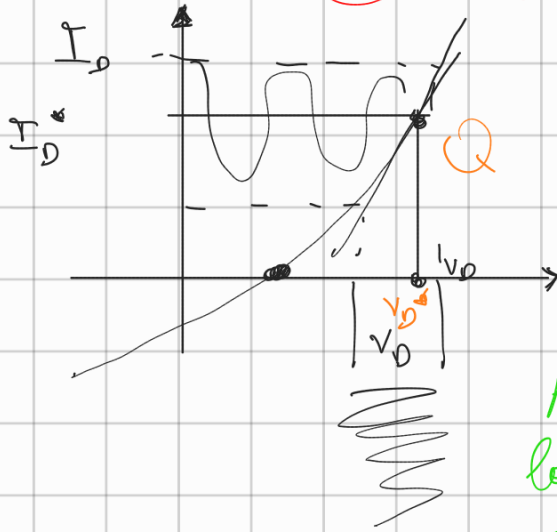


Piccoli segnali:

In un circuito amplificatore

(1)

Diodo, più facile di p non lineare



Approssimo nel mio punto di lavoro questa curva con una retta.

• Schematizzabile con



$$r_d = \frac{1}{g_d}$$

pendenza differenziale del diodo

è una pendenza costante, fissata da V_m

Piccolo segnale: Scelto il punto di lavoro I_D^* e V_D^* e applico un segnale al mio diodo, mi aspetto una risposta non lineare dipendente dalla

Barra con VI del Diodo

Questa Approssimazione intorno del mio segnale è valida?

Se il segnale in ingresso è GROSSO, non è vera linearizzazione. Diodo con una retta di pendenza g_d

Tensione che applico al diodo $V_D = V_D + v_d$

Costante $\swarrow$ V_D

VARIABILE, AC $\swarrow$ v_d

$i_D = I_D + i_d$

i_D diodo $\swarrow$ I_D costante corrente di polarizzazione $\swarrow$ i_d variabile corrente di segnale

$$i_D = A \sin(2\pi f_o t) \cdot g_d + \frac{K}{r_d}$$

parte in continua della corrente $\swarrow$ $\frac{K}{r_d}$

$\frac{V_D}{R}$

$$v_d = \frac{A \sin(2\pi f_o t)}{r_d} + \frac{K}{r_d}$$

Segnale $\swarrow$ v_d

K è proprio V_D^* che genera una I_D^* nel grafico, mi determiniamo il punto di lavoro.

è la pendenza della caratteristica I_D dal diodo nel punto di lavoro. Come Barrogi?

$g_d = \text{conduttanza differenziale}$

$$\Rightarrow i_d = g_d \cdot v_d$$

$\hookrightarrow$ grandezza che lega parte variabile della tensione alla corrente del diodo, è la pendenza della retta

è la derivata della curva del i_D grande

$g_d = \frac{\partial i_D}{\partial V_D} \bigg|_{Q \text{ punto di lavoro}}$
 dove $Q(V_D^*, I_D^*)$ PUNTO DI LAVORO
 $i_D = I_S e^{\frac{V_D}{V_T}} - 1$
 equivalente a fare || nel punto di lavoro
 $g_d = \frac{\partial i_D}{\partial V_D}$ ← la parte costante va via di V e i
 ← mi basta ricordarmi l'espressione della corrente.

$= \frac{\partial}{\partial V_D} \left[I_S \left(e^{\frac{V_D}{V_T}} - 1 \right) \right] =$
 $= \frac{I_S}{V_T} e^{\frac{V_D}{V_T}} \bigg|_Q = \frac{I_S}{V_T} \left[e^{\frac{V_D^*}{V_T}} + 1 - 1 \right]$
 $= \frac{I_D^*}{V_T}$
 → V_D grande sto calcolando nel punto di lavoro
 Q lo conosco
 → parte prima e parte variabile
 da calcolare nel punto di lavoro
 se supponiamo che

$g_d = \frac{I_D^* + I_S}{V_T} \Rightarrow I_D^* \gg I_S$
 $\Rightarrow g_d = \frac{I_D^*}{V_T}$
 $r_d = \frac{1}{g_d} = \frac{V_T}{I_D^*}$
 Corrente inversa di saturazione
 ragionevole supporre, perché lui è in conduzione
 Sono d'accordo a 0,6 V, la corrente è qualche mA vs μA

a T ambiente 25 mV

La diode che dipende molto dal punto di lavoro

parametri dinamici dipendono fortemente dal punto di lavoro

Fissata la temperatura, per conoscere r_d mi basta conoscere il punto di lavoro, I_D^* , dunque V_D^*

← e sostituirlo dunque con un circuito

⇒ Se voglio che Diodo sia lineare, la g_d mi rappresenta

la pendenza della retta con cui voglio linearizzare;

Fino a che punto è valida questa approssimazione? quanto deve essere piccolo V_d per essere un piccolo segnale? Scrivo espressione della corrente

$$i_d = g_d \cdot V_d$$

$$i_D = I_S \left[e^{\frac{V_D}{V_T}} - 1 \right]$$

$$i_D = I_D + i_d$$

$$V_D = V_D + V_d$$

$$i_d = g_d \cdot V_d$$

dove $V_D = V_D + V_d$
 $i_D = I_D + i_d$

$$I_D + i_d = I_S \left[e^{\frac{V_D}{V_T}} \cdot e^{\frac{V_d}{V_T}} - 1 \right]$$

sviluppo TAYLOR e^x , $x = \frac{V_d}{V_T}$, centrato in 0
 $x + \frac{1}{2}x^2 + \frac{1}{6}x^3$

$$I_D + i_d = I_S \left[e^{\frac{V_D}{V_T}} - 1 \right] + I_S e^{\frac{V_D}{V_T}} \left[\frac{V_d}{V_T} + \frac{1}{2} \left(\frac{V_d}{V_T} \right)^2 + \dots \right]$$

sviluppo Taylor di un exp quando l'argomento ha parte più piccola di 1, voglio sapere quanto è piccolo V_d

so che $V_d \ll V_T \Rightarrow$ in prima approssimazione.
 riconosco la parte costante, cancello

$$i_d = I_S e^{\frac{V_D}{V_T}} \left[\frac{V_d}{V_T} + \frac{1}{2} \left(\frac{V_d}{V_T} \right)^2 + \dots \right]$$

contributo della parte variabile della corrente
 e voglio che sia relaz. lineare tra tensione e corrente diodo
 $i_d = g_d \cdot V_d$

Sono interessato alla componente variabile nel diodo

$$\Rightarrow i_d \approx \left(\frac{I_S}{V_T} e^{\frac{V_D}{V_T}} \right) \cdot V_d = \frac{I_D + I_S}{V_T} \cdot V_d$$

se soddisfab. questa relazione allora $i_d \approx g_d V_d$

g_d

Questo è vero quando voglio che il resto sia trascurabile

$$\frac{V_d}{V_T} \gg \frac{1}{2} \left(\frac{V_d}{V_T} \right)^2 \Rightarrow V_d \ll 2 V_T$$

$V_d < 50$ mV cond. suff. ma voglio andare più sicuro.
 cond. sufficiente STO LO VALORE 200mV

Piccolo segnale per un DIODO

almeno lo Velle più piccolo

$$\Rightarrow V_d \leq 5 \text{ mV}$$

- Se applico V variabile ad un diodo, la scelta della resistenza differenziale r_d ^{che lavora nel diodo} sarà una CATTIVA

APPROSSIMAZIONE

per applicare modello piccoli segnali

$$r_s \approx \frac{V_T}{I_D} \Rightarrow i_d = g_d V_d \text{ se } |V_d| \ll 2 V_T \Rightarrow |V_d| \ll 5 \text{ mV}$$

allora g_d è una buona appross.

$$g_d = \frac{I_D^* + I_S}{V_T}$$

- per applicare un modello a V_T $\frac{|V_d|}{V_T} \ll \frac{1}{2}$

piccoli segnali $V_d \leq 5 \text{ mV}$ per DIODO

$$\frac{1}{r_d} \Leftrightarrow \frac{1}{r_d} \approx \frac{V_T}{I_D} \text{ se } |V_d| \ll 2 V_T$$

$\Rightarrow$ Se vale per DIODO vale anche per BJT ecc

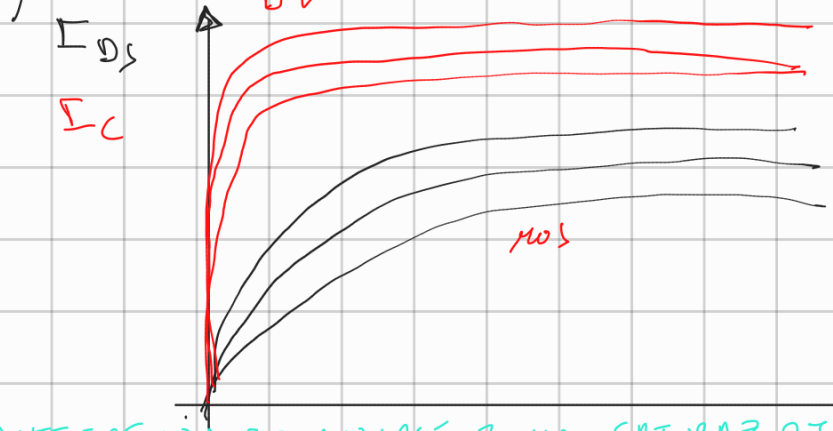
I circuiti che posso sostituire ai miei BJT per farne un'analisi a piccoli segnali

Es. MOS, voglio fare un amplificatore. su DIODO ho FISSATO

V_D^* e I_D^* . Con MOS voglio fissare V_{DS}^* e I_{DS}^* , due grandezze che ci consentono di coprire il FATTORE DI APPROSSIMAZIONE che voglio approssimare con unaretta tangente. la polarizzazione serve LA POLARIZZAZIONE È COSTANTE serve per stabilire dove FISSO PUNTO.

Devo cambiare il circuito di BJT a seconda dello Slope

MOS come BJT nel sovradimensionamento

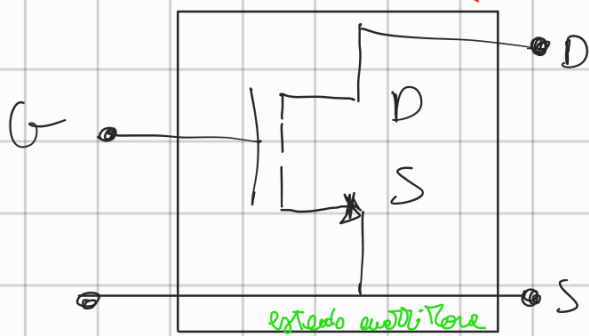


Da N a P cambiamo le polarità

- 1) Parametri Modello
- 2) Quanto vale con Velle piccolo segnale

DIFFERENZA SOSTANZIALE ZONA SATURAZ BJT VS ZONA lineare MOS. nel BJT sono tutti schiacciato verso sx

MOS Canale N ed arricchimento



lo vedo come un quadrupolo

=> Trovo un Modello

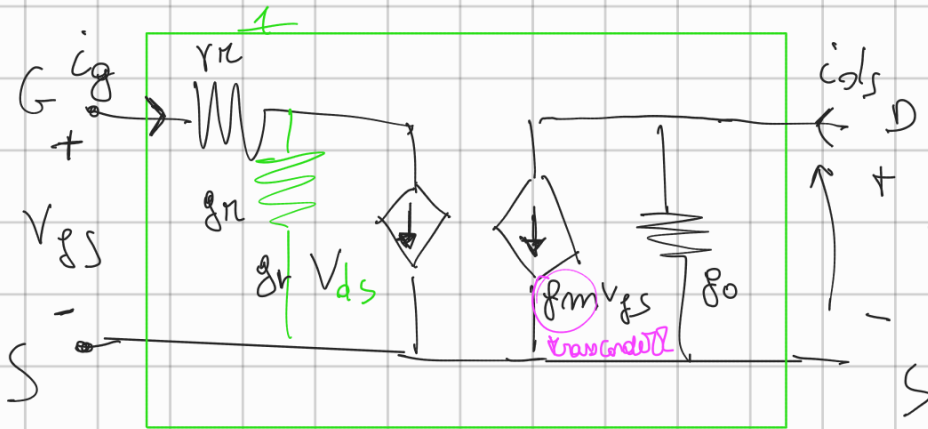
Trovo parametri rispetto al punto di lavoro

Modello per piccoli segnali,

i Parametri variano solo per segnali in Alternata

g_m Trans. condutt.

$g_r =$



modello che vale per i segnali in alternata

- MOS applico una Tensione, ottengo una corrente.
Per Tensione è un parametro INDIPENDENTE

$$\left\{ \begin{array}{l} \bullet \quad i_g = g_{r1} V_{gs} + g_{r2} V_{ds} \quad (?) \\ \bullet \quad i_{ds} = g_m V_{gs} + g_o V_{ds} \end{array} \right\} \quad \text{Modello alle Variazioni}$$

1. NOTIZIE SEGNALI

prevedere in ingresso

$$V_{GS} = V_{GS} + v_{gs}$$

$$i_{DS} = I_{DS} + i_{ds}$$

$$V_{DS} = V_{DS} + v_{ds}$$

$$i_{GS} = I_{GS} + i_{gs}$$

se in ingresso ho i_{gs}

Buoni parametri

in alternanza

NEL GATE
NON PASSA CORR.
E' UN CONDENSAT
= 0
NON PASSA
CORRENTE

$$\Rightarrow g_m = \frac{\partial i_{GS}}{\partial V_{GS}} \Big|_Q \Rightarrow g_m = \frac{i_{GS}}{V_{GS}}$$

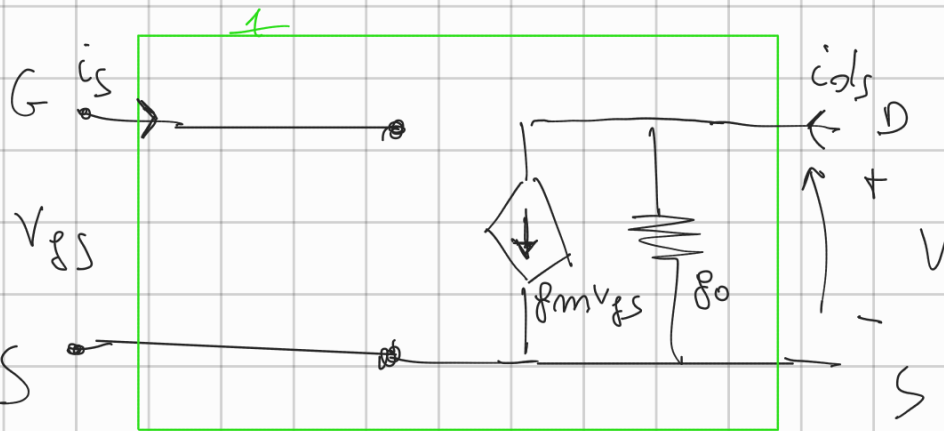
dato da coppia
con $V_{DS}=0$ V_{DS}^* , i_{DS}^*

i_{GS} segue nulla

Prima cosa da fare con MOS, trovare punto
di lavoro, trovando coppia V_{DS}^* e i_{DS}^*
quella e' la sua polarizzazione.

$$\Rightarrow g_r = \frac{i_{GS}}{V_{DS}} = 0 \Leftrightarrow i_{GS} = 0$$

→ NO RESISTENZA INFINITA e generazione di
CORRENTE NULLA



corrente MOS i_{DS}
varia i_{DS} con V_{GS}
tenere V_{GS}

g_m varia a seconda
del comportamento del
MOS

$$g_m = \frac{\partial i_{DS}}{\partial V_{GS}} \Big|_Q = \frac{\partial i_{DS}}{\partial V_{GS}} \Big|_Q$$

transconduttanza

DEVO SAPERE
IN CHE ZONA SONO

la i_{DS} ha

piu' equazioni a seconda
della zona.

→ ho 2 comportamenti
2 forme diverse
devo sapere la forma della corrente

CHE USO VOGLIO FARE



$$i_{DS} = k_n \left[(V_{GS} - V_{TH}) v_{DS} - \frac{1}{2} v_{DS}^2 \right]$$

$\frac{v_{DS}^2}{2}$ si tiene conto che lo pensiamo, si sta riprendendo la curva

eq. lineare se v_{DS} piccola. $\lambda = \frac{g_m}{V_{max}}$

Voglio usare MOS come amplificatore, uso il MOS in saturazione, e conosco l'eq.

→ sia componente polinom. de uguale

$$\Rightarrow i_{DS} = \frac{k_n}{2} \left[(V_{GS} - V_{TH})^2 \right] \left(1 + \lambda v_{DS} \right)$$

$V_{GS}^2 - 2V_{GS}V_{TH} + V_{TH}^2$

fattore di correz. in satur. di canale

man mano che v_{DS} aumenta, la corrente aumenta un po'. Se v_{DS} piccolo, non conta

$2V_{GS} - 2V_{TH}$

$v_{DS} > V_{GS} - V_{TH}$

Trovo $1/\lambda$ prendendo $i_{DS} = 0$ era la tangente...

$2I_{DS}$ derivata calcolata nel pto di lavoro

$$\Rightarrow g_m = \frac{\partial i_{DS}}{\partial V_{GS}} \Big|_Q = \frac{2}{1} k_n [V_{GS} - V_{TH}] [1 + \lambda v_{DS}]$$

derivata calcolata nel punto di lavoro!

ho sostituito valori grandi

$(V_{GS} - V_{TH})$

moltiplico e divido per $(V_{GS} - V_{TH})$

• Punto di lavoro dato dalla coppia v_{DS}^* , I_{DS}^* , dove è I_{DS} ?
nel pto di lavoro

$$g_m = \frac{2 I_{DS}^*}{V_{GS} - V_{TH}} = \sqrt{2 k_n I_{DS}^* (1 + \lambda v_{DS}^*)} = g_m$$

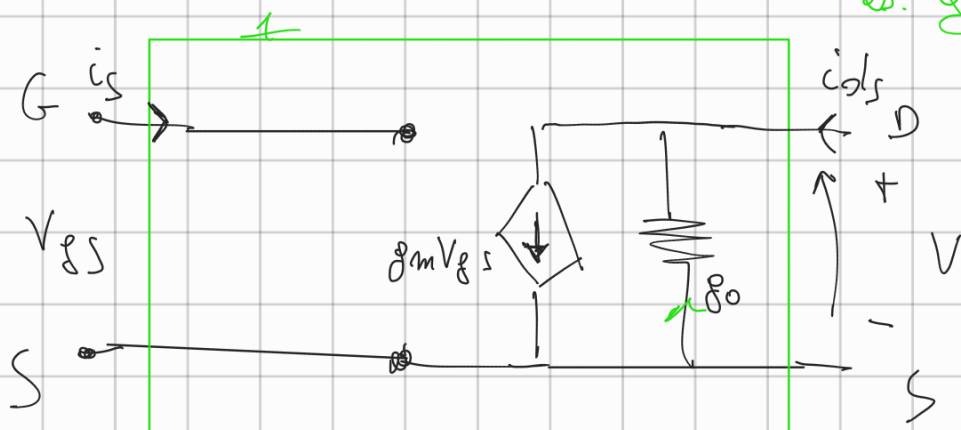
punto di lavoro, trascurati in-out

g_m è la TRANSCONDUCTANZA DIFFERENZIALE

es. $g_m = 10$, nella maglia la tensione vale lo stesso quella d'ingresso

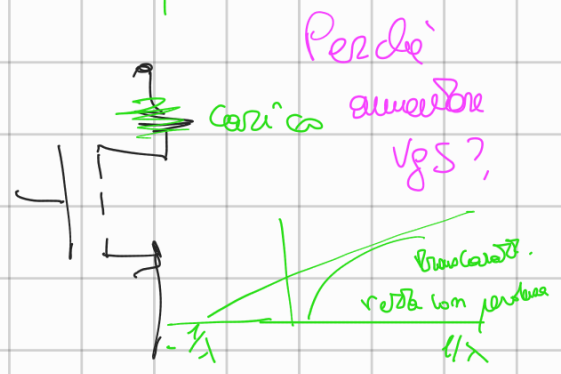
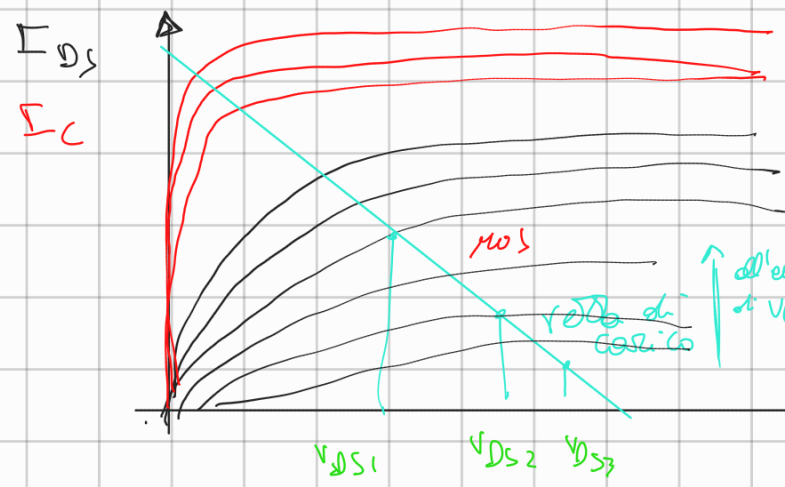
es. $g_o = 1 \Omega$, $V_{oot} = -10 V_{in}$

ho un
amplificatore



★ per amplificare mi basta una corrente I_{DS} e una Tensione V_{DS} . Es. se voglio che $g_m = 10$, scelgo...
parametri... voglio 20? avendo V_{GS} in modo da trovare un punto di lavoro con la mia
retta di carico che mi dia una V_{DS} e I_{DS} tale che il modello sia 20

MOS
E.C. $g_m = 20$
BOT



Perché
carica aumenta
 V_{GS} ?
se aumento V_{GS} , aumento
corrente, per cui troverò una
coppia I_{DS} V_{DS} che mi
fa il pedaggio g_m che voglio

→ Fermo allora V_{GS} e... SOTTAPONGO UN SEGNALE!

$$g_o = \frac{\partial i_{DS}}{\partial V_{DS}} \bigg|_Q = \frac{k_n}{2} [V_{GS} - V_{TH}]^2 (1 + \lambda V_{DS})$$

moltiplico di v. per $(1 + \lambda V_{DS})$

$$g_o = \frac{1}{2} k_n [V_{GS} - V_{TH}]^2 = \lambda \frac{I_{DS}}{(1 + \lambda V_{DS})} = \frac{I_{DS}}{\frac{1}{\lambda} + V_{DS}}$$

se divido per λ
semplice
se divido per λ
semplice
semplice

$\frac{1}{\lambda}$ è molto grande, λ è molto piccolo

$i_{DS} = 0$, esce retta
semplice
 $\lambda = -50, 60$ volt.

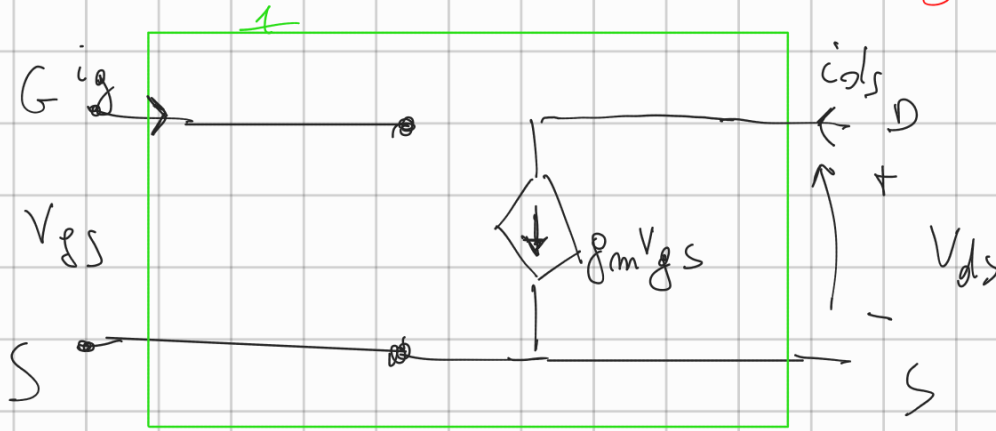
$$g_o \approx \frac{1}{\lambda I_{DS}}$$

$\frac{1}{\lambda}$ per molto di più
 - generalmente in un mos la corrente è
 una manciata di milliamperere

$$\Rightarrow r_o = \frac{1}{\lambda I_{DS}}$$

È una resistenza **GRANDISSIMA**
 molto più grande del mio
 carico

Modello del MOS a piccoli segnali



da libro, max
 guastato di tensione in
 uscita

$$A_{v0} = \frac{V_{gs}}{V_{ds}} = -g_m r_o$$

Con $g_m = \frac{2 I_{DS}}{V_{GS} - V_{TH}}$

	BJT	MOS
g_m	$\frac{I_C}{V_T} \sim 25 \text{ mV}$	$\frac{2 I_{DS}}{V_{GS} - V_{TH}} = \frac{I_{DS}}{V_{GS} - V_{TH}}$ superiore del well
r_o	$\frac{V_A}{I_C}$	$\frac{1}{\lambda I_{DS}}$ $g_o = \lambda I_{DS}$
r_{π}	$\frac{\beta_0}{I_C}$	Capacitivo a Vearly ∞

a parità di punto di lavoro
 le r_o sono comparabili

dove $V_{GS} < 2(V_{GS} - V_{TH})$

a parità di
 corrente di polariz.

Nel MOS ci sia
 una transconduttanza
 molto più piccola
 di quella di un BJT

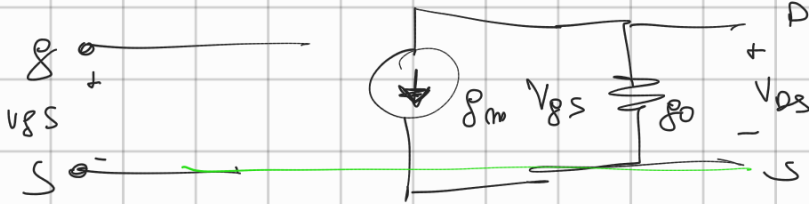


ho fattore di
 amplif. cos. corrente
 molto più piccolo
 nel MOS



Linearizator MOS

Case N



$$g_m = \frac{I_{DS}^*}{\left(\frac{V_{GS} - V_{TH}}{2}\right)}$$

$$g_o = \lambda I_{DS}^*$$

View 2 $V_{GS} \ll 2(V_{GS} - V_{TH})$

Se mos a derivada $\rightarrow V_{GS} \ll 2(V_{GS} - V_{TH})$

$$g_m = \frac{I_{DS}^*}{\left(\frac{V_{GS} - V_{TH}}{2}\right)}$$

$$g_m = \frac{I_{SD}^*}{\left(\frac{V_{SG} - V_{TH}}{2}\right)}$$

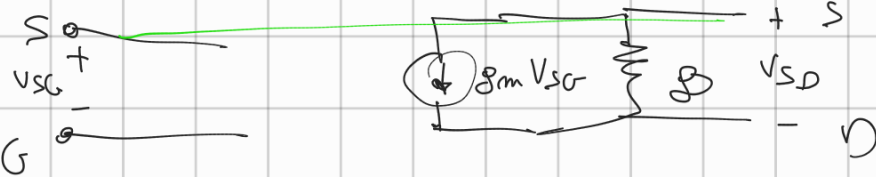
$$g_o = \lambda I_{SD}^*$$

psubstitu

$$V_{GS} \ll 2(V_{GS} - V_{TH})$$

$$g_m = \frac{I_{SD}^*}{\left(\frac{V_{SG} - V_{TH}}{2}\right)}$$

Case P



Se mos a derivada