

Polarizzazione (= bias) del MOS:

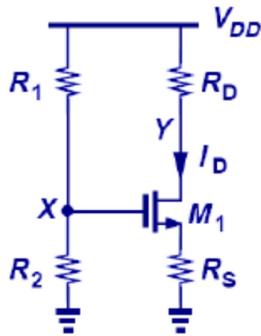
Come per BJT, JFET → Necessaria a fissare il punto di lavoro

I_D , V_{GS} , V_{DS} quiescenti:

Valori intorno ai quali

correnti e tensioni di segnale incrementano/decrementano

1) Schema semplice



$$\frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{DD} = V_{GS} + I_D R_S \quad \text{maglia di ingresso}$$

$$I_D \approx \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{TH})^2 \quad \text{NMOS}$$

→ 2 eq., 2 incognite → V_{GS}, I_D

$$V_{GS} = -(V_1 - V_{TH}) + \sqrt{V_1^2 + 2V_1 \frac{R_2}{R_1 + R_2} (V_{DD} - V_{TH})}$$

$$\rightarrow V_{GS} = -V_1 \left(1 - \frac{V_{TH}}{V_1} + \sqrt{1 + 2 \frac{R_2}{(R_1 + R_2)} \frac{V_{DD} - V_{TH}}{V_1}} \right)$$

$$V_1 = \frac{1}{\mu_n C_{ox} \frac{W}{L} R_S}$$

NB Unita' di V_1 : $\frac{1}{\frac{\text{cm}}{\frac{\text{s}}{\text{V}}} \text{Fcm}^{-2} \Omega} \rightarrow \frac{1}{\frac{\text{cm}}{\text{s}} \frac{\text{cm}}{\text{V}} \text{Fcm}^{-2} \Omega} \rightarrow \frac{V_s}{\frac{\text{F} \Omega}{\text{s}}} \rightarrow V !!!$

NB Si osservi che la soluzione per V_{GS} non ha un limite finito per $R_S \rightarrow 0$:

$$V_{GS} = -V_1 \left(1 - \frac{V_{TH}}{V_1} + \sqrt{1 + 2 \frac{R_2}{(R_1 + R_2)} \frac{V_{DD} - V_{TH}}{V_1}} \right), \quad V_1 = \frac{1}{\mu_n C_{ox} \frac{W}{L} R_S}$$

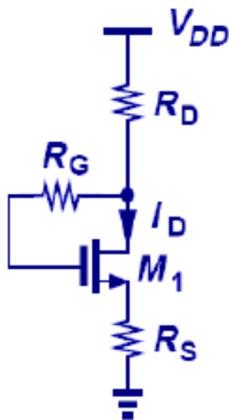
Questo e' legato al fatto che l'eq. di II grado di cui V_{GS} e' soluzione e' del tipo $ax^2 + bx + c = 0$

Eq. parametrica: $a = kR_S^2$

→ Limite per $R_S \rightarrow 0$: Eq. di I grado

→ Soluzione del limite (esistente) \neq Limite della soluzione (non esistente)

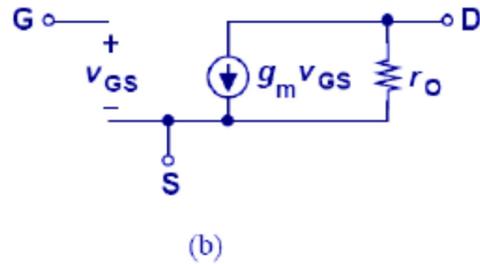
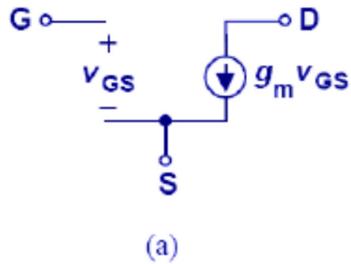
2) Schema a self-bias



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

$$I_D = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{TH})^2$$

Modello del MOS per piccoli segnali:



$$I_D = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{TH})^2 \left[1 + \underbrace{\lambda (V_{DS} - V_{DS,sat})}_{\substack{\text{correzione} \\ \text{gen. corr. non ideale} \\ \lambda \text{ piccolo}}} \right]$$

$$\rightarrow i_D = \frac{\partial I_D}{\partial V_{GS}} v_{GS} + \frac{\partial I_D}{\partial V_{DS}} v_{DS} + \underbrace{\frac{\partial I_D}{\partial V_{BS}} v_{BS}}_{\substack{\text{Dipendenza} \\ \text{da tensione} \\ \text{source-substrato} \\ \text{trascurata}}}$$

Transconduttanza del NMOS:

$$\frac{\partial I_D}{\partial V_{GS}} \equiv g_m \approx \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{TH}) \approx \sqrt{2 \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} I_D} \approx \frac{2 I_D}{V_{GS} - V_{TH}}$$

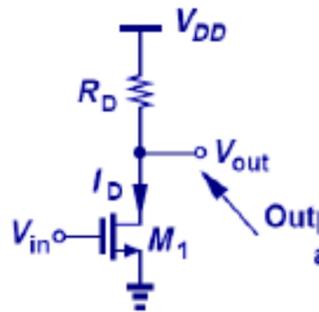
Conduttanza di uscita del NMOS:

$$\frac{\partial I_D}{\partial V_{DS}} \equiv g_0 \equiv \frac{1}{r_0} = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{TH})^2 \lambda \approx I_D \lambda$$

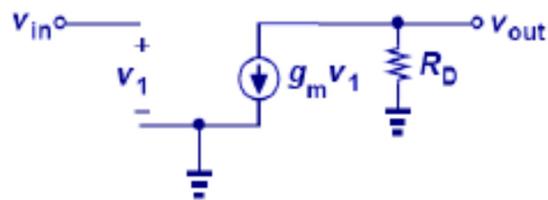
$$\rightarrow r_0 \approx \frac{1}{\lambda I_D}$$

Simile per PMOS

Applicazione: Amplificatore Common Source (CS)



Modello per piccoli segnali:



Guadagno di tensione:

$$\lambda = 0$$

$$A_v = -g_m R_D$$

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

Condizione di saturazione (richiesta per amp. lineare):

$$V_{out} > V_{in} - V_{TH}$$

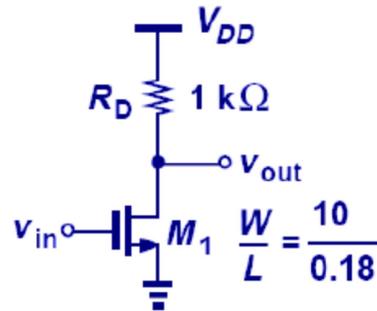
$$\rightarrow V_{DD} - I_D R_D > V_{GS} - V_{TH}$$

Es:

$$\left. \begin{array}{l} V_{DD} = +10V \\ V_{TH} = 1.5V \\ I_D = 5 \text{ mA} \end{array} \right\} \rightarrow 10 - 10^3 I_D > V_{in} - 1.5$$

$$\rightarrow V_{in} < 10 + 1.5 - 10^3 I_D = 11.5 - 10^3 I_D$$

$$\rightarrow V_{in} < 11.5 - 5 \text{ V} = 6.5 \text{ V}$$



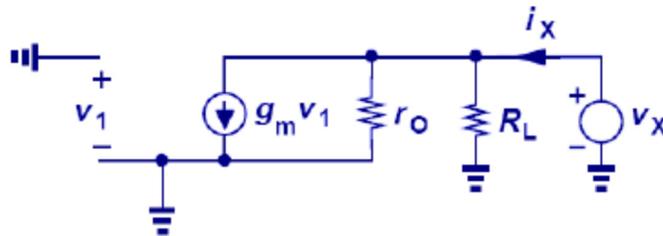
Parametri del 4-polo equivalente:

$$A_v = -g_m R_L$$

$$R_{in} = \infty$$

$$R_{out} = R_D$$

Tenendo conto della variazione della lunghezza del canale con V_{DS} : $r_o < \infty$



$$A_v = -g_m (R_D \parallel r_o) \rightarrow A_v \propto R_D$$

$$R_{in} = \infty$$

$$R_{out} = R_D \parallel r_o$$

Osservazioni generali:

$g_m(MOS) \ll g_m(BJT) \rightarrow A_v$ grande richiede R_D grande

R grandi non benvenute in circuiti VLSI

Grandi \rightarrow occupazione suolo pubblico

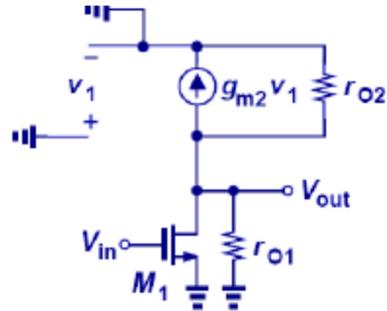
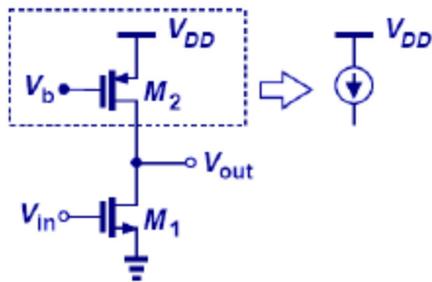
Dissipatrici \rightarrow riscaldamento globale

Grande 'Voltage Headroom' $\rightarrow V_{DD}$ elevata

→ Schemi con generatore di corrente \equiv carico attivo

Resistenza (ohmica) sul drain di M_1 $R_D \rightarrow$ Res. (dinamica) di uscita di M_2 r_{o2}

Non necessaria R_D elevata \rightarrow Non necessaria V_{DD} elevata

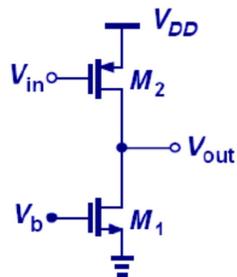


$$A_v = -g_{m1}(r_{o1} \parallel r_{o2})$$

Considerevole simmetria rispetto a scambio NMOS \leftrightarrow PMOS:

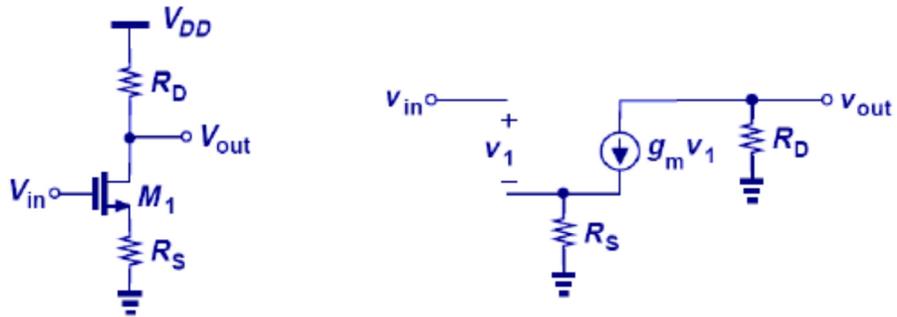
Stesso guadagno

$$A_v = -g_{m2}(r_{o2} \parallel r_{o1})$$



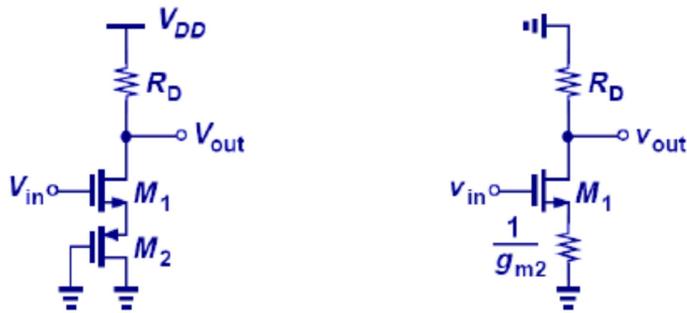
$$A_v = -g_{m2}(r_{o1} \parallel r_{o2})$$

CS con resistenza sul source (assumendo r_0):



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

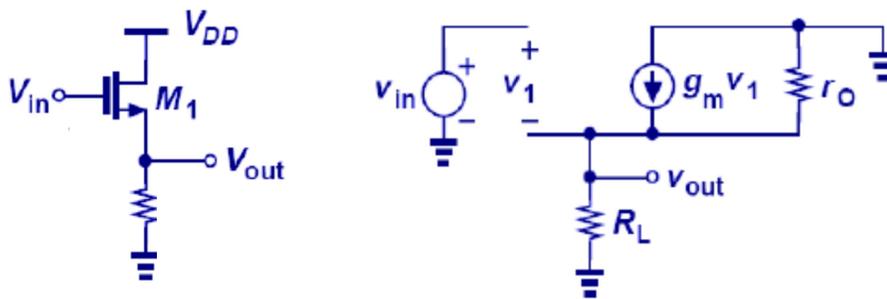
PMOS in saturazione invece di una resistenza:



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

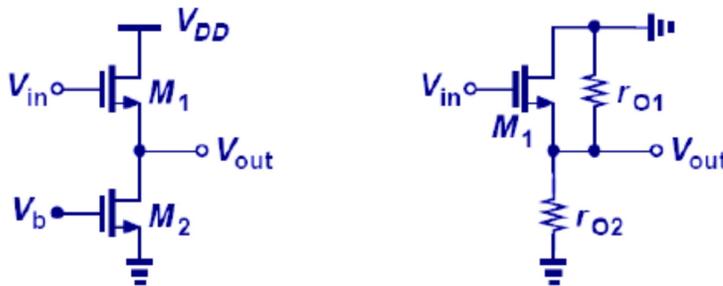
Altre configurazioni: Simili a quelle di BJT, JFET

Es.: Source follower



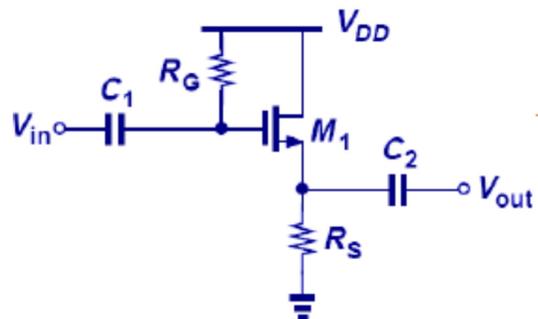
$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{r_O \parallel R_L}{\frac{1}{g_m} + r_O \parallel R_L}$$

Con carico attivo:



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

Con polarizzazione:

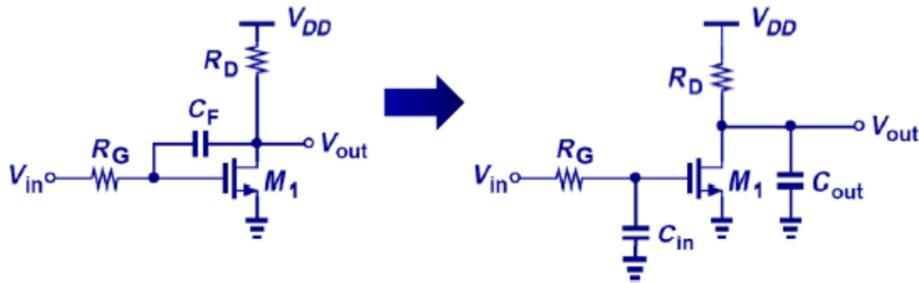


Comportamento del MOS ad alta frequenza:

Effetto delle capacita' intrinseche

Problema simile a quello del BJT: Effetto Miller

→ Teorema di Miller per decomposizione C_F



$$\omega_{in} = \frac{1}{R_G(1 + g_m R_D)C_F}$$

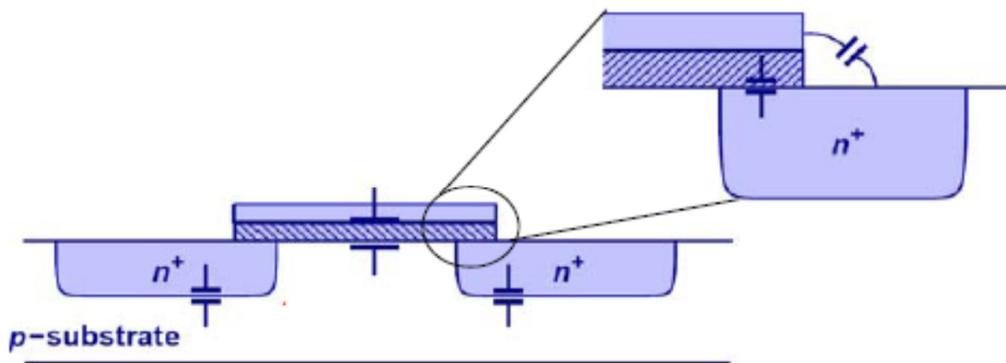
$$\omega_{out} = \frac{1}{R_D \left(1 + \frac{1}{g_m R_D}\right) C_F}$$

Capacita' intrinseche del MOS:

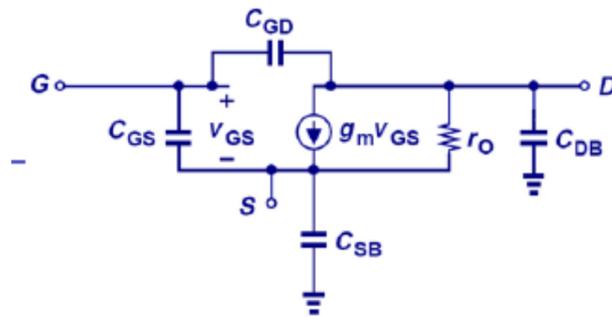
Gate-Canale

Gate-Source e Gate-Drain (Cap. di overlap e da fringing field)

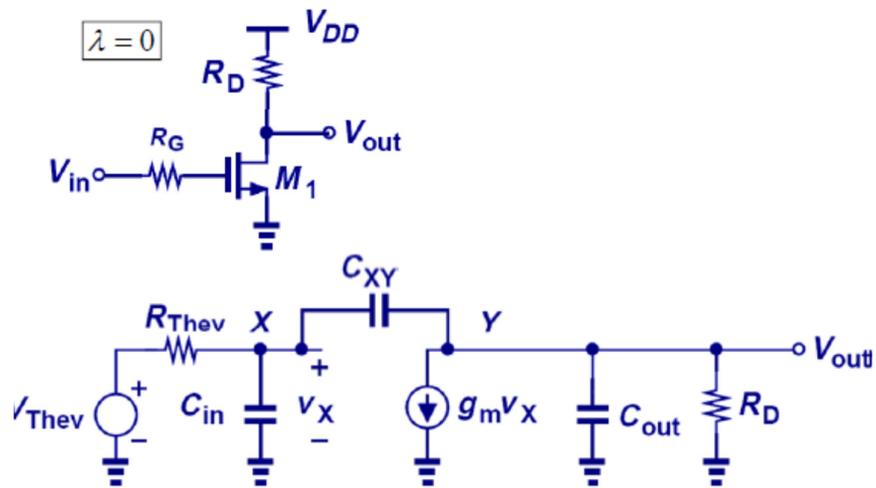
Source-Body e Drain-Body (Cap. di giunzione)



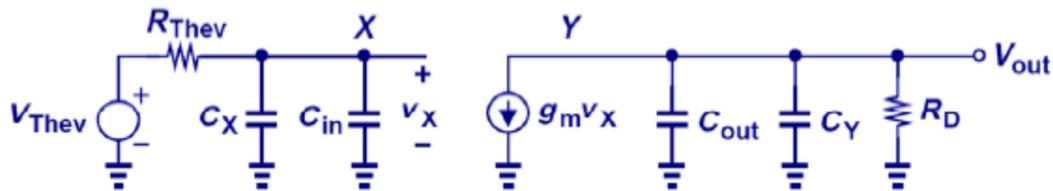
Modello del MOS con capacita':



Applicazione: Stadio a source comune (CS)



Con teorema di Miller:



$$V_{Thev} = V_{in}$$

$$R_{Thev} = R_G$$

$$C_X = C_{GD} (1 + g_m R_D)$$

$$C_Y = C_{GD} \left(1 + \frac{1}{g_m R_D}\right)$$

$$\omega_{p,in} = \frac{1}{R_{Thev} (C_{in} + (1 + g_m R_D) C_{GD})}$$

$$\omega_{p,out} = \frac{1}{R_D \left(C_{out} + \left(1 + \frac{1}{g_m R_D} \right) C_{GD} \right)}$$

Applicazione: Stadio CS con carico attivo

Stadio CS Capacita' intrinseche
carico attivo PMOS Semplificato

