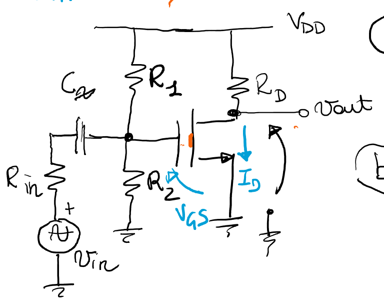
STADIO SOURCE A MASSA

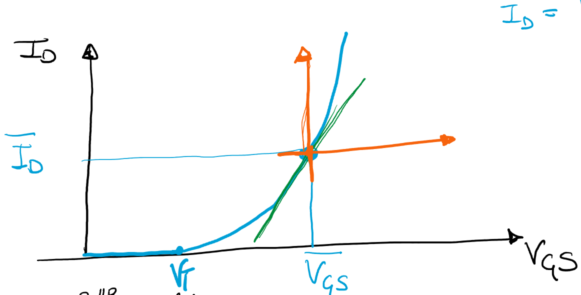


ⓐ POLARIZZAZIONE

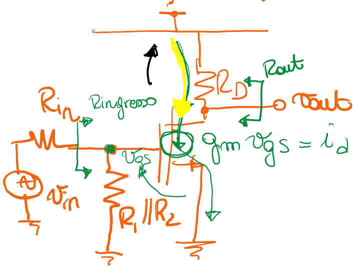
- capacità circuiti aperti
- spegnere i generatori di segnale
- Hp MOSFET operante in zona di saturazione

ⓑ ANALISI DI PICCOLO SEGNALE

$$I_D = k_n (V_{GS} - V_{Tn})^2$$



circuito su segnale



$$v_{gs} = \frac{R_1 // R_2}{R_{in} + R_1 // R_2} v_{in}$$

$$i_d = g_m v_{gs}$$

$$v_{out} = -i_d R_D = -g_m v_{gs} R_D =$$

$$= -g_m R_D \frac{R_1 // R_2}{R_{in} + R_1 // R_2} v_{in}$$

GUADAGNO DI TENSIONE DI PICCOLO SEGNALE $\quad G = A_v \triangleq \frac{v_{out}}{v_{in}} = -g_m R_D \frac{R_1 // R_2}{R_{in} + R_1 // R_2}$

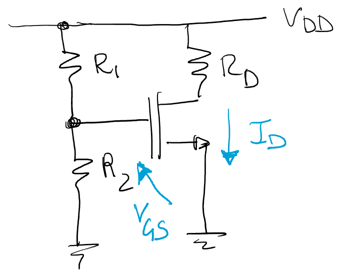
sotto la condizione di piccolo segnale $v_{gs} \ll 2(V_{GS} - V_T)$

RESISTENZA DI INGRESSO $\quad R_{ingresso} = R_1 // R_2$

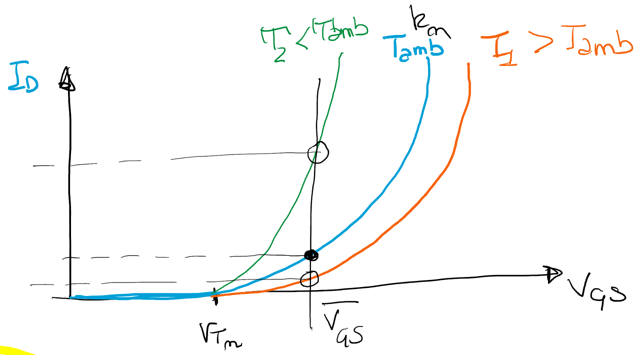
RESISTENZA DI USCITA $\quad R_{out} = R_D$

ERRORE DI LINEARITÀ $\quad \varepsilon = \frac{k_n v_{gs}^2}{2 k_n (V_{GS} - V_T) v_{gs}} = \frac{v_{gs}}{2(V_{GS} - V_T)}$

SENSIBILITÀ DELLA POLARIZZAZIONE AI PARAMETRI DEL TRANSISTORE



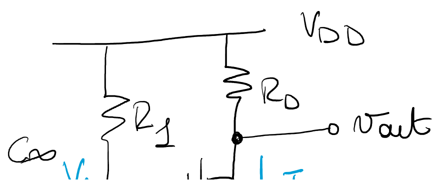
$$I_D = k_n (V_{GS} - V_{Tn})^2 = \underbrace{\frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L}}_{k_n} (V_{GS} - V_{Tn})^2$$



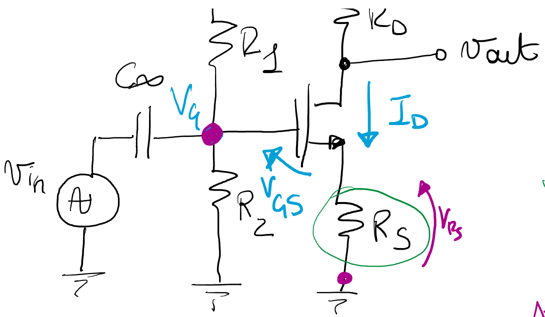
$$\Delta I_D = \Delta k_n \underbrace{(V_{GS} - V_{Tn})^2 k_n}_{I_D} / k_n$$

$$\frac{\Delta I_D}{I_D} = \frac{\Delta k_n}{k_n}$$

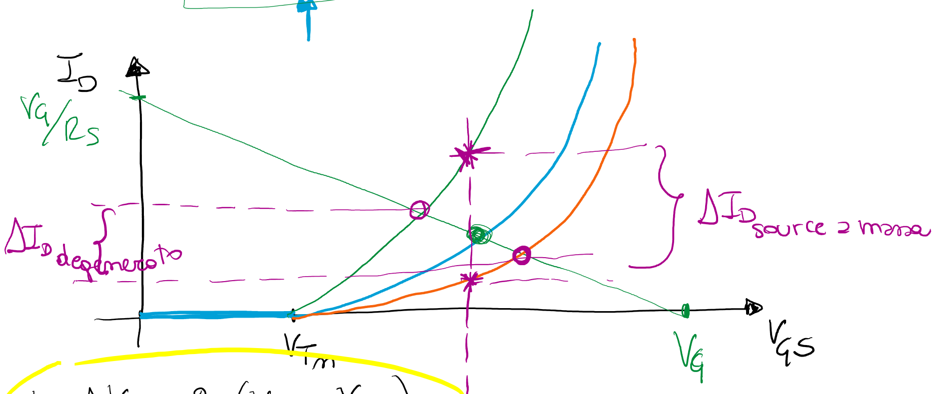
STADIO CON DEGENERAZIONE DI SOURCE



$$\begin{cases} I_D = k_n (V_{GS} - V_{Tn})^2 \\ V_G = V_{GS} + I_D R_S \end{cases} \Rightarrow V_{GS} = V_G - I_D R_S$$



$$\begin{cases} V_G = V_{GS} + I_D R_S \end{cases} \Rightarrow V_{GS} = V_G - I_D R_S$$



I_D aumenta
aumenta V_{R_S}
diminuisce V_{GS}
↳ I_D diminuisce ⇒ circuito si oppone alle variazioni di I_D

$$\begin{cases} \Delta I_D = \Delta k_n (V_{GS} - V_{Tn})^2 + k_n \Delta V_{GS}\, 2 (V_{GS} - V_{Tn}) \\ \Delta V_{GS} = -\Delta I_D R_S \end{cases}$$

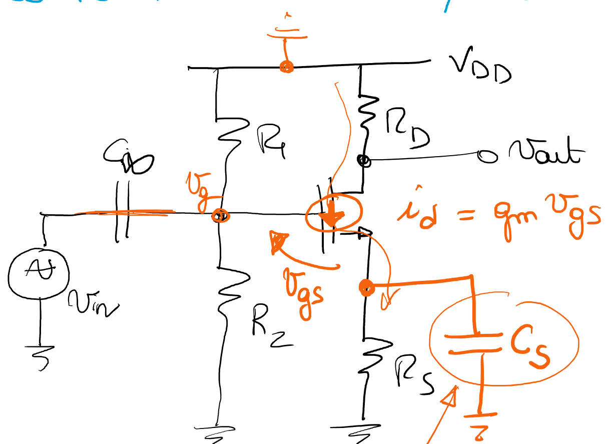
$$\Delta I_D = \Delta k_n (V_{GS} - V_{Tn})^2 + g_m (-\Delta I_D R_S)$$

$$\Delta I_D (1 + g_m R_S) = \Delta k_n (V_{GS} - V_{Tn})^2 \frac{k_n}{k_n}$$

$$\frac{\Delta I_D}{I_D} = \left(\frac{\Delta k_n}{k_n}\right) \frac{1}{1 + g_m R_S}$$

$g_m \in (0.5 , 5\, mS)$
$R_S \in (1k, 5k)$

COMPORTAMENTO SU SEGNALE DELLO STADIO SOURCE A MASSA DEGENERATO



$$\begin{cases} i_d = g_m v_{gs} \\ v_{in} = v_{gs} + i_d R_S \end{cases}$$

$$v_{in} = v_{gs} + g_m R_S v_{gs} = (1 + g_m R_S) v_{gs}$$

$$v_{gs} = \frac{v_{in}}{1 + g_m R_S}$$

$$\hookrightarrow i_d = g_m \frac{v_{in}}{1 + g_m R_S} = \frac{g_m}{1 + g_m R_S} v_{in}$$

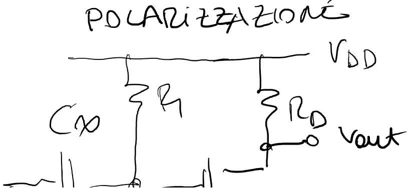
$$v_{out} = -i_d R_D = -\frac{g_m R_D}{1 + g_m R_S} v_{in}$$

GUADAGNO DI PICCOLO SEGNALE

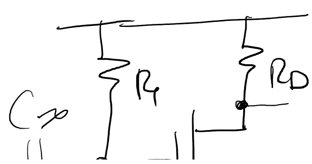
$$G \triangleq \frac{v_{out}}{v_{in}} = -\frac{g_m R_D}{1 + g_m R_S}$$

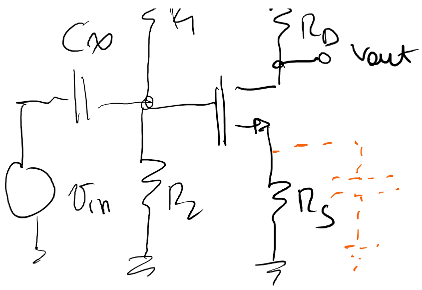
CONDENSATORE DI BY PASS

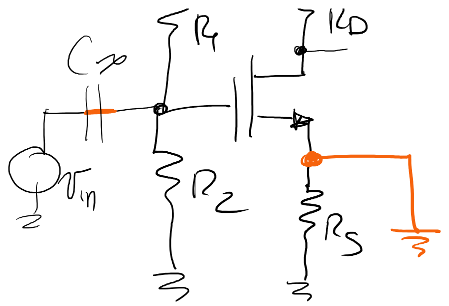
POLARIZZAZIONE



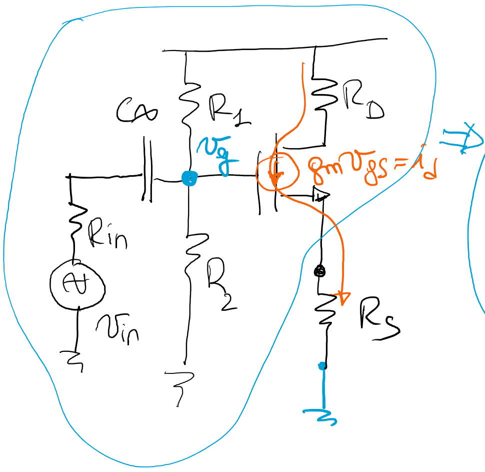
SU SEGNALE (per frequenze suff. elevate)

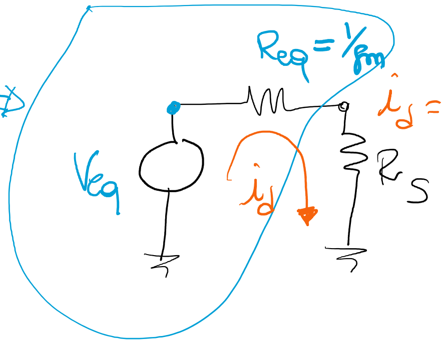






EQUIVALENTE THEVENIN VISTO DAL SOURCE (SU PICCOLO SEGNALE)



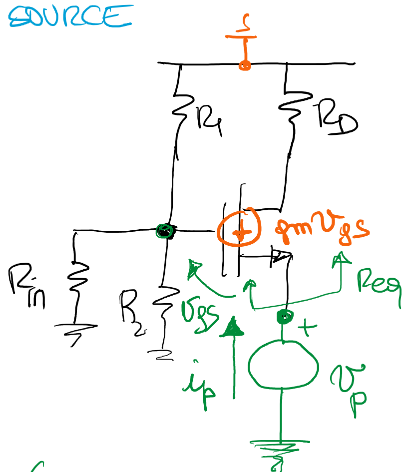


V_{eq} : tensione a circuito aperto

$$i_d = \frac{V_{eq}}{R_{eq} + R_s}$$

$$V_{eq} \approx v_g = v_{in} \frac{R_1 \| R_2}{R_{in} + R_1 \| R_2}$$

RESISTENZA EQUIVALENTE VISTA SU (piccolo) SEGNALE DAL SOURCE



$$R_{eq} \triangleq \frac{v_p}{i_p}$$

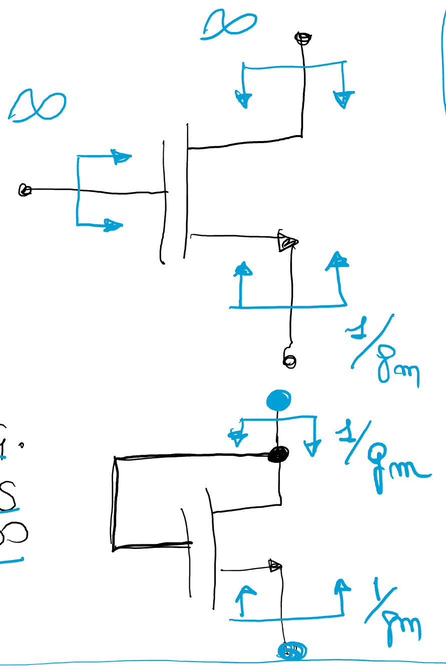
$$i_p = -g_m v_{gs}$$

$$v_{gs} = -v_p$$

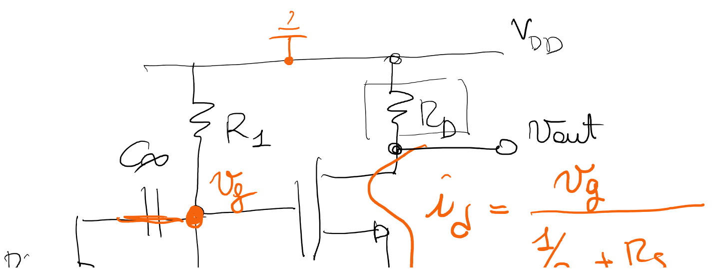
$$\left(v_{gs} \triangleq v_g - v_s = 0 - v_p = -v_p \right)$$

$$R_{eq} \triangleq \frac{v_p}{i_p} = \frac{-v_{gs}}{-g_m v_{gs}} = \frac{1}{g_m}$$

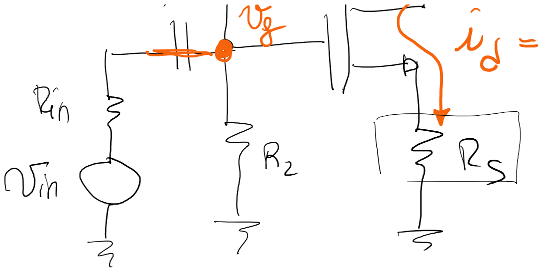
MEMO: RESISTENZE VISTE SU SEGNALE



CONFIG. TRANS DIODO



$$i_d = \frac{v_g}{1/g_m + R_s}$$



$$i_d = \frac{v_g}{1/g_m + R_S}$$

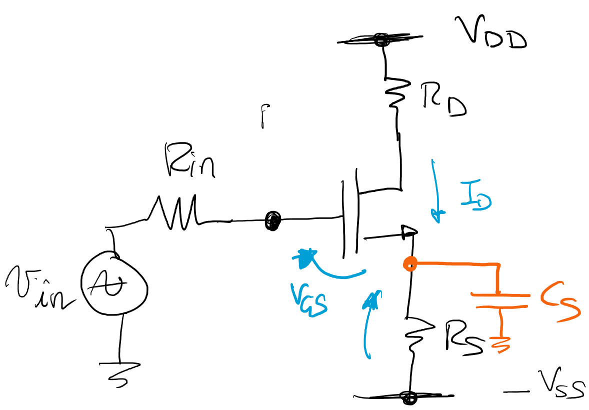
$$v_g = \frac{R_1 \| R_2}{R_{in} + R_1 \| R_2} v_{in}$$

$$v_{out} = -i_d R_D = -\frac{R_1 \| R_2}{R_{in} + R_1 \| R_2} \cdot \frac{R_D}{1/g_m + R_S} v_{in}$$

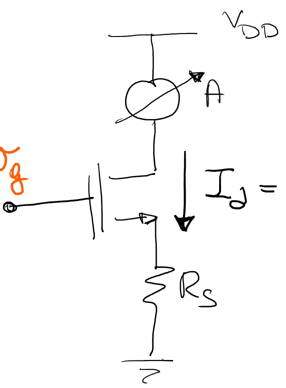
se $R_S \gg 1/g_m$

$$G \cong -\frac{R_1 \| R_2}{R_{in} + R_1 \| R_2} \frac{R_D}{R_S}$$

STADIO SOURCE DEGENERATO CON ALIMENTAZIONE DUALE (ACCOPPIAMENTO IN DC)



ERRORE DI LINEARITÀ DI UNO STADIO SOURCE DEGENERATO



$V_g = V_G + v_g$ $\qquad$ $I_d = I_D + i_d$

$$I_d = k_m [V_{gs} - V_{Tm}]^2 = k_m [V_G - V_S + v_g - v_s - V_{Tm}]^2$$

$$\begin{cases} i_d = 2(V_{GS} - V_{Tm}) k_m v_{gs} + k_m v_{gs}^2 \\ v_s = i_d R_S \end{cases}$$

$\Downarrow$

$$i_d = g_m (v_g - i_d R_s) + k_n (v_g - i_d R_s)^2$$

$\Downarrow$

$$i_d = \frac{(1+g_m R_s) + 2 k_n v_g R_s \pm (1+g_m R_s)\sqrt{1 + 4 k_n R_s v_g/(1+g_m R_s)^2}}{2 k_n R_s^2}$$

$$\sqrt{1+x} = 1 + \frac{1}{2}x - \frac{1}{2}\frac{x^2}{4} + \dots$$

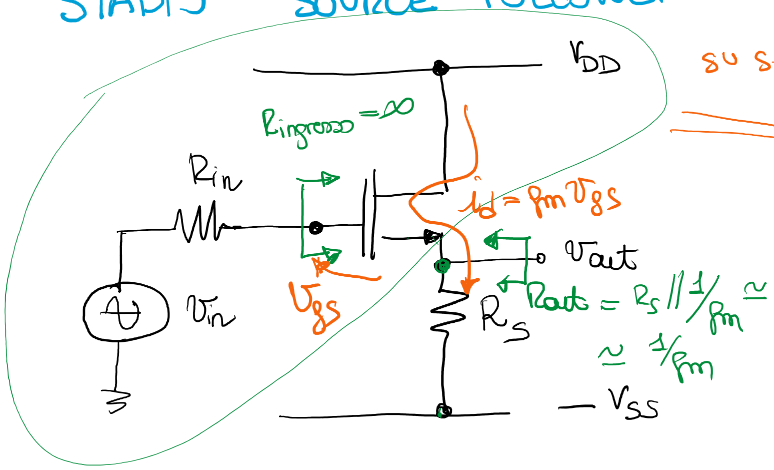
$\Downarrow$

$$\varepsilon = \frac{\text{TERMINE DI SECONDO GRADO}}{\text{TERMINE DI PRIMO GRADO}} =$$

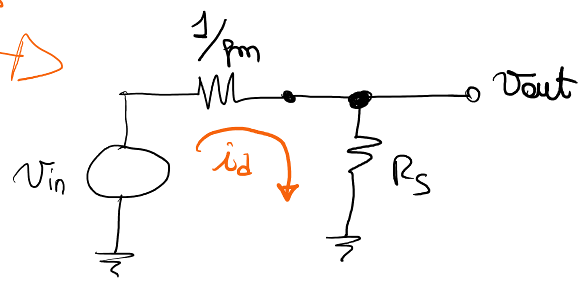
ERRORE DI LINEARITÀ

$$= \underbrace{\frac{v_g}{(1+g_m R_s)}}_{v_{gs}} \cdot \frac{1}{2(V_{GS}-V_{Tn})} \cdot \frac{1}{1+g_m R_s}$$

STADIO SOURCE FOLLOWER (INSEGUITORE DI SOURCE)



su segnale



$$v_{out} = \frac{R_s}{1/g_m + R_s} v_{in}$$

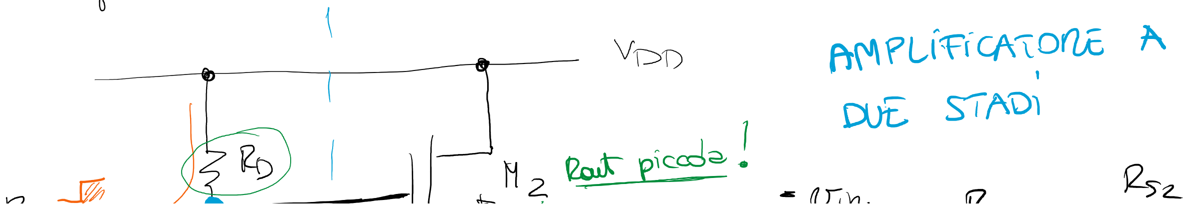
Stadio NON invertente

$$G \triangleq \frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{R_s}{1/g_m + R_s}$$

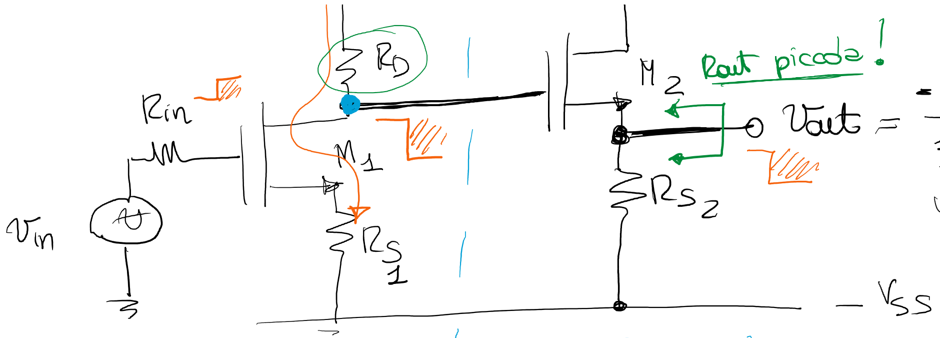
GUADAGNO DI PICCOLO SEGNALE DELLO STADIO SOURCE FOLLOWER

- ☺ elevata resistenza di ingresso (con alimentazione duale $R_{ig} \to \infty$)
- ☺ resistenza di uscita sufficientemente bassa
- ☹ guadagno minore di 1 (al max 1)

AMPLIFICATORE A DUE STADI



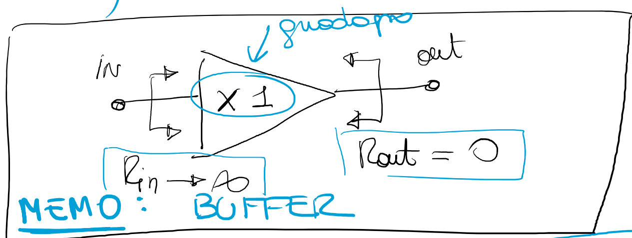
DUE STADI



$$v_{out} = \underbrace{\frac{-v_{in}}{1/g_{m_1} + R_{S_1}} R_D}_{\text{guadagno } 1^\circ \text{ stadio}} \cdot \underbrace{\frac{R_{S_2}}{1/g_{m_2} + R_{S_2}}}_{\text{guadagno } 2^\circ \text{ stadio}}$$

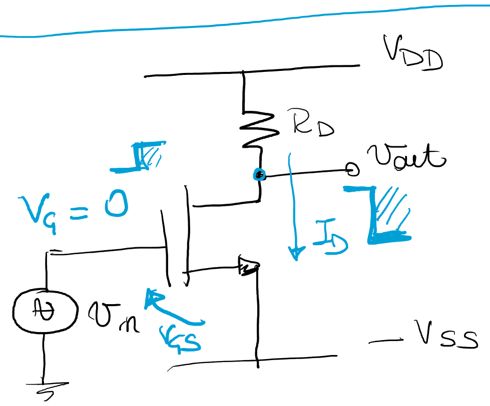
I° STADIO
SOURCE DEGENERATO
(GUADAGNA!)
(E' INVERTENTE)

II° STADIO
SOURCE FOLLOWER
(E' UN BUFFER)



DINAMICA DI USCITA (INGRESSO): massima escursione positiva e negativa della tensione di uscita (ingresso) che mantenga il transistore nella corretta zona di funzionamento

↗ grande segnale



$V_{GS} = 0 - (-V_{SS}) = V_{SS}$

perchè il MOS resti in saturazione

$V_{GD} < V_{Tn} \implies V_G - V_D < V_{Tn} \implies V_D > -V_{Tn}$

⇓ in prima approssimazione (trascurando che v_g varii)
$V_{out} \equiv V_D$ può scendere al massimo di una tensione di soglia sotto al gate

$V_{gd} < V_{Tn}$

$V_{GD} + v_{gd} < V_{Tn}$

$V_G + v_g - V_D - v_d < V_{Tn}$

$\underbrace{V_{GD}}_{\text{polarizz.}} - v_d \left(1 + \frac{1}{g_m R_D}\right) < V_{Tn}$

$v_d = -g_m R_D v_g$

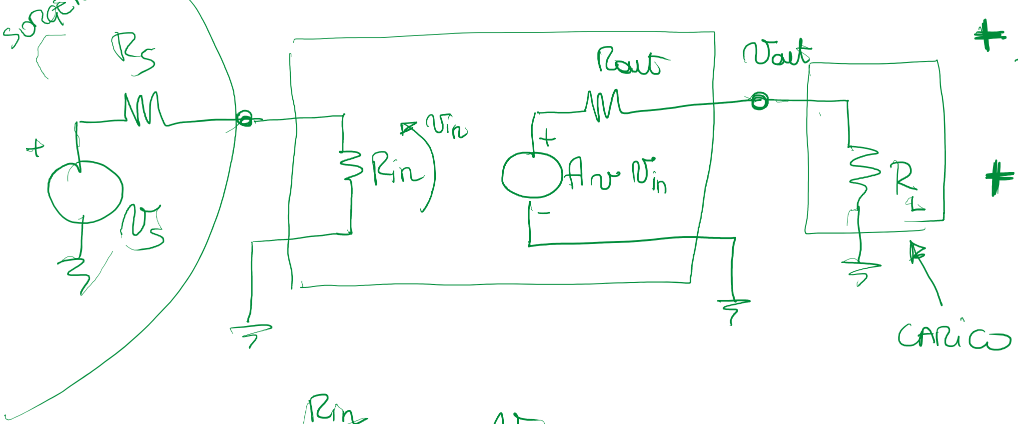
$\to v_g = \frac{-v_d}{g_m R_D}$

$$V_{GD_{\text{polarizz.}}} - v_d \left(1 + \frac{1}{g_m R_D}\right) < V_{Tn}$$

sotto le hp. di piccolo segnale ...

... ma studiare la dinamica vuol dire guardare il GRANDE SEGNALE

AMPLIFICATORE DI TENSIONE



+ buon lettore di tensione in ingresso
↳ $R_{in} \to \infty$

+ buon generatore di tensione in uscita
↳ $R_{out} \to 0$

$$v_{in} = \frac{R_{in}}{R_{in}+R_S} v_S$$

part. in ingresso

partiz. di uscita

$$v_{out} = (A_v v_{in}) \frac{R_L}{R_{out}+R_L}$$

guadagno di tensione ideale ↓

$$G_{tot} = \frac{v_{out}}{v_S} = \frac{R_{in}}{R_{in}+R_S} \cdot A_v \cdot \frac{R_L}{R_{out}+R_L}$$