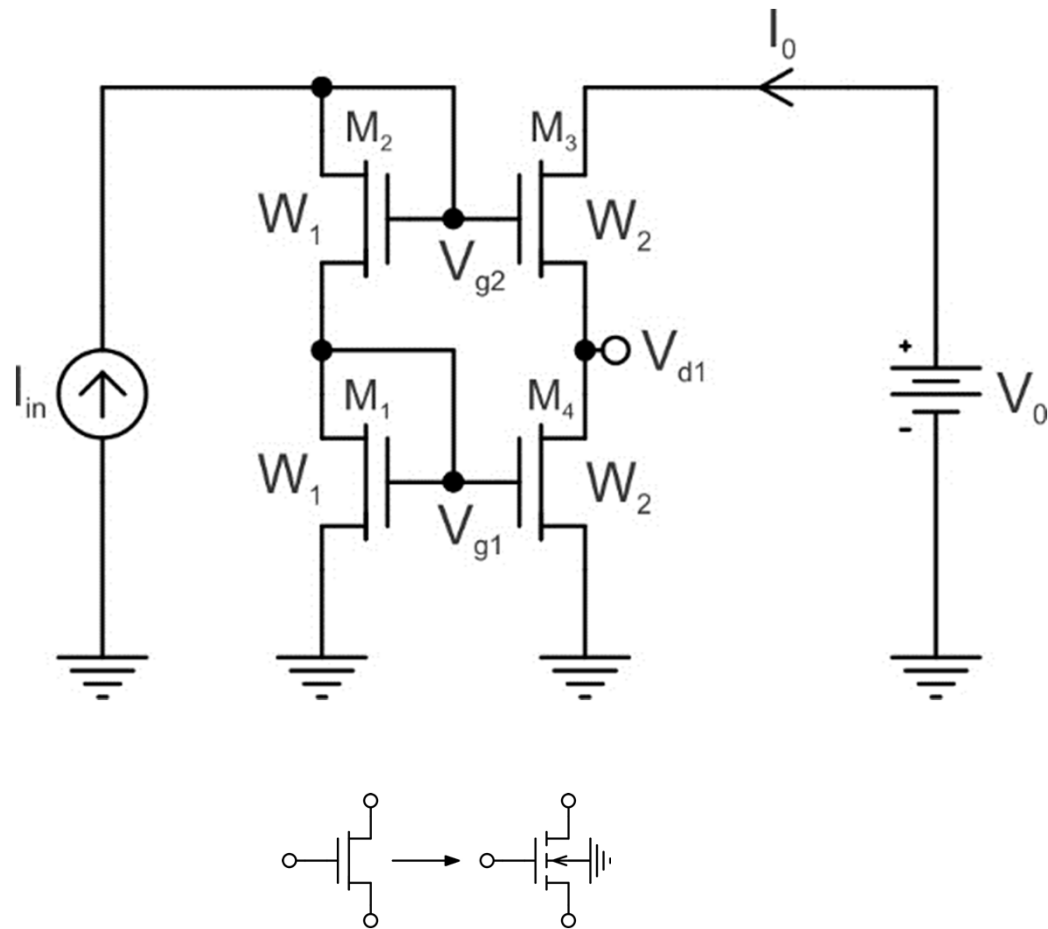
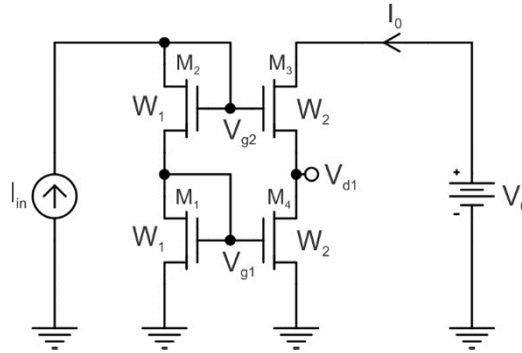


Espelho de Corrente em Cascode



Espelho de Corrente em Cascode

O espelho de corrente em cascode eleva a impedância de saída e reduz significativamente o descasamento, aumentando a precisão.



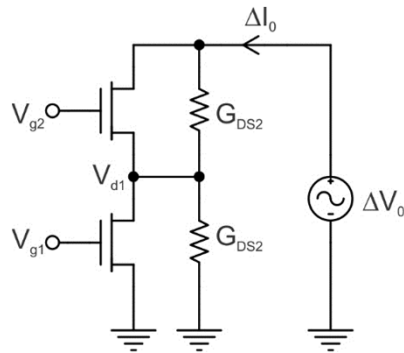
$$I_{in} = \frac{k_p}{2\alpha} \frac{W_1}{L} (V_{g1} - V_T)^2 (1 + \lambda V_{g1}) \rightarrow (V_{g1} - V_T)^2 = \frac{2\alpha}{k_p} \frac{L}{W_1} \frac{1}{(1 + \lambda V_{g1})} I_{in}$$

$$I_0 = \frac{k_p}{2\alpha} \frac{W_2}{L} (V_{g1} - V_T)^2 (1 + \lambda V_{d1}) \rightarrow I_0 = \frac{k_p}{2\alpha} \frac{W_2}{L} \frac{2\alpha}{k_p} \frac{L}{W_1} \frac{(1 + \lambda V_{d1})}{(1 + \lambda V_{g1})} I_{in}$$

$$V_{d1} \cong V_{g1} \rightarrow I_0 = \frac{W_2}{W_1} I_{in}$$

Impedância de Saída do Espelho de Corrente em Cascode

A impedância de saída baixa, devido ao efeito de modulação de canal, particularmente para canais curtos, é compensada fazendo a tensão de dreno de M_2 ser aproximadamente igual à de M_1 , de forma que a cópia da corrente mantenha-se inalterada com a variação da tensão de saída.



$$R_{DS2} = \frac{1}{G_{DS2}}$$

$$R_0 = \frac{\Delta V_0}{\Delta I_0} = (2 + g_{m2} R_{DS2}) R_{DS2}$$

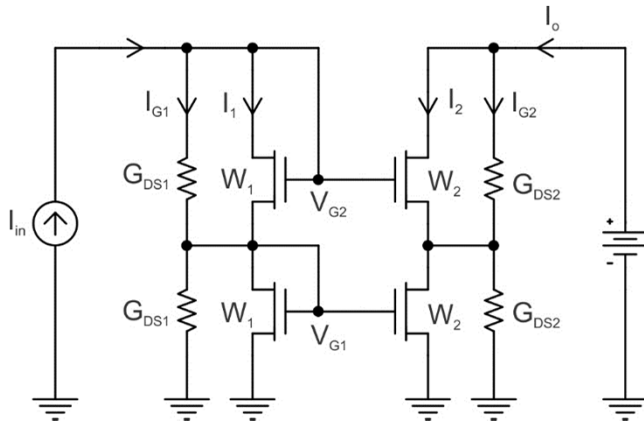
$$|A_{V_{2\max}}| = g_{m2} R_{DS2} \rightarrow \text{Máximo ganho de tensão na configuração source comum.}$$

$$R_0 = \left(2 + |A_{V_{2\max}}|\right) R_{DS2}$$

$$|A_{V_{2\max}}| \gg 1 \rightarrow \text{Ganho de tensão alto.}$$

Descasamento do Espelho em Cascode

O espelho de corrente em cascode possui descasamento determinístico menor que o espelho simples por causa da elevada impedância de saída.



$$R_0 = (2 + gm_2 R_{DS2}) R_{DS2}$$

$$I_1 \gg I_{G1}$$

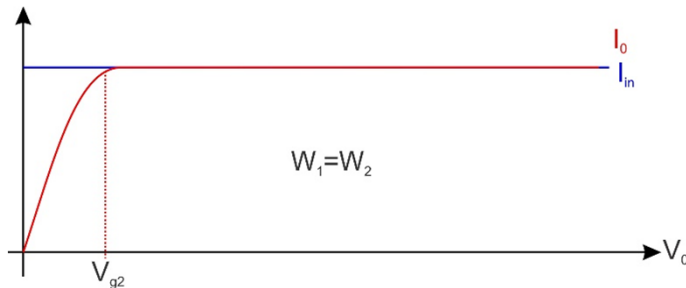
$$I_0 = \frac{W_2}{W_1} I_{in} + \frac{(V_0 - V_{G2})}{(2 + gm_2 R_{DS2}) R_{DS2}}$$

$$\frac{\Delta I_0}{I_{0q}} = \frac{(V_0 - V_{G2})}{(2 + gm_2 R_{DS2}) R_{DS2} I_{0q}}$$

$$\frac{\Delta I_0}{I_{0q}} = \frac{(V_0 - 2V_{gs})}{(2 + gm_2 R_{DS2}) R_{DS2} I_{0q}}$$

$$R_{DS2} = \frac{1}{\lambda I_{0q}} \rightarrow$$

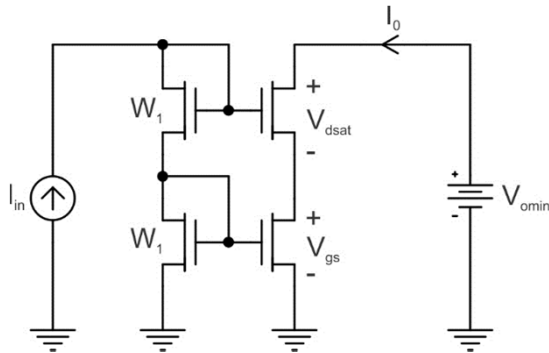
$$\frac{\Delta I_0}{I_{0q}} = \frac{\lambda (V_0 - 2V_{gs})}{(2 + gm_2 R_{DS2})}$$



$$gm_2 = \frac{k_p}{\alpha} \frac{W_2}{L} \Delta V_{gs} \quad V_{gs} = \Delta V_{gs} + V_T \quad G_{DS2} = \frac{k_p}{2\alpha} \frac{W_2}{L} \Delta V_{gs}^2 \lambda$$

$$\frac{\Delta I_0}{I_0} = \frac{\lambda^2 (V_0 - 2V_T - 2\Delta V_{gs}) \Delta V_{gs}}{2(\lambda \Delta V_{gs} + 1)}$$

Excursão de Sinal do Espelho em Cascode



Assumindo que a densidade de corrente é igual para todos os transistores NMOS.

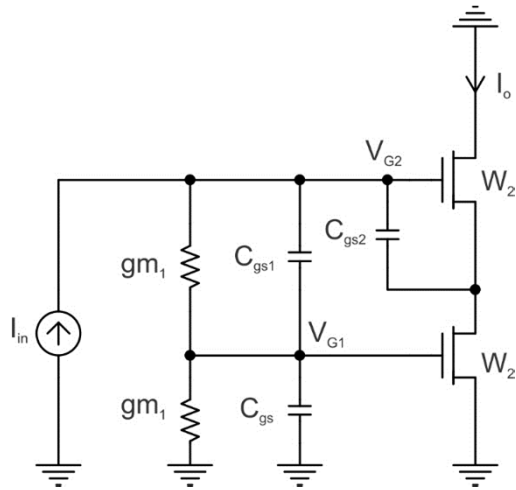
$$V_{0\min} = V_{sat} + V_{gs}$$

$$V_{0\min} = \frac{V_{gs} - V_T}{\alpha} + V_{gs} = V_T + \Delta V_{gs} \left(1 + \frac{1}{\alpha} \right)$$

$$I_{in} = \frac{k_p}{2\alpha} \frac{W_1}{L} (V_{gs} - V_T)^2 \longrightarrow \Delta V_{gs} = \sqrt{\frac{2\alpha L I_{in}}{k_p W_1}}$$

$$V_{0\min} = V_T + \sqrt{\frac{2\alpha L I_{in}}{k_p W_1}} \left(1 + \frac{1}{\alpha} \right)$$

Resposta em Frequência do Espelho em Cascode



$$V_{0\min} = V_T + \sqrt{\frac{2\alpha LI_{in}}{k_p W_1}} \left(1 + \frac{1}{\alpha}\right) = V_T + gm_1 \left(1 + \frac{1}{\alpha}\right)$$

$$A_I = \frac{W_2}{W_1}$$

$$\frac{I_0}{I_{in}} = \frac{9(V_T - V_{0\min})^2 A_I k_p^2}{\left(s + \frac{3(A_I + 1 + \sqrt{A_I^2 + A_I})(V_{0\min} - V_T)k_p}{2(A_I + 1)(1 + \alpha)L^2 C_{ox}} \right) \left(s + \frac{3(A_I + 1 - \sqrt{A_I^2 + A_I})(V_{0\min} - V_T)k_p}{2(A_I + 1)(1 + \alpha)L^2 C_{ox}} \right)}$$

Polos da Função de Transferência

$$P_1 = -\frac{3\left(A_I + 1 - \sqrt{A_I^2 + A_I}\right)(V_{0\min} - V_T)k_p}{2(A_I + 1)(1 + \alpha)L^2C_{ox}}$$

$$P_2 = -\frac{3\left(A_I + 1 + \sqrt{A_I^2 + A_I}\right)(V_{0\min} - V_T)k_p}{2(A_I + 1)(1 + \alpha)L^2C_{ox}}$$

Para $A_I > 1$, P_1 tende a ser dominante.

Para $A_I < 1$, P_1 se aproxima de P_2 , tendendo a formar polo duplo.

Frequência de Corte

$$\frac{I_0}{I_{in}} = \frac{A_I}{\left(\frac{s}{|P_1|} + 1\right)\left(\frac{s}{|P_2|} + 1\right)} \rightarrow \frac{A_I^2}{2} = \frac{A_I^2}{\left(\frac{\omega^2}{P_1^2} + 1\right)\left(\frac{\omega^2}{P_2^2} + 1\right)} \rightarrow$$

$$f_{3dB} = \frac{\sqrt{-2P_1^2 - 2P_2^2 + 2\sqrt{P_1^4 + 6P_1^2P_2^2 + P_2^4}}}{4\pi}$$

$$P_1 \text{ dominante} \rightarrow f_{3dB} \cong \frac{|P_1|}{2\pi}$$

$$\text{Polo duplo em } P_1 \rightarrow f_{3dB} \cong 0.1|P_1|$$

**Final deste
Tópico**