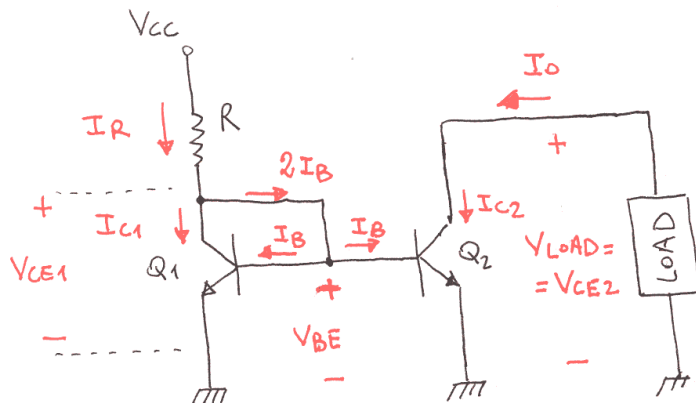


Specchio di corrente con BJT

1/5



IPOTESI

- Q_1 e Q_2 identici
- Si trascura l'effetto Early ($V_A \rightarrow \infty$)
- Q_1 e Q_2 in z. attiva
(Q_1 sicuro: $V_{BC1} = 0$)

$$I_R = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R} = I_{C1} + 2I_{B1} = I_{C1} + 2 \frac{I_{C1}}{\beta_F} = \left(1 + \frac{2}{\beta_F}\right) I_{C1}$$

$$= \frac{\beta_F + 2}{\beta_F} I_{C1}$$

essendo $I_{C1} = I_{S1} e^{V_{BE}/V_T}$ e $I_{C2} = I_{S2} e^{V_{BE}/V_T} = I_O$

con $I_{S1} = I_{S2}$ si ha: $I_{C1} = I_{C2} = I_O$

$$I_O = \frac{\beta_F}{\beta_F + 2} I_R = \frac{\beta_F}{\beta_F + 2} \cdot \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R}$$

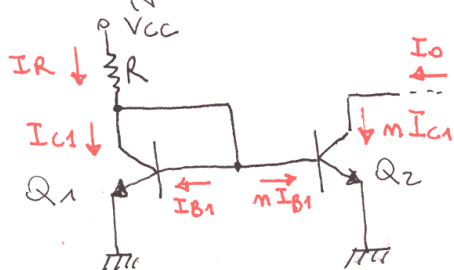
(I_O indipendente da LOAD quindi generatore di corrente)

se $\beta_F \rightarrow \infty$ $I_O = I_R$ (I_O specchia I_R)

È possibile realizzare specchi di corrente con I_O che è multiplo o sottomultiplo di I_R . considerando che

$$I_S = q A D_n \frac{n_{B0}}{W_B}$$

è proporzionale all'area A della giunzione. Detto $m = \frac{A_2}{A_1}$ il rapporto tra le aree di giunzione di Q_2 e Q_1 si ha $I_{B2} = m I_{B1}$ e $I_{C2} = m I_{C1}$



$$I_R = I_{C1} + (m+1)I_{B1} = \left(1 + \frac{m+1}{\beta_F}\right) I_{C1}$$

$$I_O = m I_{C1}$$

$$I_O = \frac{m}{1 + \frac{1+m}{\beta_F}} I_R$$

se $\beta_F \gg 1+m$

$$I_O \approx m I_R$$

2/5

Considerando l'effetto Early (V_A finito) con Q_1 e Q_2 identici $I_{S2} = m I_{S1}$, $\beta_{F1} = \beta_{F2} = \beta_F$ e rapporto tra le aree di emettitore $m = A_2/A_1$, si ottiene:

$$I_R = I_{C1} + (m+1)I_B = \left(1 + \frac{m+1}{\beta_F}\right) I_{C1} = \left(1 + \frac{m+1}{\beta_F}\right) I_{S1} e^{V_{BE}/V_T} \left(1 + \frac{V_{BE}}{V_A}\right)$$

$$I_O = I_{C2} = m I_{S1} e^{V_{BE}/V_T} \left(1 + \frac{V_{CE2}}{V_A}\right)$$

$$\frac{I_O}{I_R} = m \frac{1 + \frac{V_{CE2}}{V_A}}{1 + \frac{V_{BE}}{V_A} + \frac{m+1}{\beta_F} \left(1 + \frac{V_{BE}}{V_A}\right)}$$

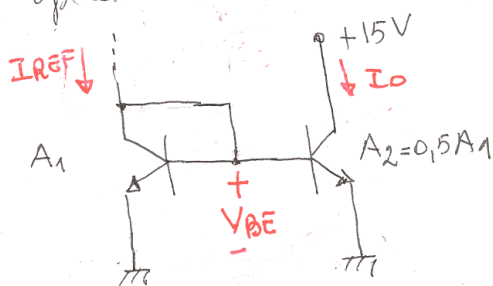
posto $\beta_{Fo} = \frac{\beta_F}{1 + \frac{V_{BE}}{V_A}}$

si ha

$$I_O = \frac{1 + \frac{V_{CE2}}{V_A}}{1 + \frac{V_{BE}}{V_A} + \frac{m+1}{\beta_{Fo}}} m I_R$$

specchio di corrente può essere utilizzato per polarizzare un BJT (circuiti integrati)

Esempio: calcolare il rapporto di riflessione per lo specchio di corrente di figura:



a) $V_A = \infty$ $\beta_{Fo} = \infty$

$$\frac{I_O}{I_R} = m = \frac{0.5 A_1}{A_1} = 0.5$$

b) $V_A = \infty$ $\beta_{Fo} = 75$

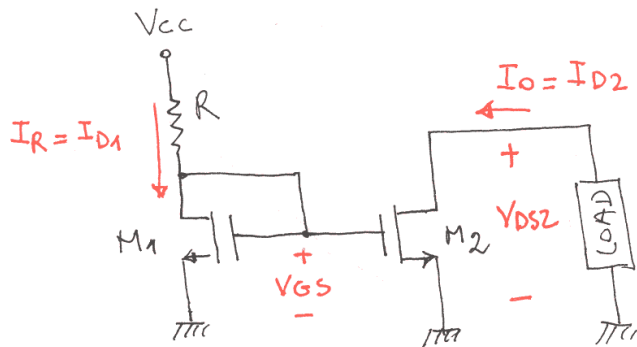
$$\frac{I_O}{I_R} = \frac{m}{1 + \frac{1+m}{\beta_{Fo}}} = \frac{0.5}{1 + \frac{1+0.5}{75}} = 0.490$$

c) $V_A = 60$ $\beta_{Fo} = 75$

$$\frac{I_O}{I_R} = \frac{1 + \frac{15}{60}}{1 + \frac{0.7}{60} + \frac{0.5+1}{75}} \approx 0.606$$

Specchio di corrente con MOS

3/5



IPOTESI

- M₁ e M₂ identici
- trascurata la modulazione di canale ($\lambda = 0$)
- M₁ ed M₂ saturati
(M₁ sicuro: $V_{GS1} > V_{T1}$)

$$I_R = I_{D1} = \frac{k_{n1}}{2} (V_{GS1} - V_{T1})^2$$

$$I_O = I_{D2} = \frac{k_{n2}}{2} (V_{GS2} - V_{T2})^2$$

essendo $k_{n1} = k_{n2} = k_n$
 $V_{GS1} = V_{GS2} = V_{GS}$
 $V_{T1} = V_{T2} = V_T$

si ha:

$$\boxed{I_O = I_R}$$

È possibile realizzare un rapporto prestabilito tra I_O e I_R progettando opportunamente i fattori di forma W/L dei due MOS.

$$I_R = \frac{k'_n}{2} \frac{W_1}{L_1} (V_{GS} - V_T)^2$$

$$I_O = \frac{k'_n}{2} \frac{W_2}{L_2} (V_{GS} - V_T)^2$$

$$\frac{I_O}{I_R} = \frac{(W/L)_2}{(W/L)_1}$$

$$\boxed{I_O = \frac{(W/L)_2}{(W/L)_1} \cdot I_R}$$

Nel caso si realizzi $(\frac{W}{L})_2 = \frac{3}{1}$ e $(\frac{W}{L})_1 = \frac{1}{1}$ si otterrà una corrente I_O tripla di I_R .

Considerando la modulazione di canale con M_1 ed M_2 identici ad esclusione del fattore di forma

$$I_R = \frac{k'_n}{2} \left(\frac{W}{L} \right)_1 (V_{GS} - V_T)^2 (1 + \lambda V_{DS1}) = \frac{k'_n}{2} \left(\frac{W}{L} \right)_1 (V_{GS} - V_T)^2 (1 + \lambda V_{GS})$$

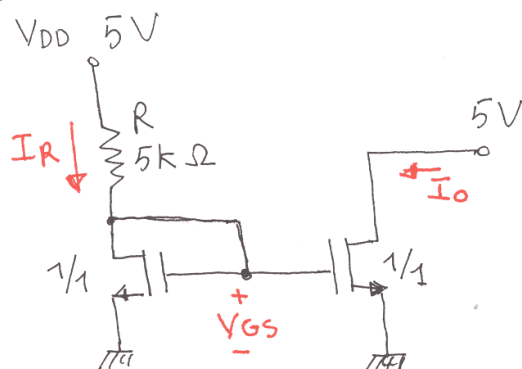
$$I_O = \frac{k'_n}{2} \left(\frac{W}{L} \right)_2 (V_{GS} - V_T)^2 (1 + \lambda V_{DS2})$$

$$I_O = \frac{\left(\frac{W}{L} \right)_2}{\left(\frac{W}{L} \right)_1} \frac{(1 + \lambda V_{DS2})}{(1 + \lambda V_{GS})} I_R$$

5/5

Esempio specchio di corrente CMOS.

- 2) Determinare la corrente generata dal seguente circuito nell'ipotesi che sia $K = \frac{K_n}{2} = 10 \frac{\mu A}{V^2}$



e $V_T = 1V$. Trascurire la modulazione di canale ($\lambda = 0$)

Soluzione

$$I_R = \frac{V_{DD} - V_{GS}}{R} = K (V_{GS} - V_T)^2$$

$$\frac{5 - V_{GS}}{5k\Omega} = 10 \cdot 10^{-6} (V_{GS} - 1)^2$$

$$10^{-3} - 0,2 \cdot 10^{-3} V_{GS} = 10 \cdot 10^{-6} V_{GS}^2 + 10 \cdot 10^{-6} - 20 \cdot 10^{-6} V_{GS}$$

$$V_{GS}^2 + 18 V_{GS} - 99 = 0 \quad V_{GS} = -9 \pm \sqrt{81 + 99} = \begin{cases} 4,416 \text{ OK} \\ -22,416 \text{ NO} \end{cases}$$

$$I_0 = I_R = 10 \cdot 10^{-6} (4,416 - 1)^2 = 0,116 \text{ mA}$$

- b) Determinare il valore di R per generare una corrente di 0,2 mA con $V_{DD} = 10V$.

Soluzione

$$I_0 = I_R = K (V_{GS} - V_T)^2 \rightarrow V_{GS} = V_T + \sqrt{\frac{I_R}{K}}$$

$$V_{GS} = 1V + \sqrt{\frac{0,2 \text{ mA}}{10 \mu A}} = 5,57V$$

$$R = \frac{V_{DD} - V_{GS}}{I_R} = \frac{10 - 5,57}{0,2 \cdot 10^{-3}} = 22,15 k\Omega$$