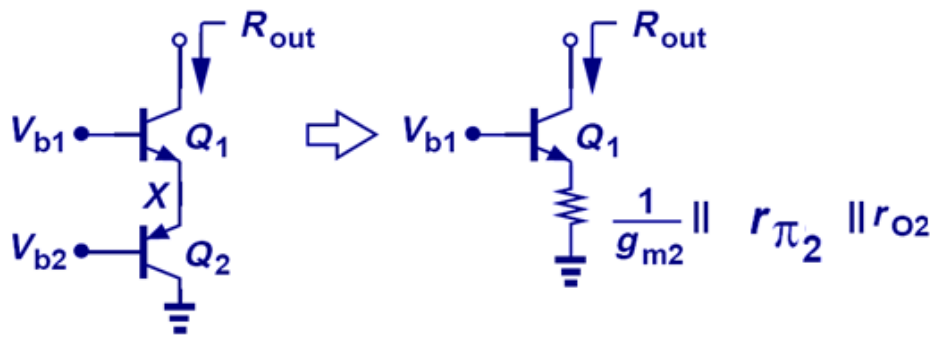
## ترانزیستورهای کسکد PNP



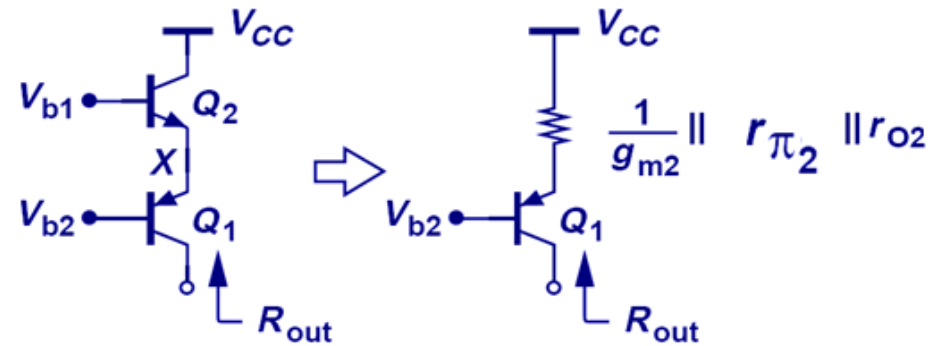
$$R_{out} = [1 + g_{m1} r_{O1}] (r_{O2} \parallel r_{\pi1}) + r_{O1}$$

$$R_{out} \approx g_{m1} r_{O1} (r_{O2} \parallel r_{\pi1})$$

## ساختارهای زیر را به عنوان ترانزیستورهای کسکد شده نمی شناسیم



(a)

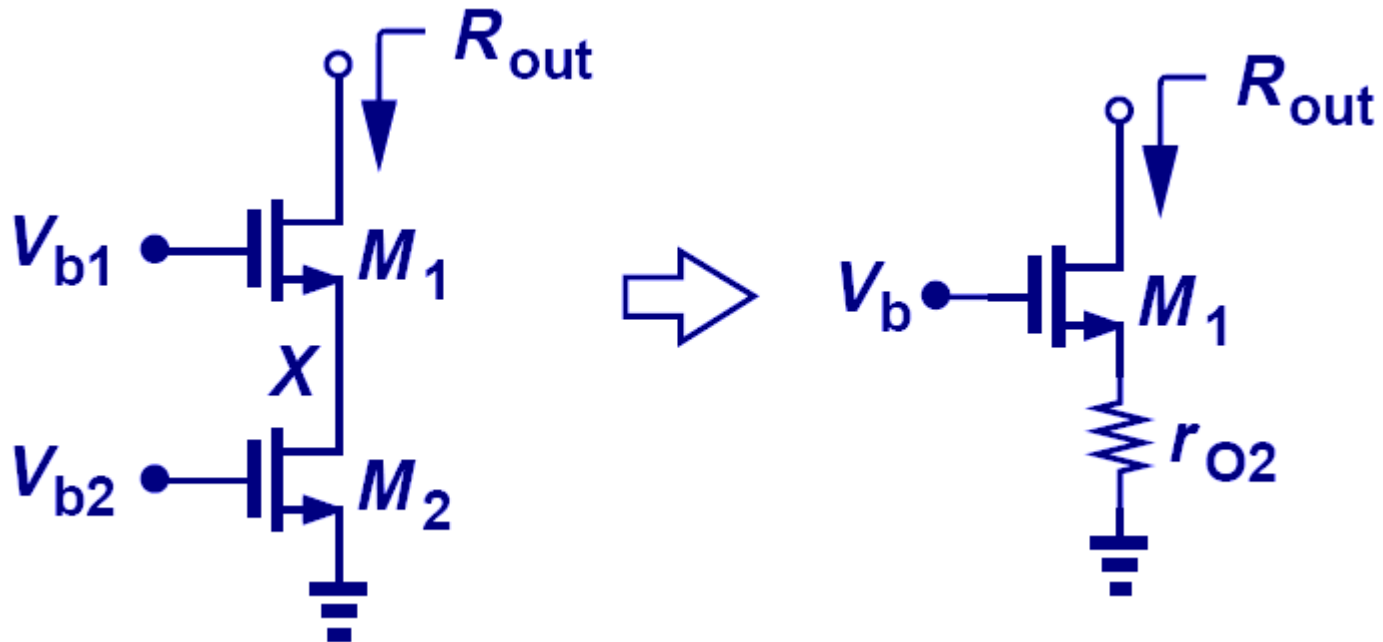


(b)

$$R_{out} = (1 + g_{m1} r_{O1}) \left( \frac{1}{g_{m2}} \parallel r_{\pi 2} \parallel r_{O2} \parallel r_{\pi 1} \right) + r_{O1}$$

$$R_{out} \approx \frac{1}{g_{m2}} + \frac{g_{m1}}{g_{m2}} r_{O1} + r_{O1} \approx 2r_{O1}$$

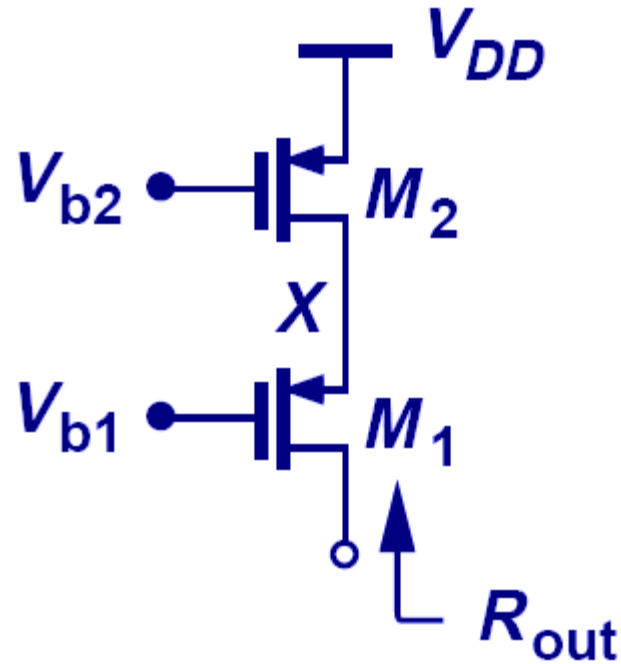
## ماسفت های کسکد شده



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

$$R_{out} \approx g_{m1}r_{O1}r_{O2}$$

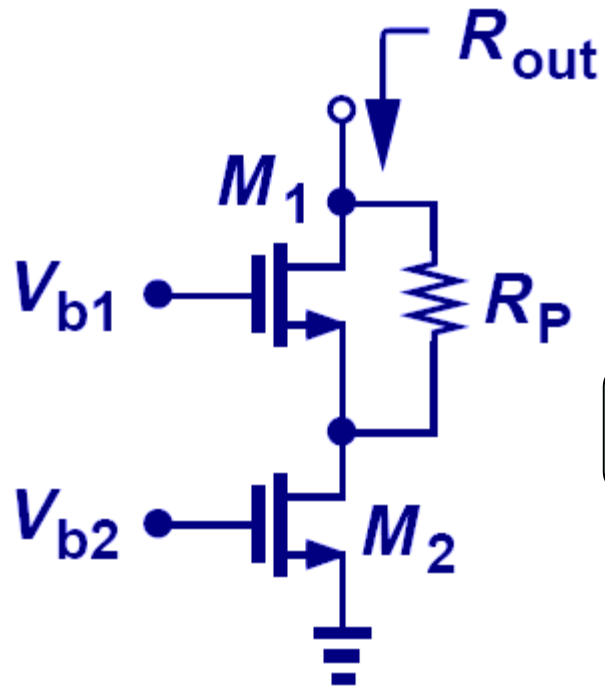
## ماسفت نوع P کسکد شده



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

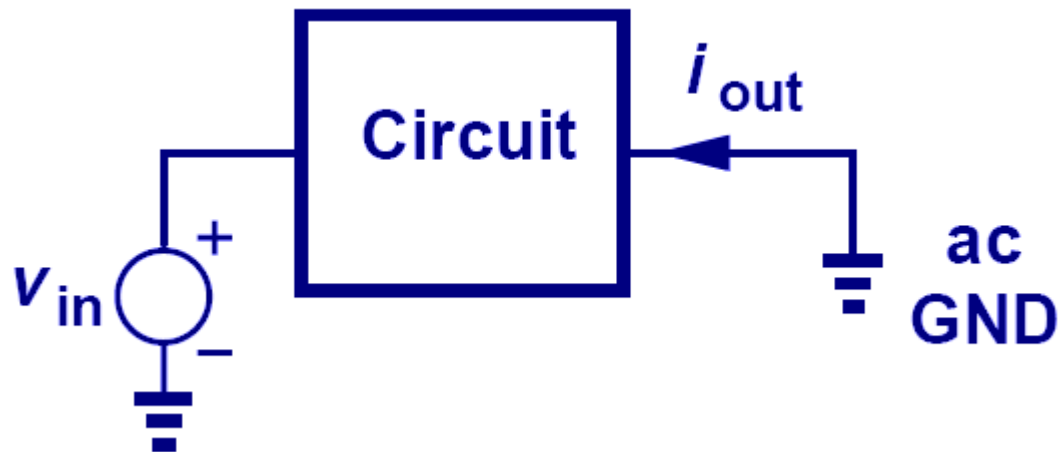
$$R_{out} \approx g_{m1}r_{O1}r_{O2}$$

## مثال



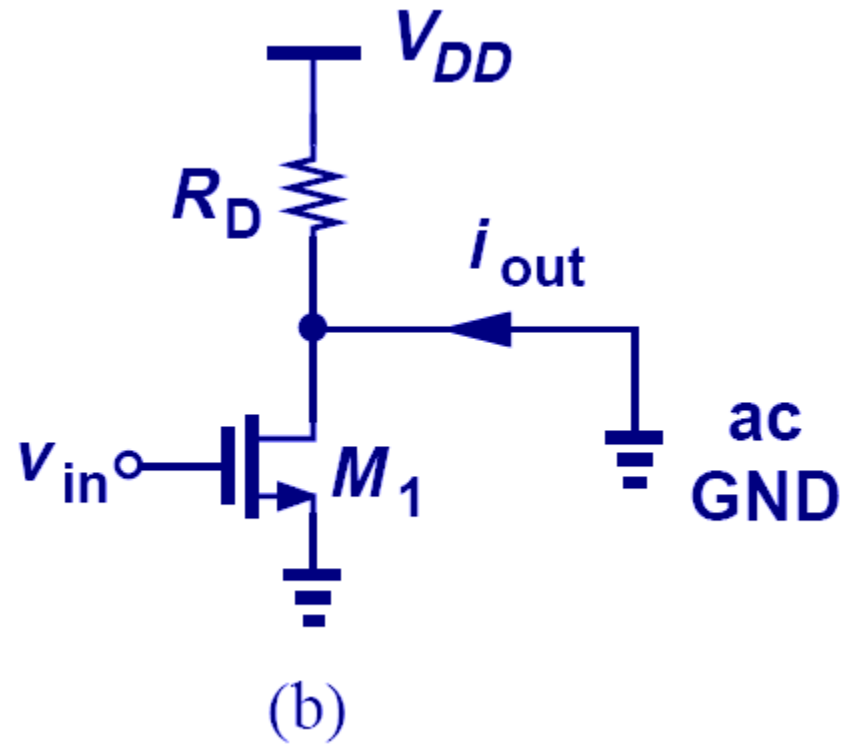
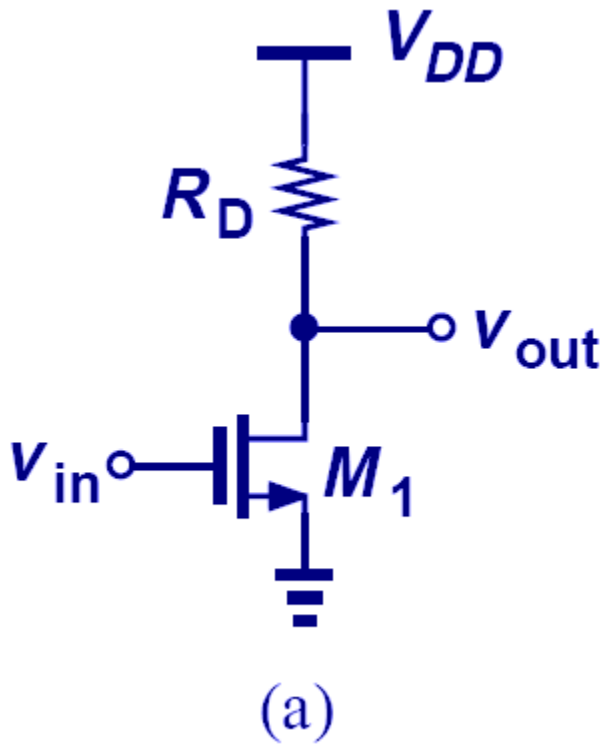
$$R_{out} = [1 + g_{m1}(r_{O1} \parallel R_P)]r_{O2} + (r_{O1} \parallel R_P)$$

## هدایت انتقالی در حالت اتصال کوتاه خروجی



$$G_m = \frac{i_{out}}{v_{in}} \Big|_{v_{out}=0}$$

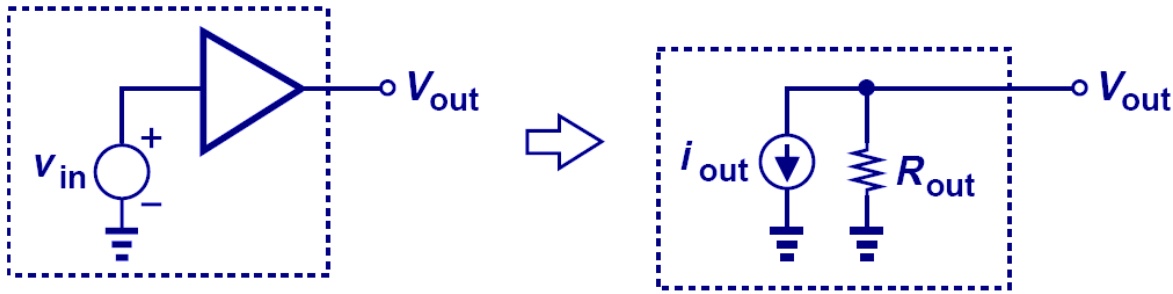
## مثالی از محاسبه $G_m$



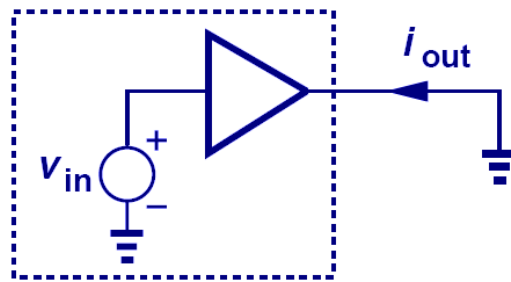
$$G_m = g_{m1}$$



## محاسبه بهره ولتاژ



(a)



(b)

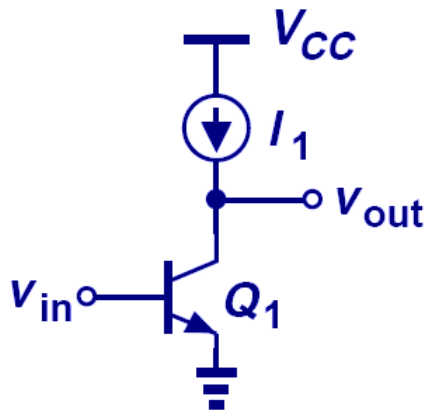
$$v_{out} = -i_{out} R_{out} = -G_m v_{in} R_{out}$$

$$v_{out} / v_{in} = -G_m R_{out}$$

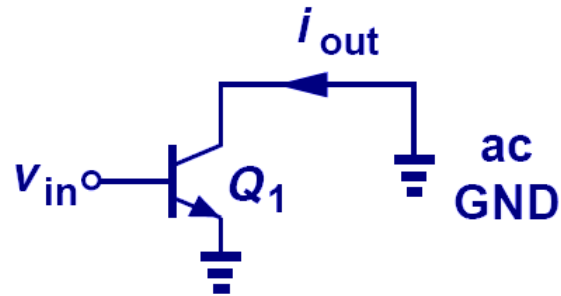
استخراج : Derivation

➤ با استفاده از مدار معادل نرتن تقویت کننده می توانیم یک رابطه مفید بین بهره ولتاژ، مقاومت خروجی و هدایت انتقالی تقویت کننده استخراج کنیم.

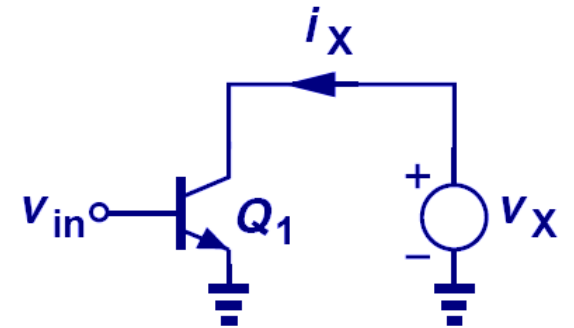
# مثال



(a)



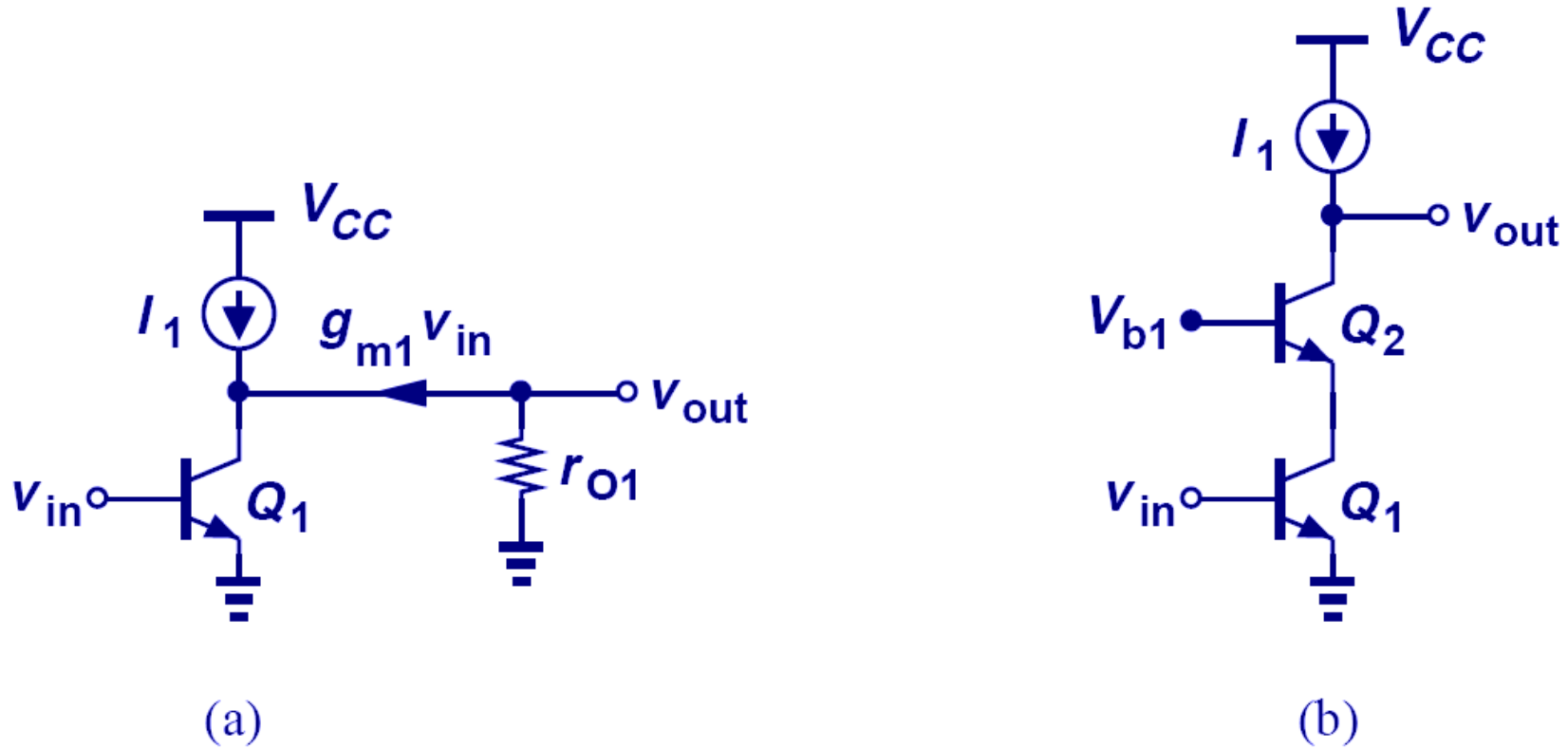
(b)



(c)

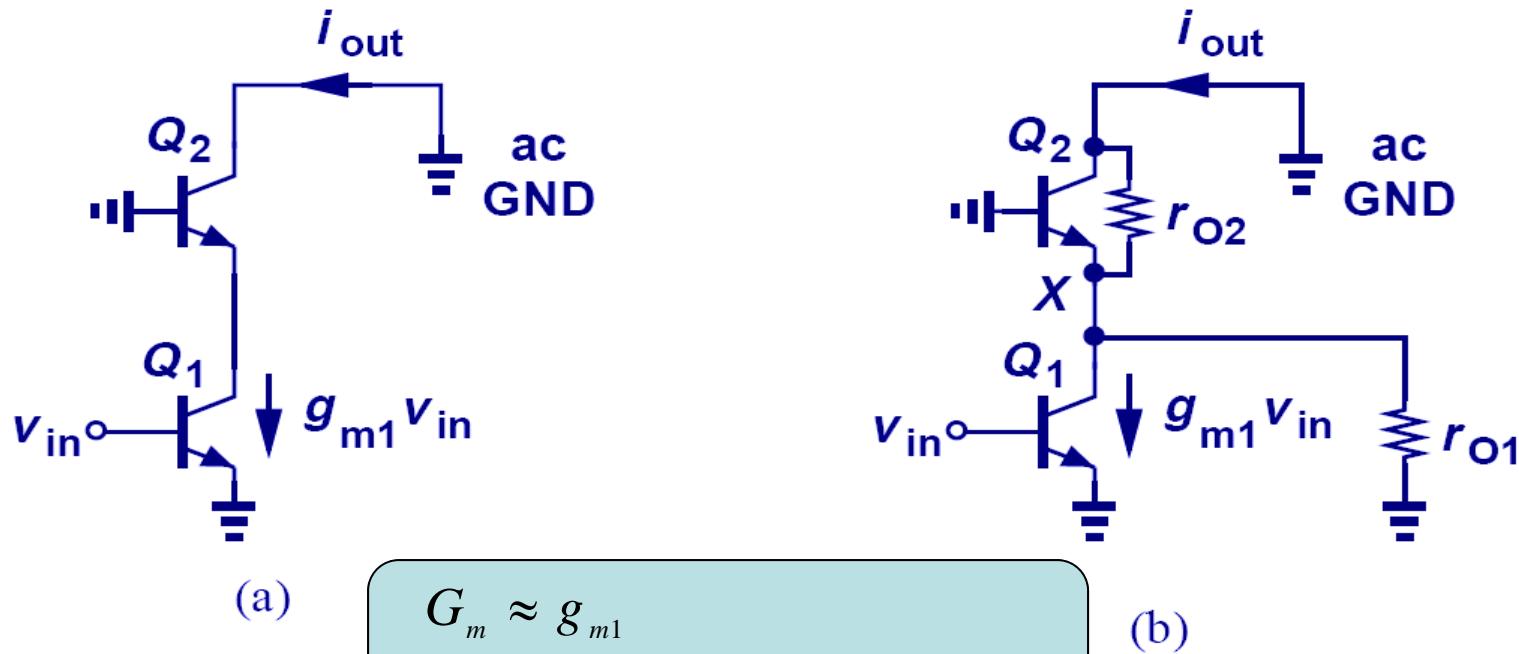
$$A_v = -g_{m1} r_{O1}$$

## مقایسه بین تقویت کننده امیتر مشترک و تقویت کننده کسکد



➤ با توجه به اینکه مقاومت خروجی طبقه کسکد به مراتب بیشتر از مقاومت خروجی تقویت کننده امیتر مشترک است. ما انتظار داریم تقویت کسکد بهره ولتاژ به مراتب بیشتری داشته باشد.

## محاسبه بهره ولتاژ تقویت کننده کسکد

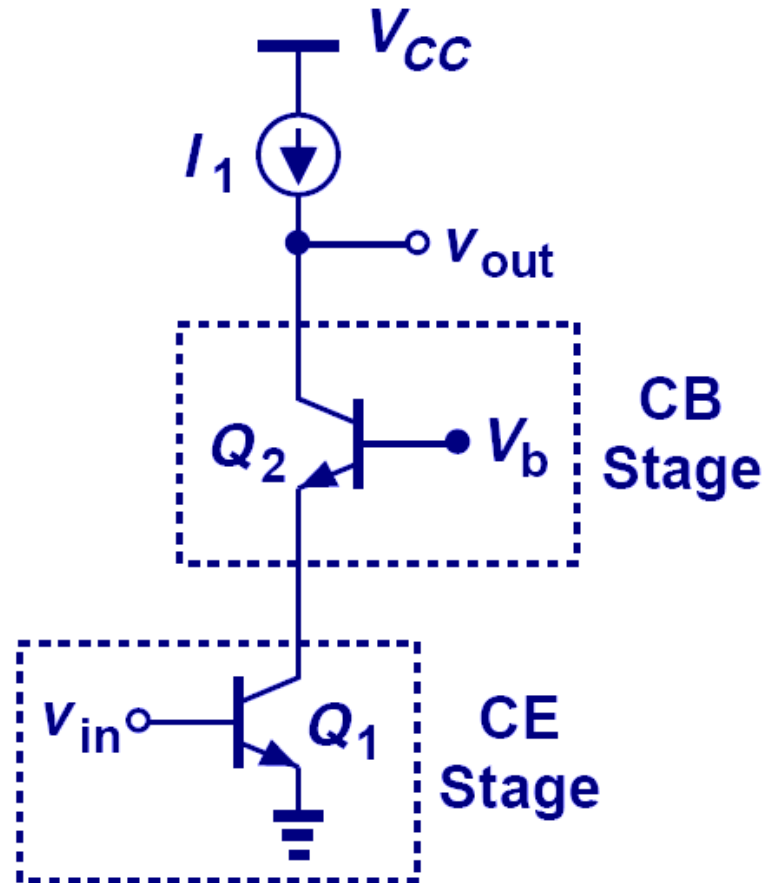


➤ نکته: در مدار فوق **Q2** به صورت یک ترانزیستور با اتصال دیودی است که امپدانس آن برابر است با:

$$r_{O2} \parallel \frac{1}{g_{m2}}$$

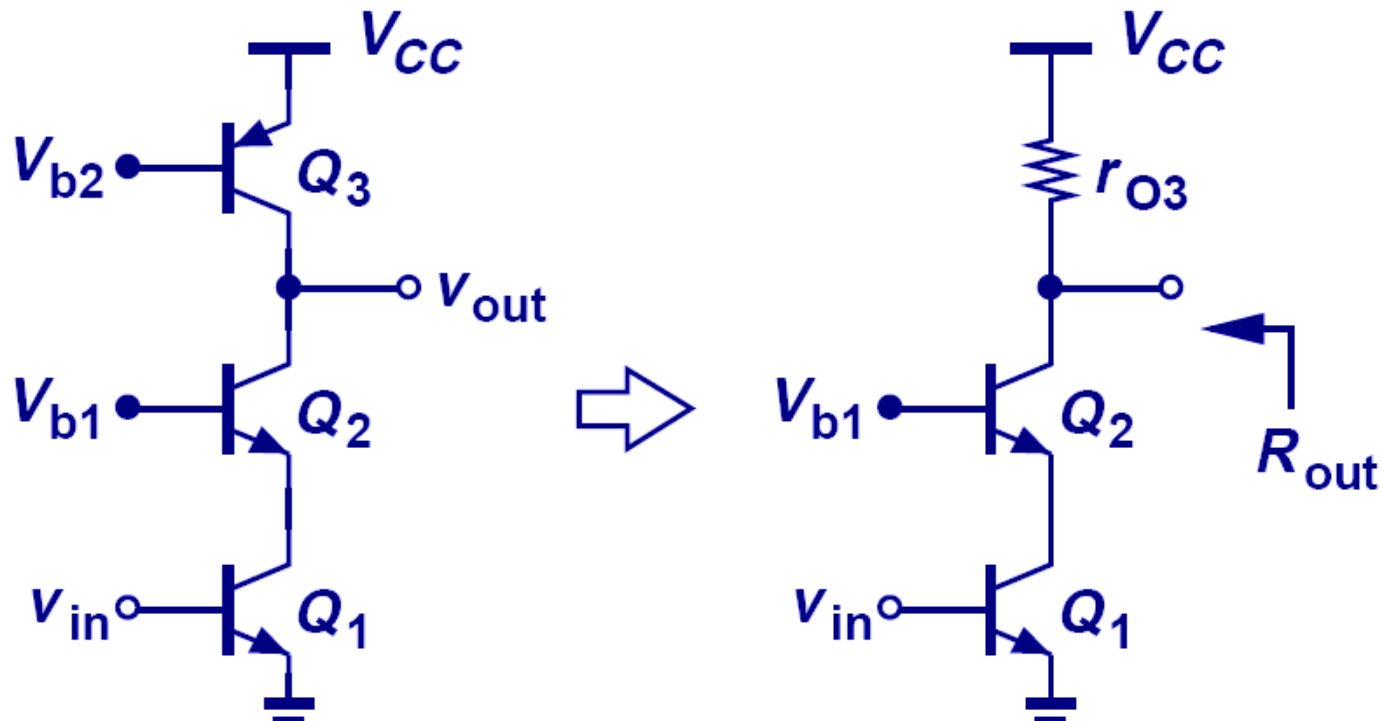
➤ جریان  $g_{m1} V_{in}$  بین  $r_{O1}$  و دیود مذکور تقسیم می شود که تقریباً تمام آن از دیود ترانزیستوری عبور می کند.

## نگرشی دیگر در مورد تقویت کننده کسکد



➤ یک تقویت کننده کسکد عملاً از دو طبقه امیتر مشترک و بیس مشترک تشکیل شده است که پشت سر هم بسته شده اند.

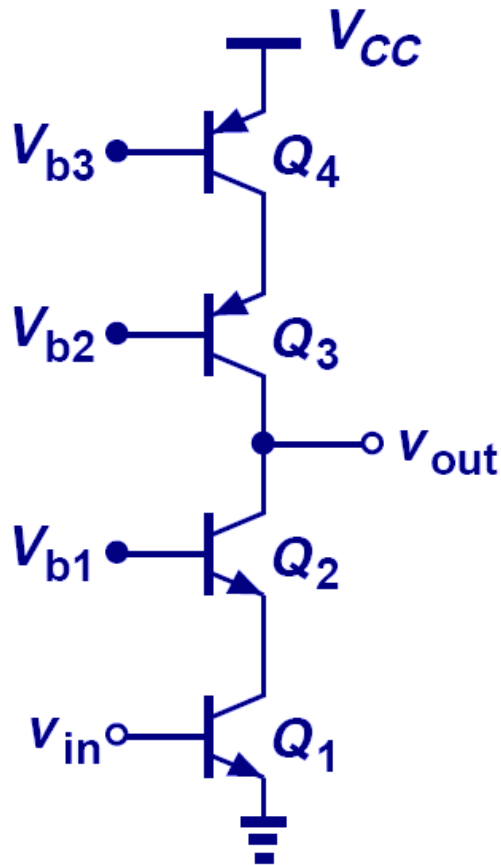
## پیاده سازی منبع جریان در تقویت کننده کسکد



$$R_{out} \approx r_{O3} \parallel [g_{m2} r_{O2} (r_{O1} \parallel r_{\pi 2})]$$

➤ ترانزیستور Q3 نقش منبع جریان را ایفا می کند. مشاهده می شود که در مدار فوق، مقاومت خروجی به شدت افت کرده است.

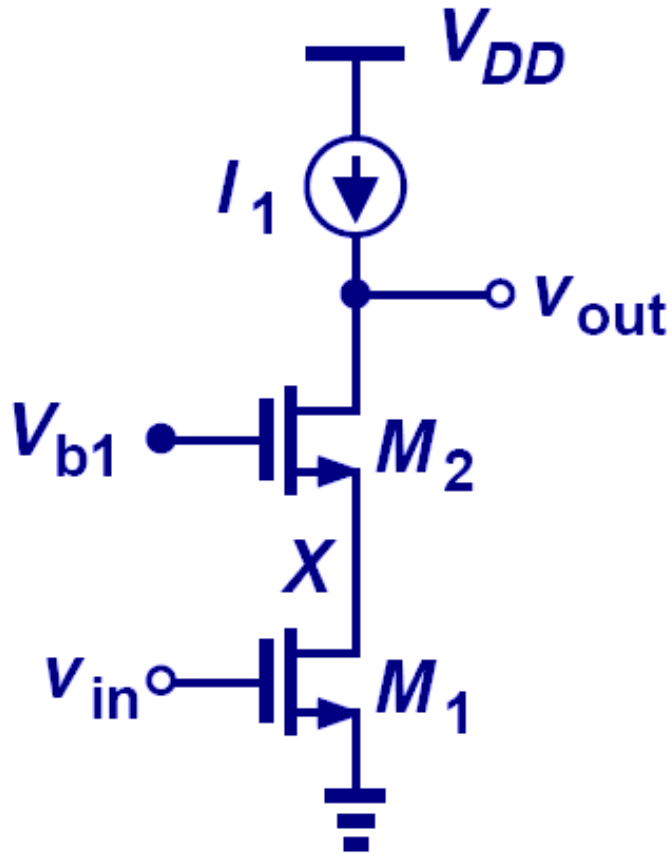
## بهبود مدار قبلی



$$R_{out} \approx g_{m3} r_{O3} (r_{O4} \parallel r_{\pi3}) \parallel g_{m2} r_{O2} (r_{O1} \parallel r_{\pi2})$$

➤ به منظور جلوگیری از کاهش امپدانس خروجی، منبع جریان را با کسکد کردن ترانزیستور های Q3 و Q4 پیاده سازی کرده ایم.

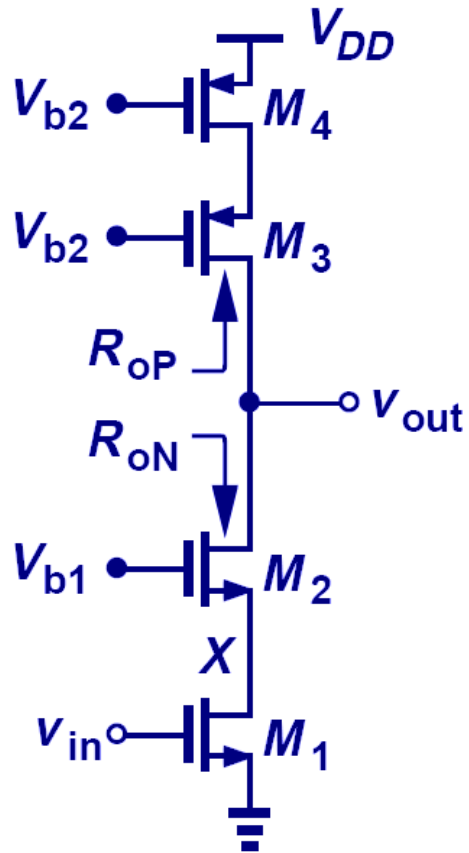
## تقویت کننده کسکد با استفاده از ماسفت



$$A_v = -G_m R_{out}$$
$$A_v \approx -g_{m1} [(1 + g_{m2} r_{O2}) r_{O1} + r_{O2}]$$
$$A_v \approx -g_{m1} r_{O1} g_{m2} r_{O2}$$



## پیاده سازی منبع جریان در تقویت کننده کسکد

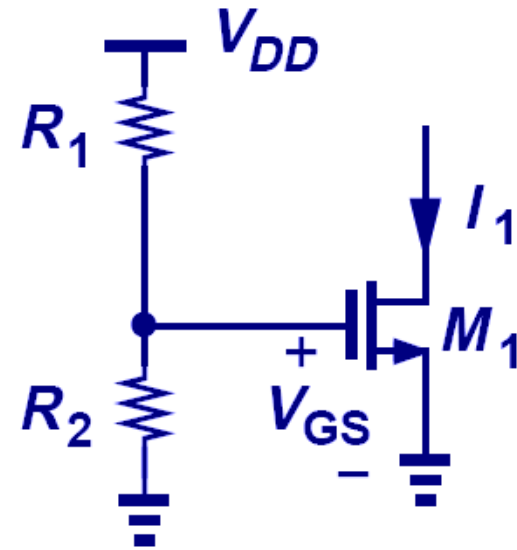
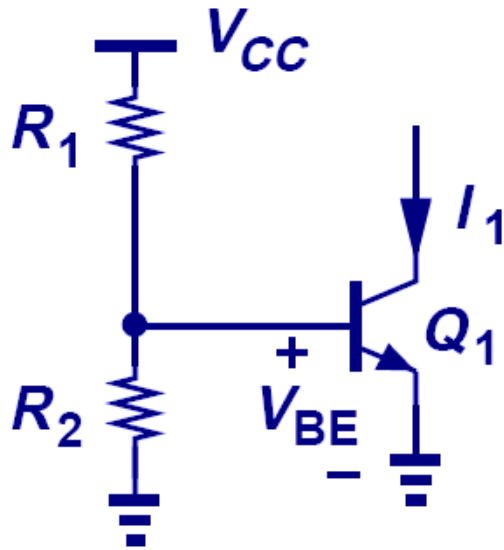


$$R_{on} \approx g_{m2} r_{O2} r_{O1}$$

$$R_{op} \approx g_{m3} r_{O3} r_{O4}$$

$$R_{out} = R_{on} \parallel R_{op}$$

## وابستگی جریان بایاس به دما و ولتاژ تغذیه مدار

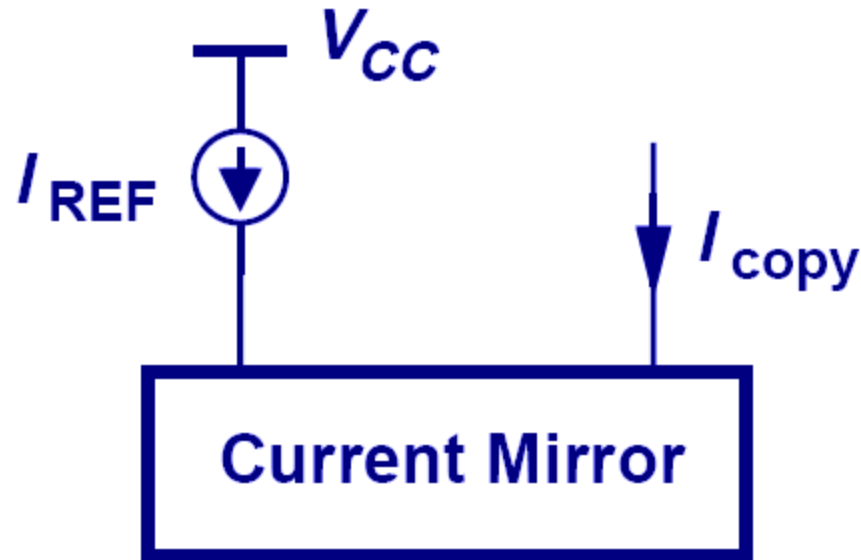


Assuming  $V_{CC} / (R_1 + R_2) \gg I_B \rightarrow R_2 V_{CC} / (R_1 + R_2) = V_T \ln(I_1 / I_S)$

$$I_1 = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} \left( \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{DD} - V_{TH} \right)^2$$

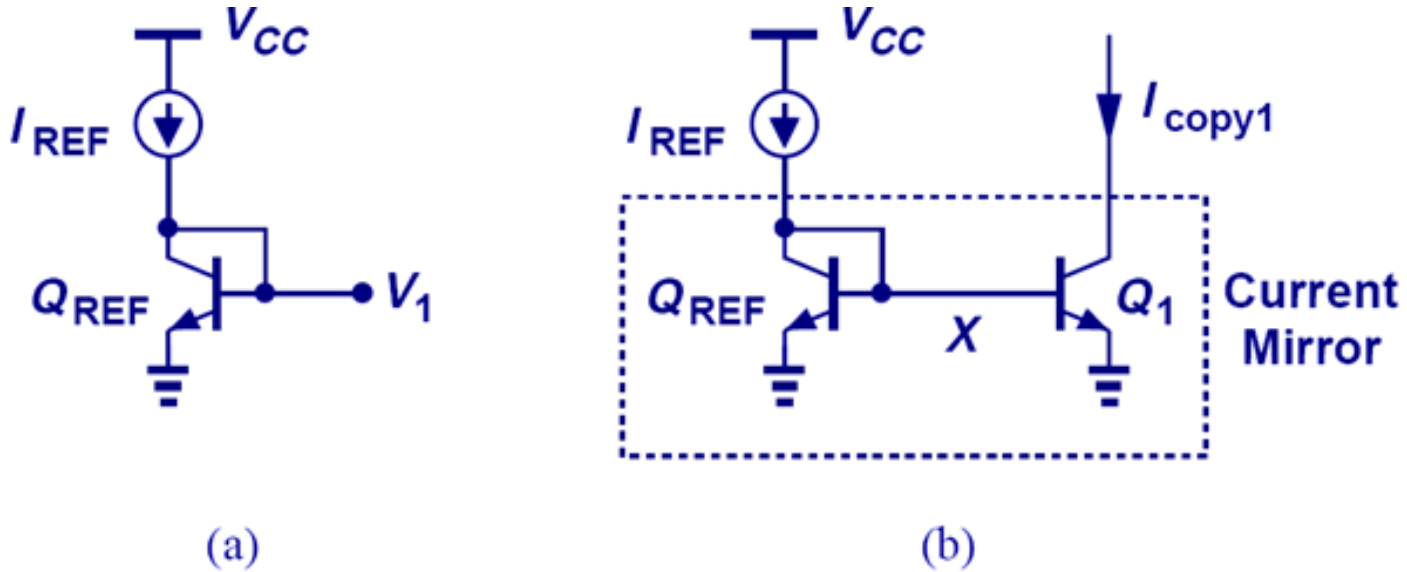
چون  $V_T$ ,  $I_S$ ,  $\mu_n$ ,  $V_{TH}$  به دما وابسته هستند، لذا هم در ترانزیستور دوقطبی و هم ماسفت جریان  $I_1$  به دما و ولتاژ تغذیه وابستگی خواهد داشت. ➤

## فلسفه استفاده از آینه های جریان



- در عمل یک منبع جریان مرجع (منبع جریان طلایی) که مقدار آن مستقل از دما و ولتاژ تغذیه است ایجاد می کنند و به وسیله آینه های جریان به هر تعداد که نیاز باشد از روی این منبع جریان مرجع کپی می کنند.
- مدار داخلی و جزئیات منبع جریان مرجع از حوصله درس خارج است.

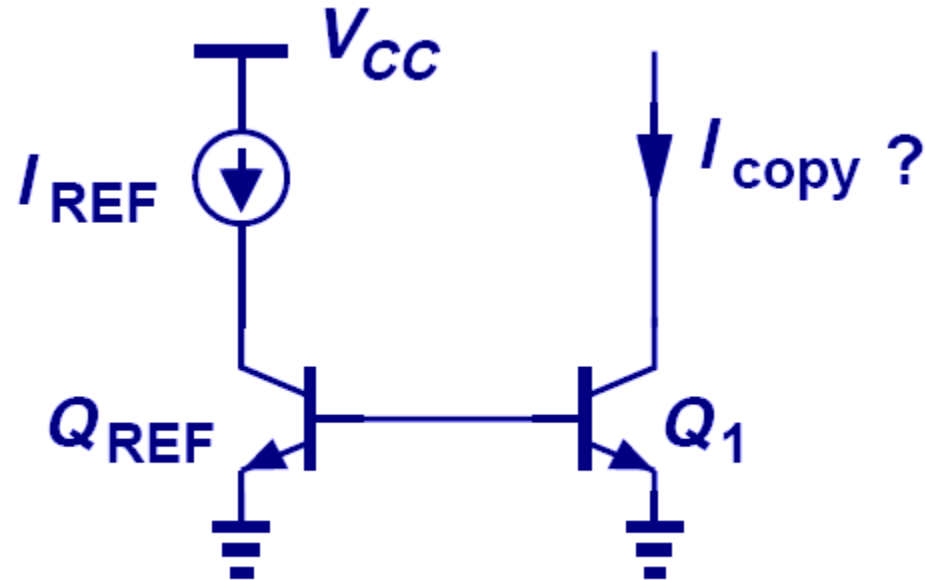
## آینه جریان



$$\text{if } \beta = \infty \Rightarrow I_{copy} = \frac{I_{S1}}{I_{S,REF}} I_{REF}$$

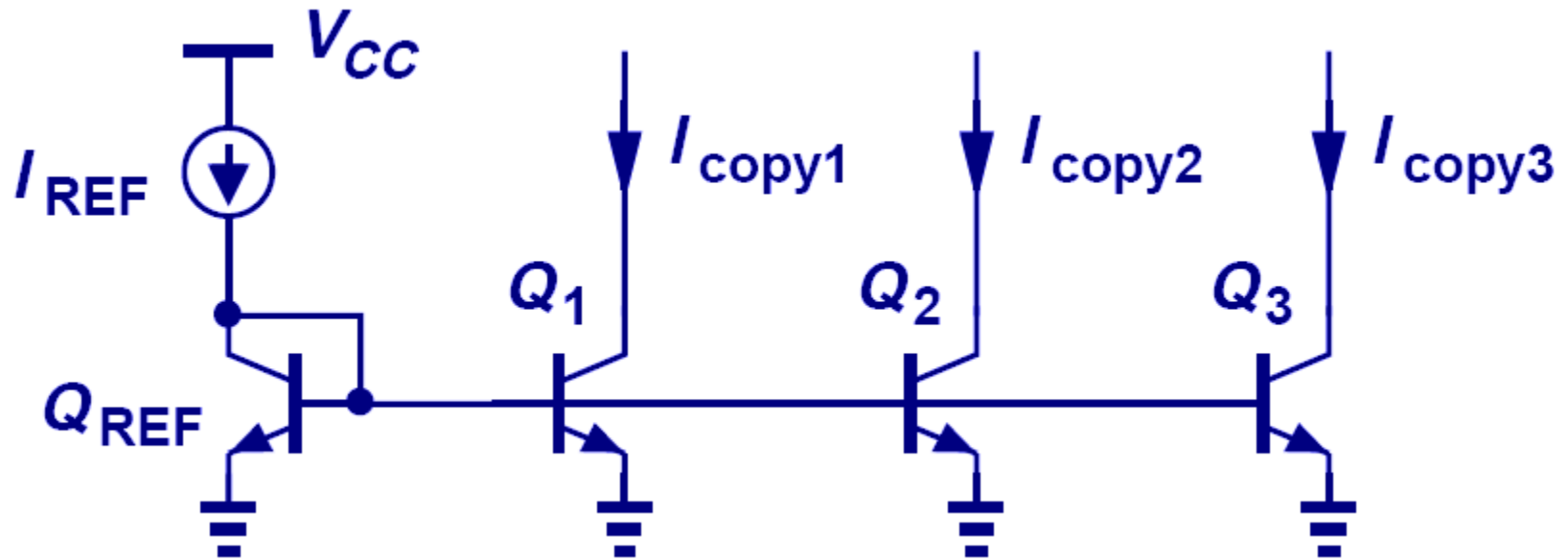
➤ عبور جریان از ترانزیستور با اتصال دیودی  $Q_{REF}$  ولتاژ  $V_1$  را فراهم می کند. این ولتاژ برای بایاس ترانزیستور  $Q_1$  استفاده می شود.

## تحقق نادرست آینه جریان



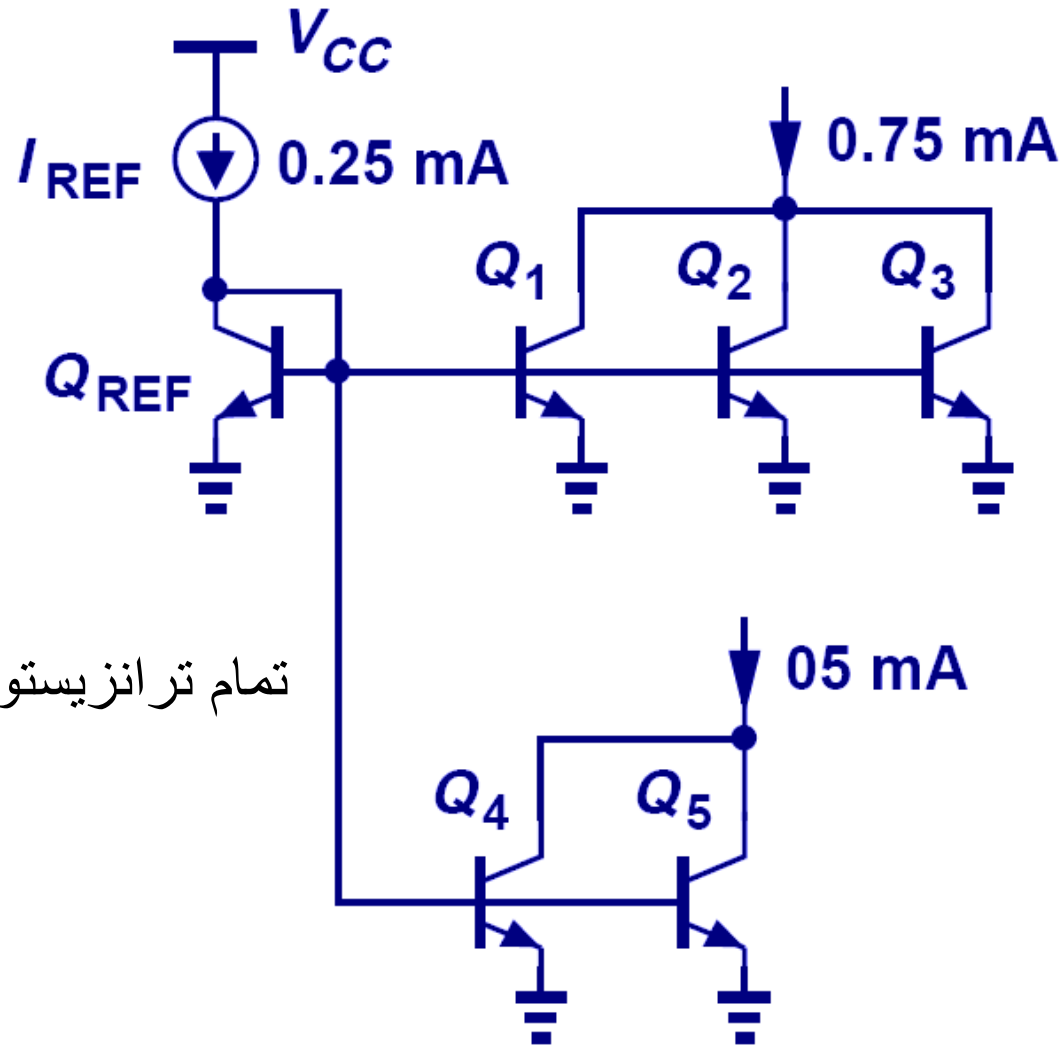
چون هیچ مسیری برای تامین جریان بیس ترانزیستورها موجود نیست، لذا جریان بیس برابر با صفر است و به تبع آن داریم:  $I_{copy}=0$  ➤

## چندین کپی از $I_{REF}$



$$\text{if } \beta = \infty \Rightarrow I_{copy,j} = \frac{I_{S,j}}{I_{S,REF}} I_{REF}$$

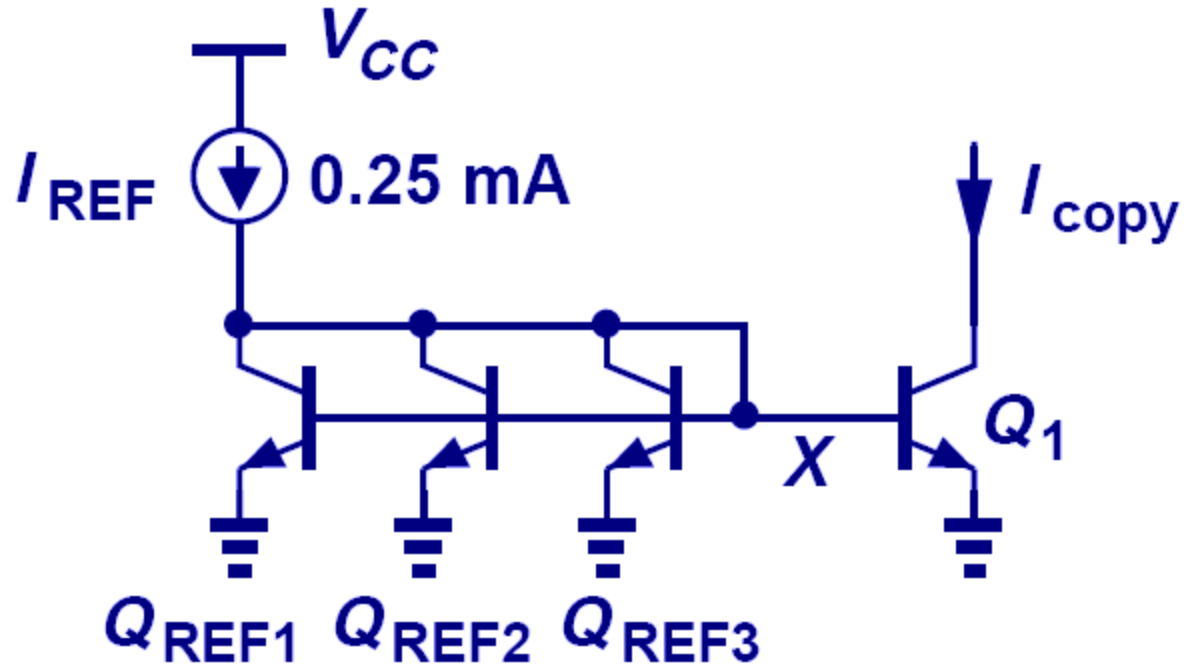
# مثال



$$\beta = \infty$$

تمام ترانزیستورها مشابه هستند.

## مثال



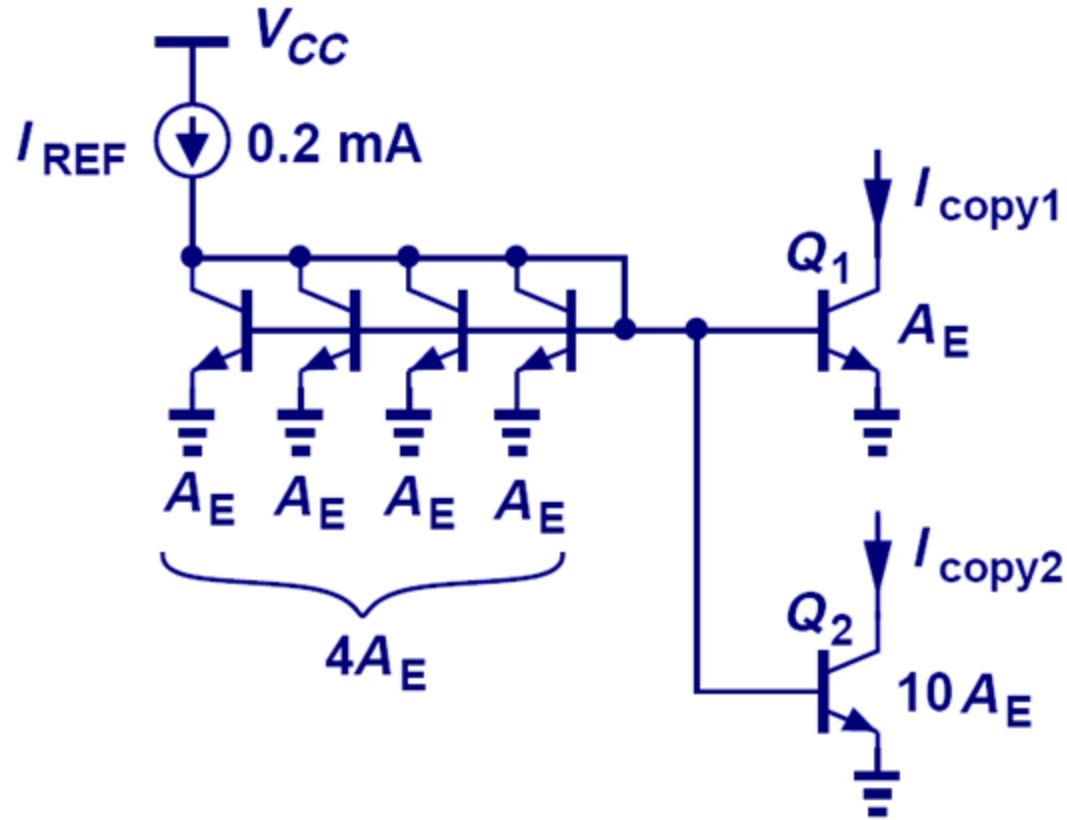
$$\beta = \infty$$

تمام ترانزیستورها مشابه هستند.

$$I_{copy} = \frac{1}{3} I_{REF}$$



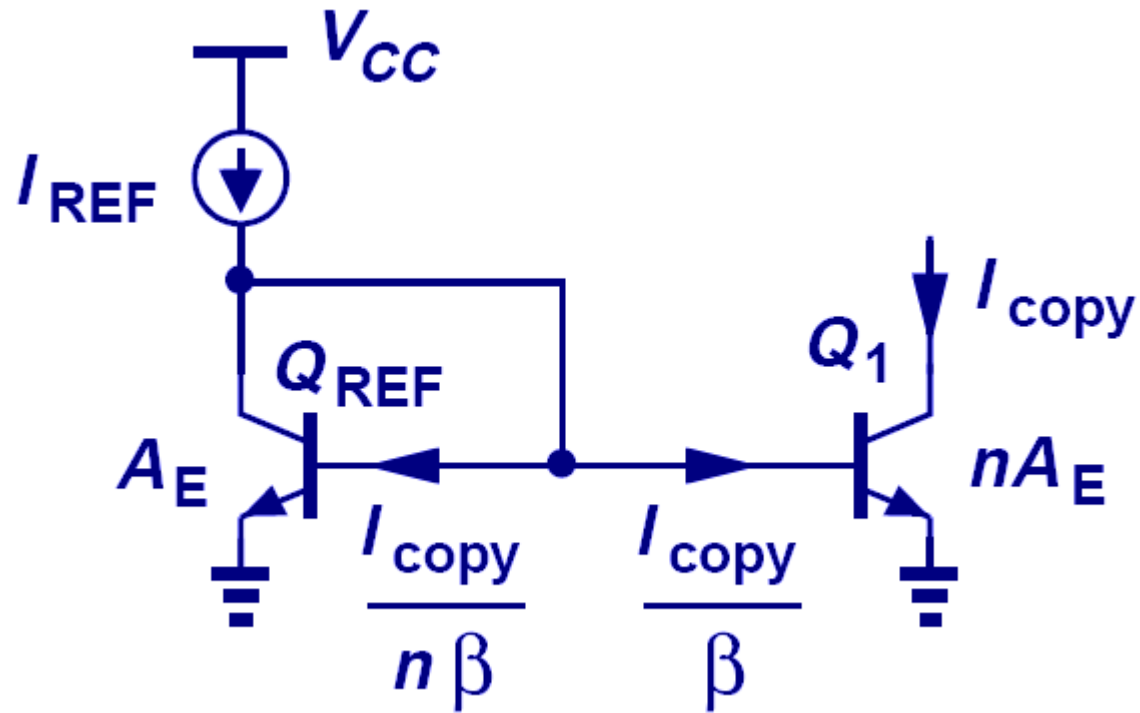
# مثال



$$\beta = \infty$$

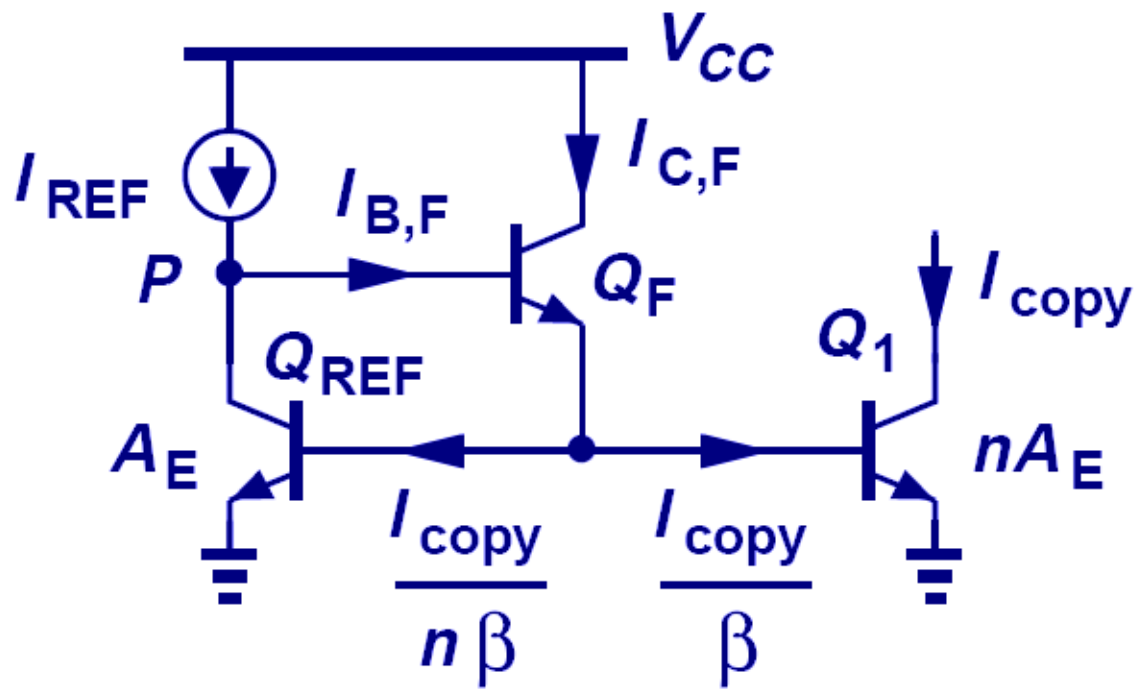
- $I_{\text{copy1}} = 0.05\text{mA}$
- $I_{\text{copy2}} = 0.5\text{mA}$

## اثر جریان بیس در آینه جریان



$$I_{copy} = \frac{nI_{REF}}{1 + \frac{1}{\beta}(n+1)}$$

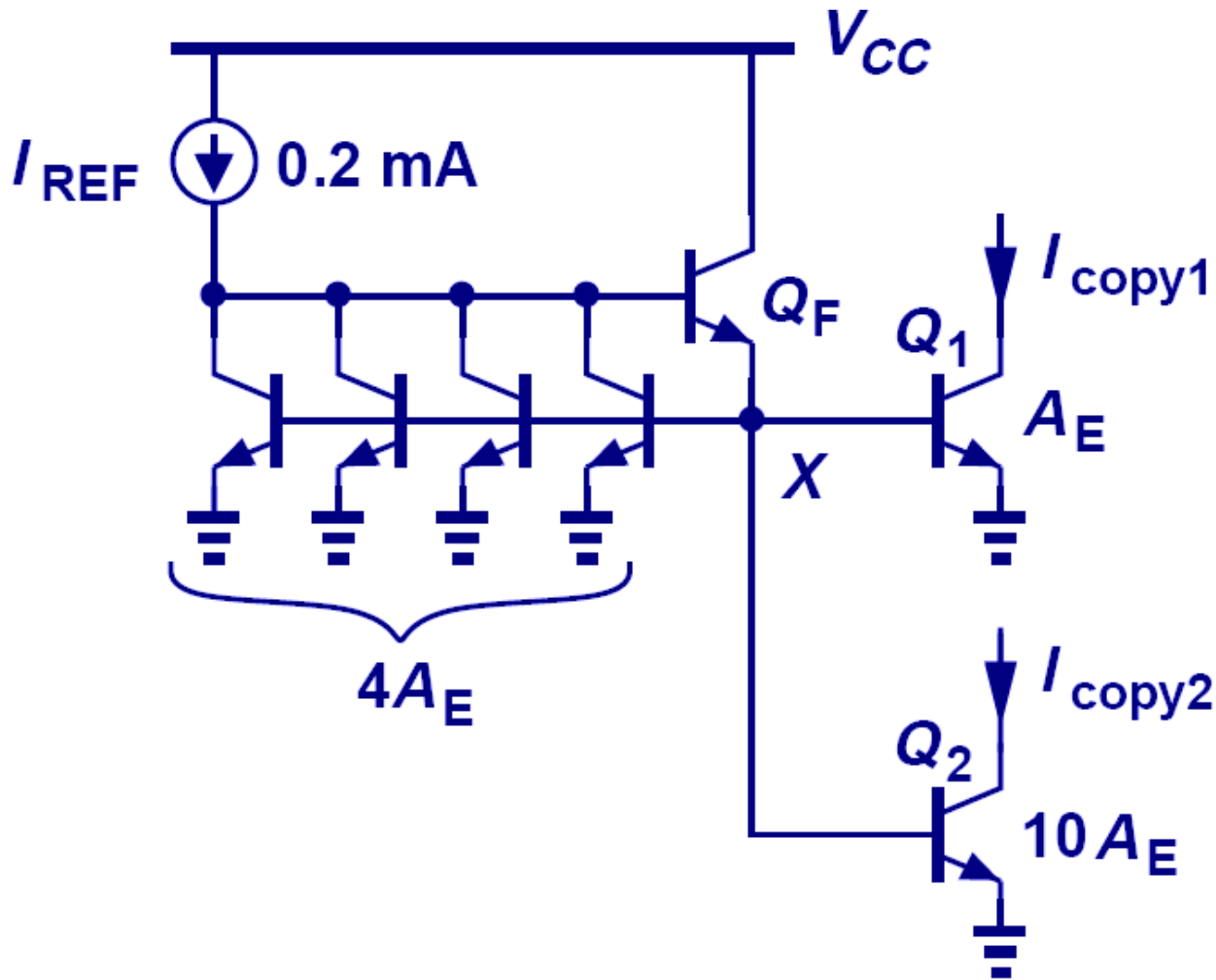
## بهبود مدار قبل



$$I_{copy} = \frac{nI_{REF}}{1 + \frac{1}{\beta^2}(n+1)}$$

## مثال

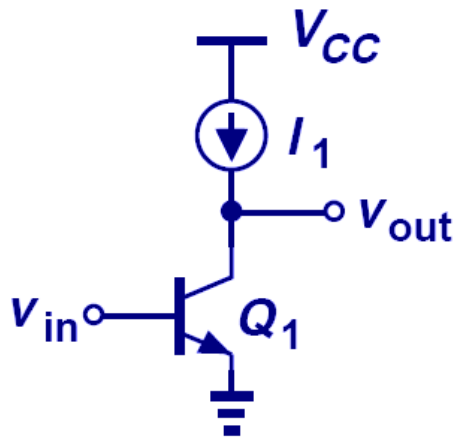
ترانزیستورها دارای بتای یکسان و محدود هستند.



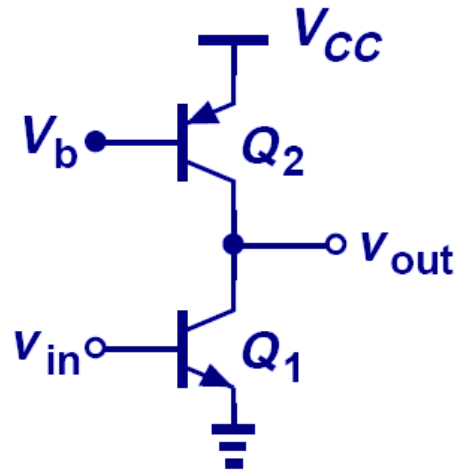
$$I_{copy1} = \frac{I_{REF}}{4 + \frac{15}{\beta^2}}$$

$$I_{copy2} = \frac{10I_{REF}}{4 + \frac{15}{\beta^2}}$$

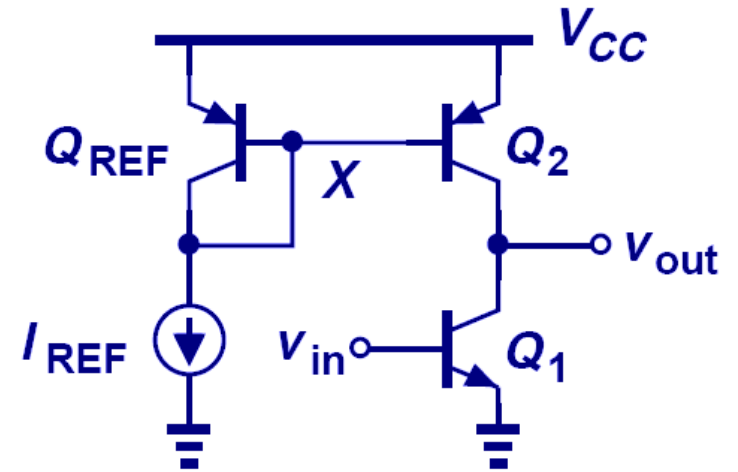
## آینه جریان PNP



(a)



(b)

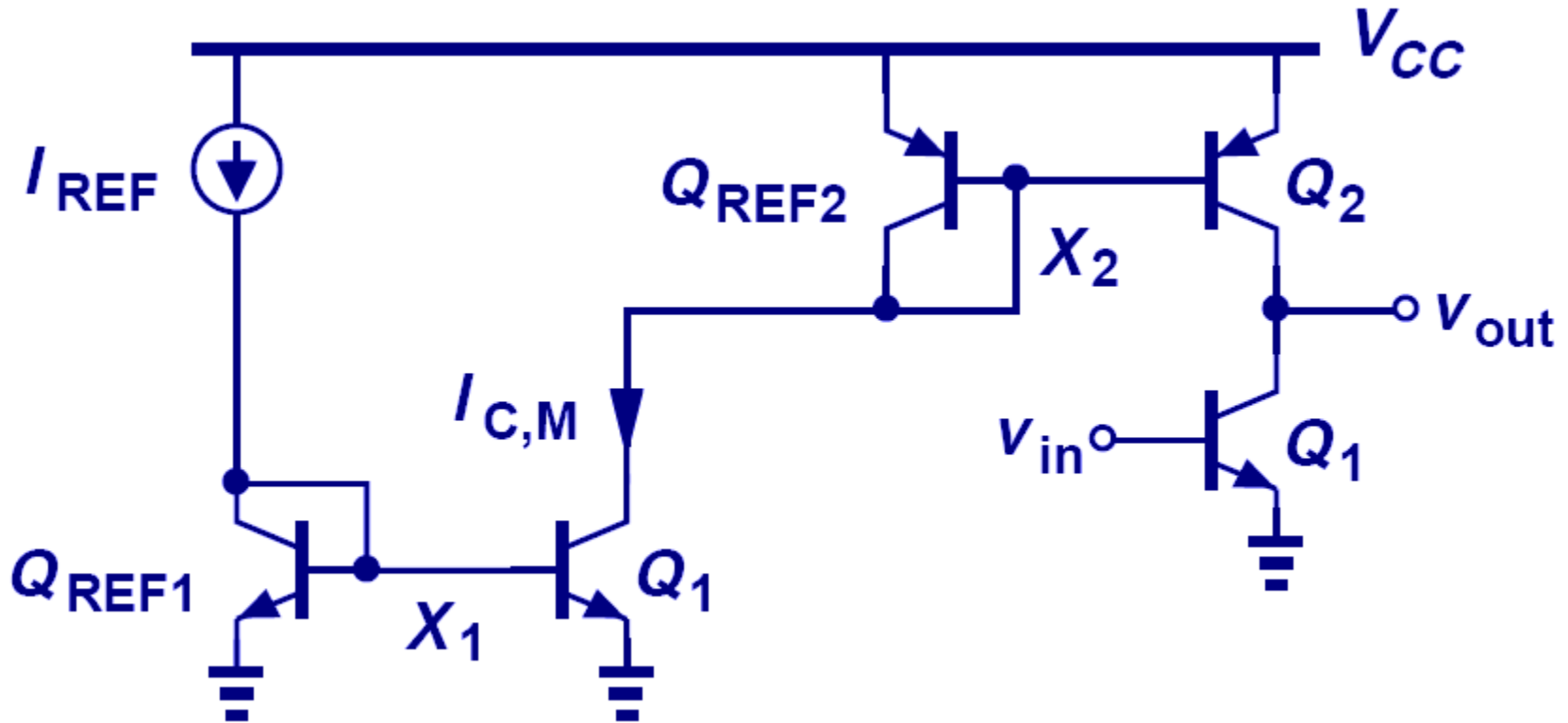


(c)

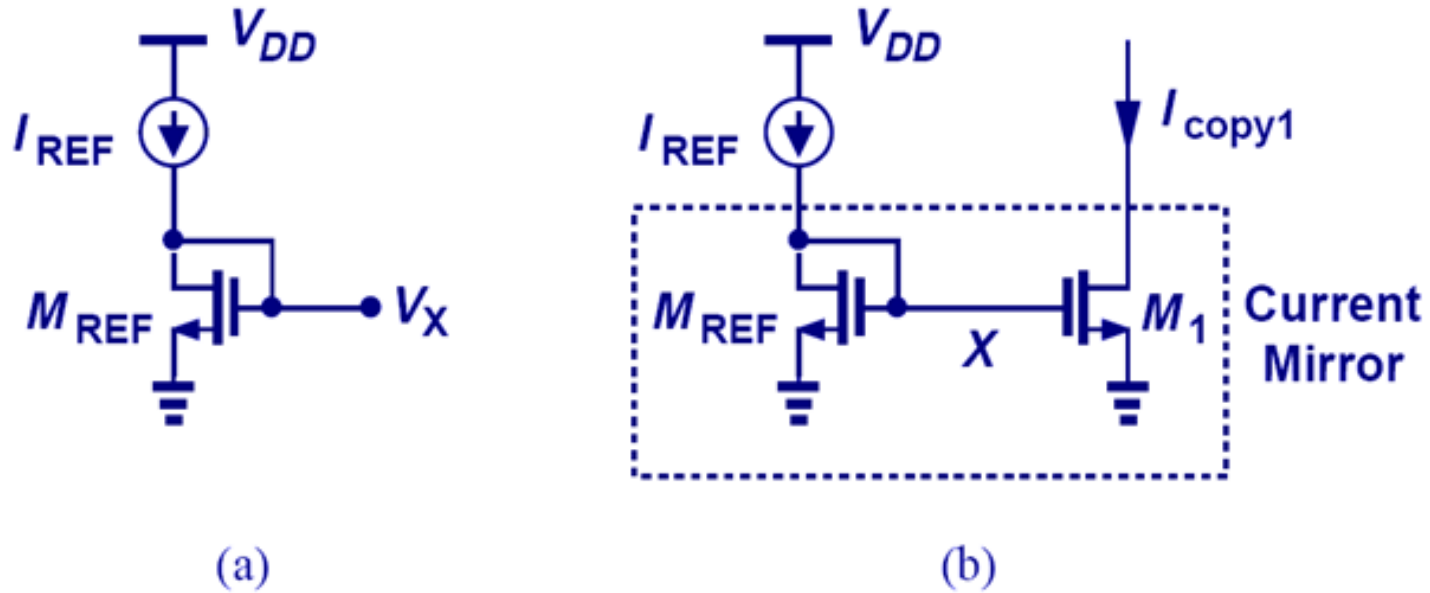
➤ معمولاً آینه های جریان PNP به عنوان بار تقویت کننده های NPN مورد استفاده قرار می گیرند.

➤ نحوه تولید  $I_{REF}$  در مدار فوق در اسلاید بعد بیان شده است.

ادامه اسلاید قبل

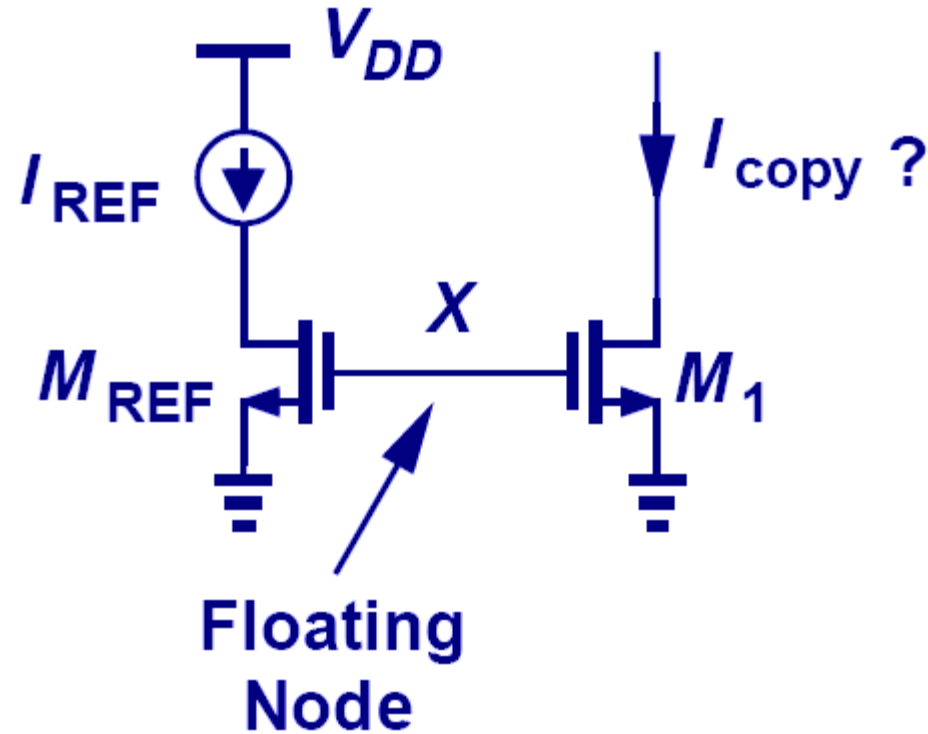


## آینه جریان با استفاده از ماسفت



➤ همان مفاهیمی که در مورد آینه جریان با استفاده از ترانزیستور دوقطبی بیان شد، در اینجا نیز معتبر است.

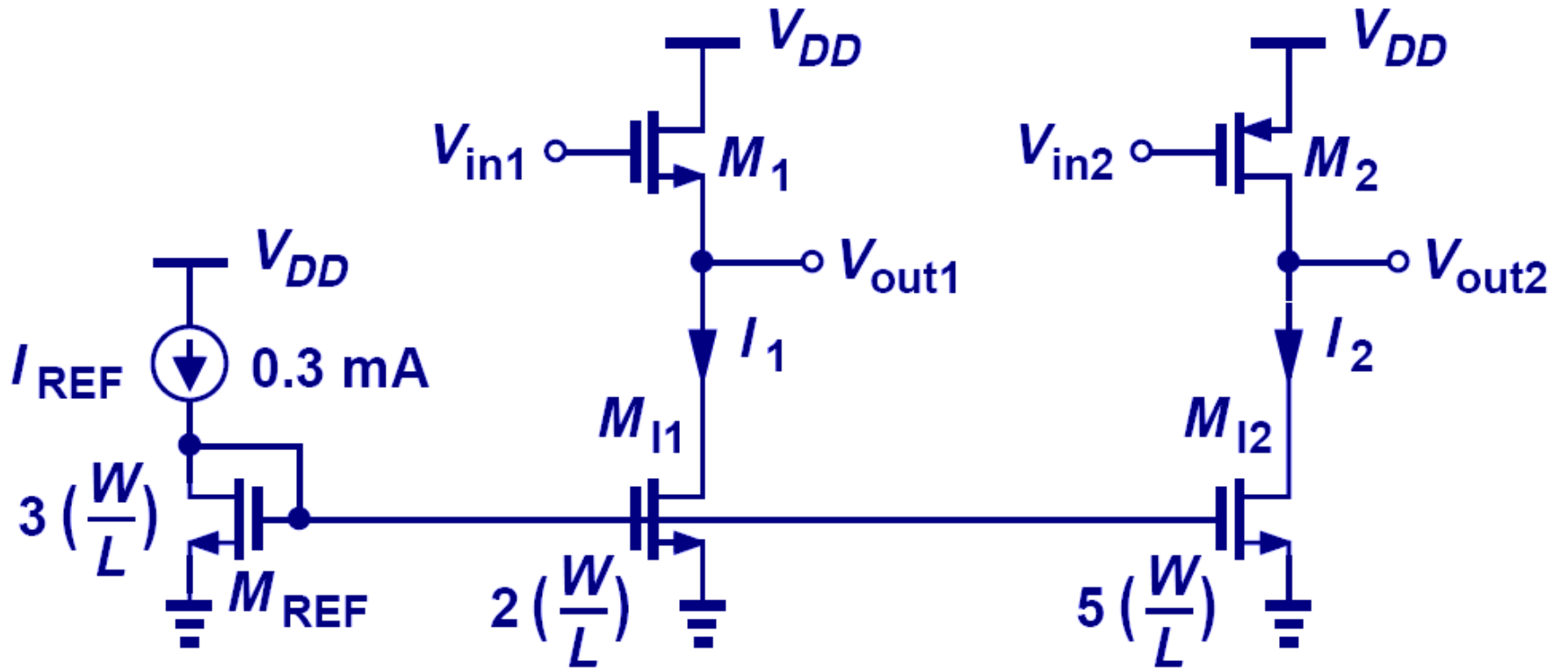
## تحقق نادرست آینه جریان



➤ ایراد مدار بالا این است که گره  $V_X$  معلق و ولتاژ آن نامعلوم می باشد.



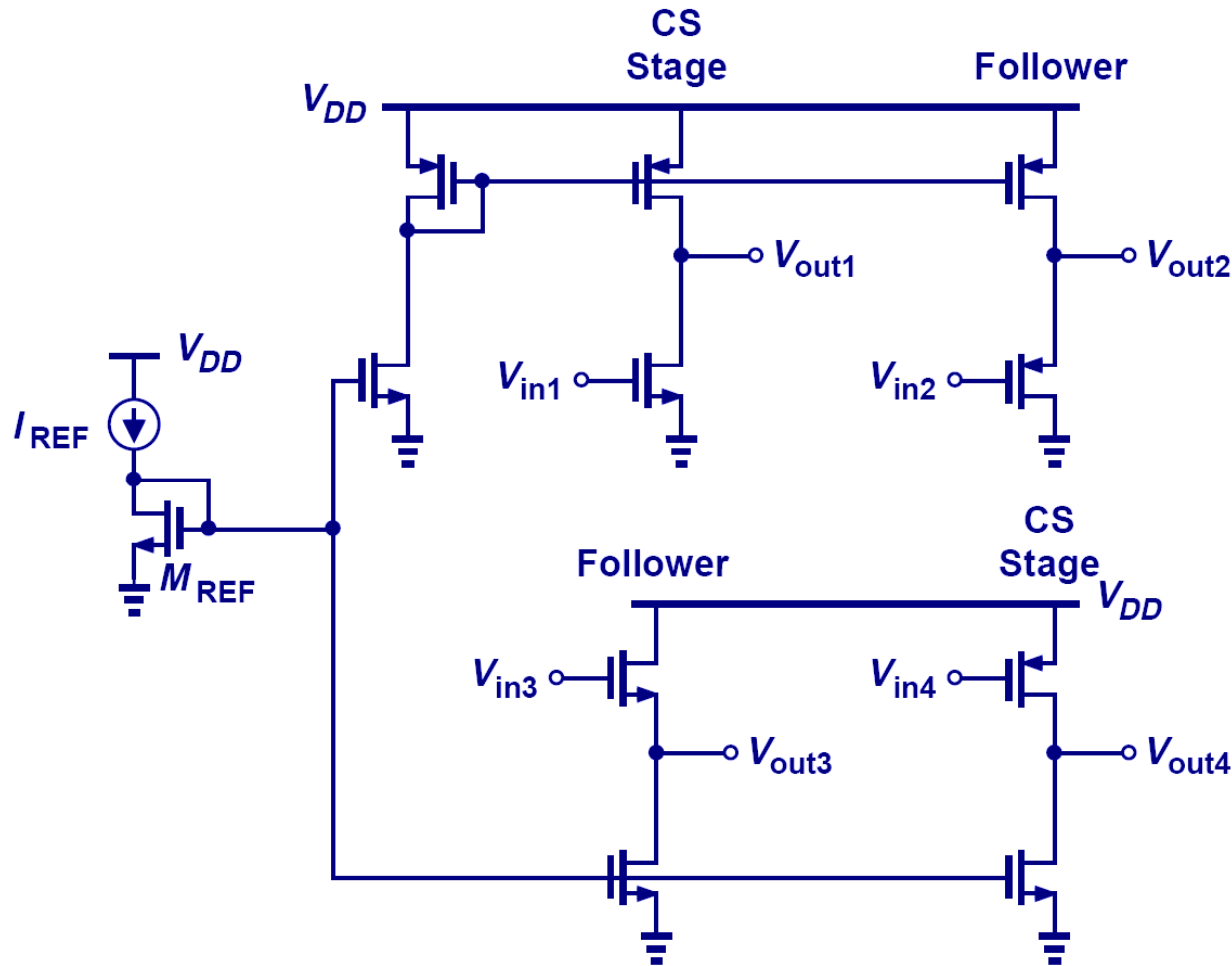
## مثال



➤  $I_1 = 0.2 \text{ mA}$

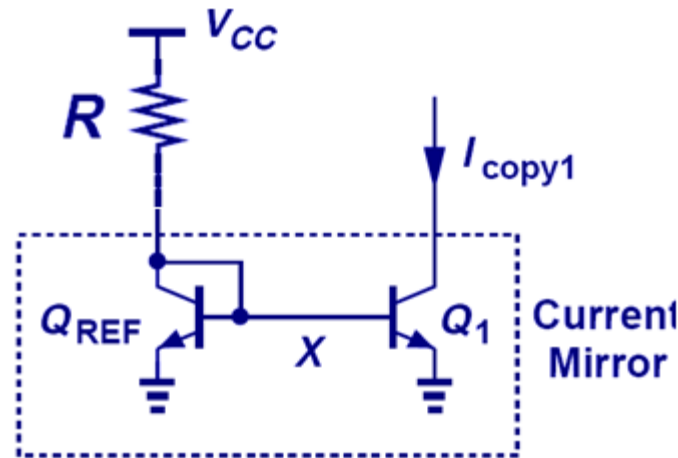
➤  $I_2 = 0.5 \text{ mA}$

## آینه جریان CMOS



➤ در مدار بالا نشان داده ایم که چگونه می توان از یک منبع جریان مرجع (طلایی) کپی کرد و منابع جریان NMOS و PMOS را ایجاد کرد.

استفاده از مقاومت خارج از تراشه به جای منبع جریان مرجع



$$\text{if } \beta = \infty \Rightarrow I_{copy} = \frac{I_{S1}}{I_{S,REF}} \times \frac{(V_{CC} - 0.7)}{R}$$

$$\text{if } \beta = \text{finite} \Rightarrow I_{copy} = \frac{I_{S1}}{I_{S,REF}} \times \frac{(V_{CC} - 0.7)}{R} \times \frac{1}{1 + \frac{1}{\beta} \left( 1 + \frac{I_{S1}}{I_{S,REF}} \right)}$$

➤ به دلیل اینکه مقاومت های داخل تراشه به شدت با دما تغییر می کنند، لذا مقاومت R حتما بایستی از نوع off-chip باشد.