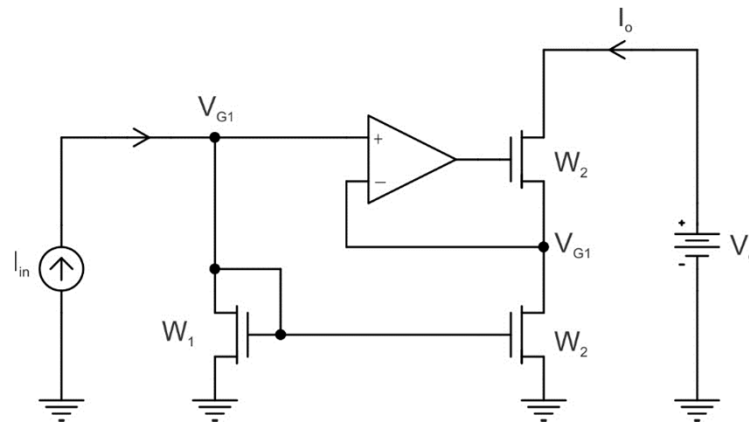
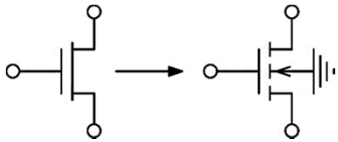


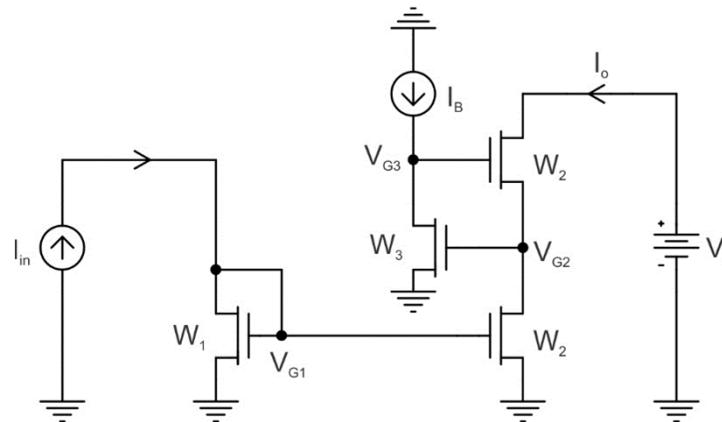
Espelho de Corrente em Cascode Regulado

Baseia-se no princípio de manter a tensão no dreno do transistor que copia a corrente aproximadamente constante. Desta forma, a corrente de dreno varia muito pouco, e, conseqüentemente, a impedância de saída fica elevada. Utiliza-se um amplificador em realimentação negativa para estabilizar a tensão de dreno.

Implementação ideal

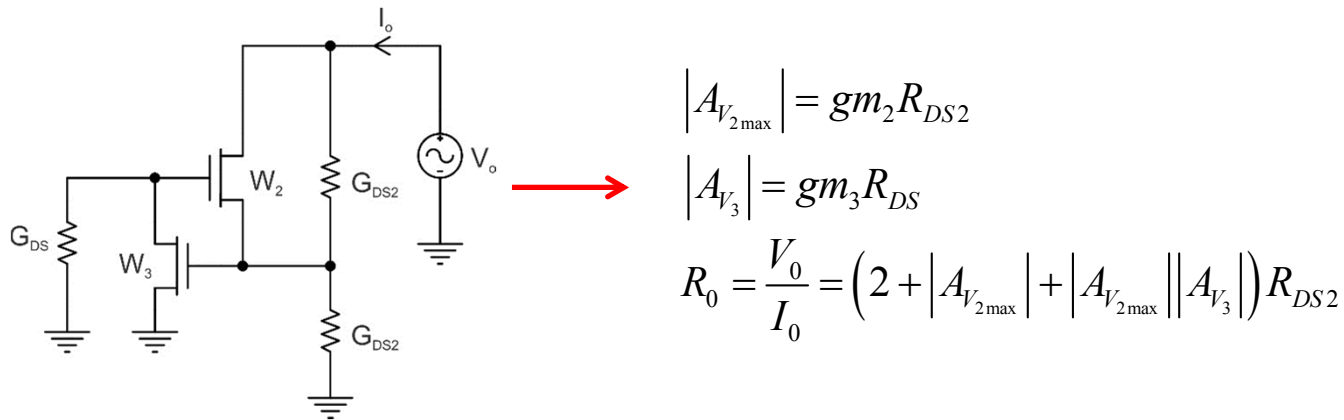


Implementação real



Impedância de Saída do Espelho de Corrente em Cascode Regulado

A impedância de saída do espelho em cascode regulado é consideravelmente maior que a do cascode simples.



Em relação ao cascode simples $\longrightarrow R_{0_{\text{Cascode Regulado}}} \cong |A_{V_3}| R_{0_{\text{Cascode Simples}}}$

Descasamento do Espelho de Corrente em Cascode Regulado

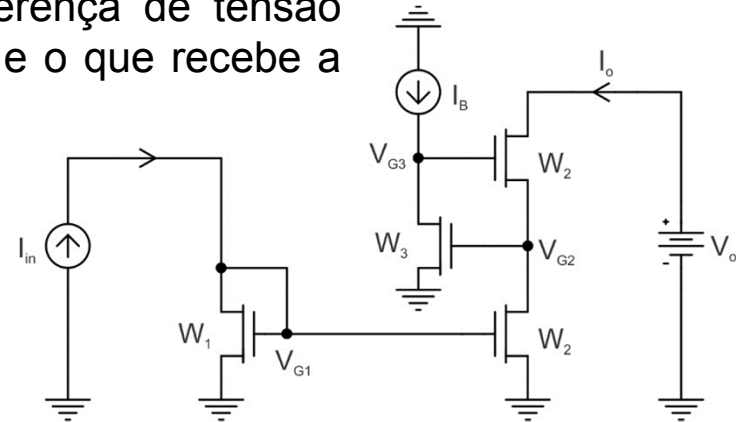
No espelho de corrente em cascode regulado, a corrente de saída praticamente não varia com a tensão V_o . O descasamento da corrente de saída deve-se principalmente à diferença de tensão entre o dreno do transistor que copia a corrente e o que recebe a corrente de entrada.

$$\Delta I_0 = (V_{G2} - V_{G1}) G_{DS2}$$

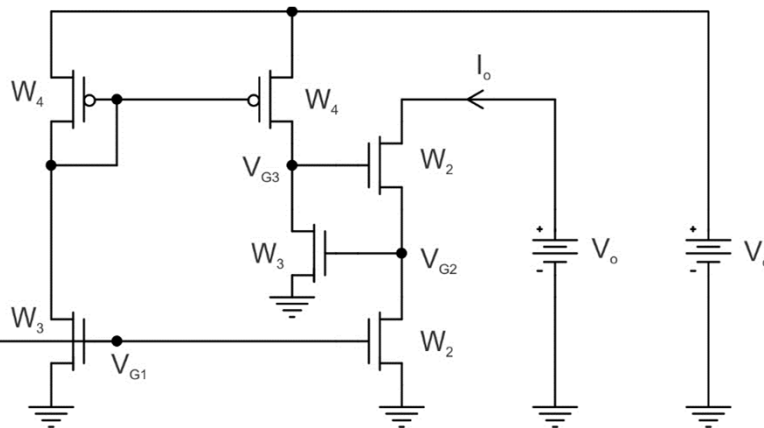
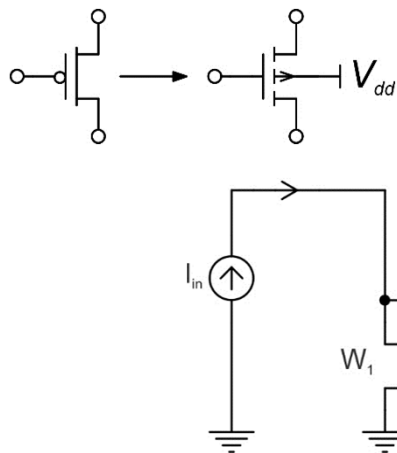
$$\Delta I_0 = (V_{G2} - V_{G1}) \lambda I_{0q}$$



$$\frac{\Delta I_0}{I_{0q}} = (V_{G2} - V_{G1}) \lambda$$



Possível forma de mitigar o descasamento de corrente.

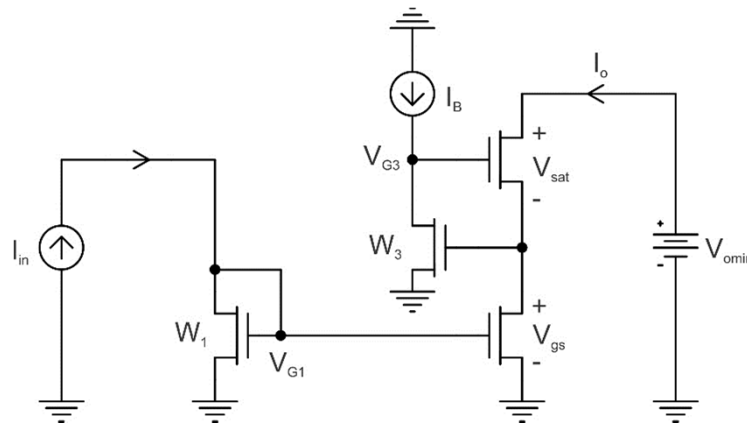


$$V_{g1} = \sqrt{\frac{2\alpha}{k_p} \frac{L}{W_1} I_{in}} + V_T$$

$$V_{g2} = \sqrt{\frac{2\alpha}{k_p} \frac{L}{W_3} \frac{W_3}{W_1} I_{in}} + V_T$$

$$V_{g1} = V_{g2}$$

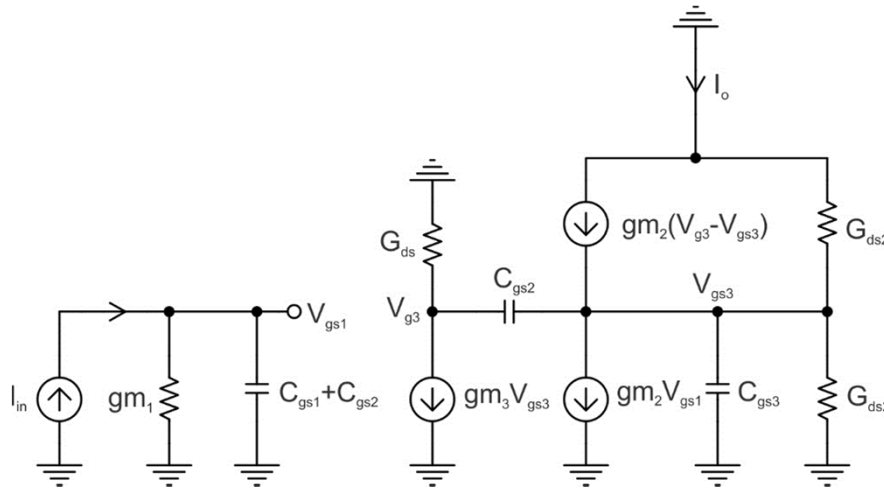
Excursão de Sinal do Espelho de Corrente em Cascode Regulado



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

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

Resposta em Frequência do Espelho de Corrente em Cascode Regulado



- Função de transferência aproximada.
- G_{ds2} e G_{ds} podem ser desconsideradas, pois estão conectadas em nós são de baixa impedância.
- Assumindo que a densidade de corrente é igual para todos os transistores NMOS.

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

$$\frac{I_0}{I_{in}} = \frac{A_I}{\left(s(A_I + 1) \frac{C_{gs1}}{gm_1} + 1 \right) \left(s^2 \frac{C_{gs1}^2}{gm_1^2} + s \frac{C_{gs1}}{gm_1} + 1 \right)}$$

Polos

$$P_1 = -\frac{gm_1}{(1 + A_I)C_{gs1}}$$

$$P_2 = -\frac{1}{2} \frac{gm_1}{C_{gs1}} (1 + j\sqrt{3})$$

$$P_3 = -\frac{1}{2} \frac{gm_1}{C_{gs1}} (1 - j\sqrt{3})$$

Polos em função da tensão mínima de saída

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

$$gm_1 = \frac{k_p}{\alpha} \frac{W_1}{L} \Delta V_{gs1} \longrightarrow gm_1 = k_p \frac{W_1}{L} \frac{(V_{0\min} - V_T)}{\alpha + 1}$$

$$C_{gs1} = \frac{2}{3} C_{ox} W_1 L$$



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

$$\frac{gm_1}{C_{gs1}} = \frac{3k_p(V_{0\min} - V_T)}{2(\alpha + 1)C_{ox}L^2} \longrightarrow P_2 = -\frac{3k_p(V_{0\min} - V_T)}{4(\alpha + 1)C_{ox}L^2}(1 + j\sqrt{3})$$

$$P_3 = -\frac{3k_p(V_{0\min} - V_T)}{4(\alpha + 1)C_{ox}L^2}(1 - j\sqrt{3})$$

$$P_1 = -\frac{gm_1}{(1 + A_I)C_{gs1}}$$

$$P_2 = -\frac{1}{2} \frac{gm_1}{C_{gs1}} (1 + j\sqrt{3})$$

$$P_3 = -\frac{1}{2} \frac{gm_1}{C_{gs1}} (1 - j\sqrt{3})$$

Frequência de corte normalizada

$$\Omega = \omega \frac{C_{gs1}}{gm_1} = \omega \frac{2(\alpha + 1)C_{ox}L^2}{3k_p(V_{0min} - V_T)} \rightarrow$$



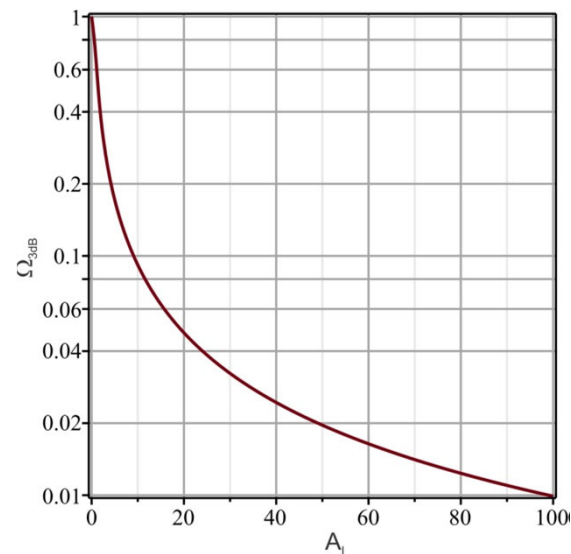
$$\Omega_{3dB} = \omega_{3dB} \frac{C_{gs1}}{gm_1} = \omega_{3dB} \frac{2(\alpha + 1)C_{ox}L^2}{3k_p(V_{0min} - V_T)}$$

$$f_{3dB} = \frac{3k_p(V_{0min} - V_T)}{2(\alpha + 1)C_{ox}L^2} \frac{\Omega_{3dB}}{2\pi} \rightarrow$$

$$\frac{I_0}{I_{in}} = \frac{A_I}{\left(s(A_I + 1) \frac{C_{gs1}}{gm_1} + 1 \right) \left(s^2 \frac{C_{gs1}^2}{gm_1^2} + s \frac{C_{gs1}}{gm_1} + 1 \right)}$$

$$\frac{I_0}{I_{in}} = \frac{A_I}{(j\Omega(A_I + 1) + 1)((j\Omega)^2 + j\Omega + 1)}$$

Gráfico da frequência de corte normalizada



**Final deste
Tópico**