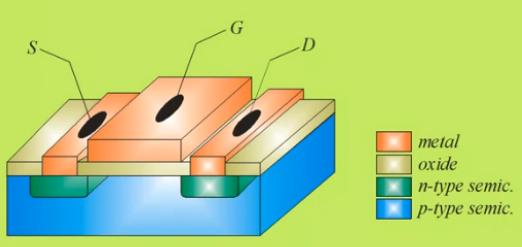


# Mosfet

martedì 1 agosto 2023 16:37

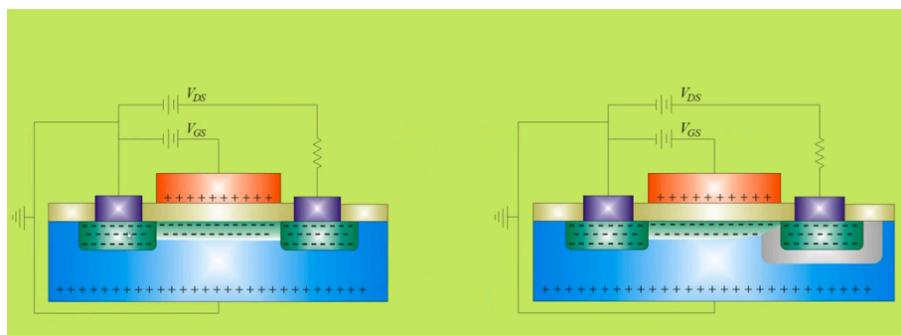
Secondo tipo di transistor più usato (opposto al bjt) . Permette di simulare gli altri componenti. Si comporta come un generatore di corrente controllato in tensione . Funziona per effetto di campo(fet) e all'interno ha una sezione a metallo con semi-conduttore (mos).

**Source è equivalente di emettitore, Drain è collettore , Gate è equivalente della base.**

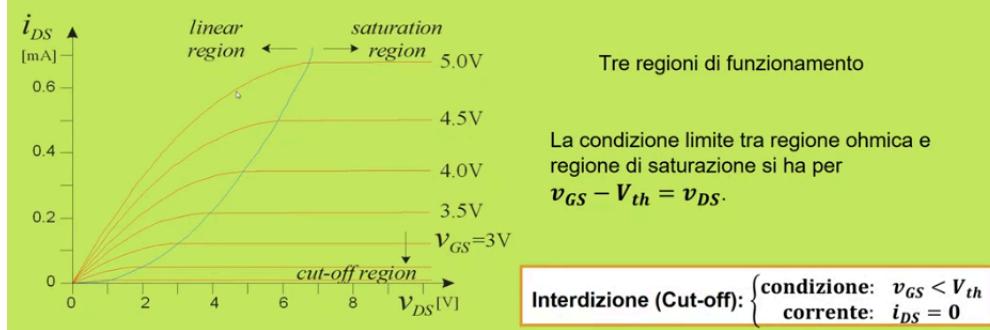


Da notare che nel semi-conduttore drogato di tipo p(lacune) , vengono realizzati due pozetti, che sono drogati in modo n(elettroni).

Se applico una ddp tra source e drain, vi deve scorrere una corrente ma non è così , ma visto che funziona inversamente del bjt, non voglio che mi si sopravvivono cariche , quindi si devono ricombinare tutte. Quindi decide tutto il gate, e se applico una tensione tra gate e sub-strato si accumulano cariche positive a ridosso dell'ossido (sopra) , mentre sotto ossido (volumetrico) si avrà accumulo di cariche negative , creando lo strato di inversione , quindi un canale diretto tra source e drain. In dettaglio :



Il suo parametro fondamentale è Gm (transcondutanza) in quanto è un rapporto tra corrente di uscita su tensione di ingresso. Da notare che la parte nel sotto-pozetto di drain è la zona svuotata che si oppone alla tensione del gate , quindi ho un contrasto tra le tensioni. Da notare che il canale si può chiudere fino ad un limite , ma senza chiudersi (effetto di campo/ pinch-off) quindi :



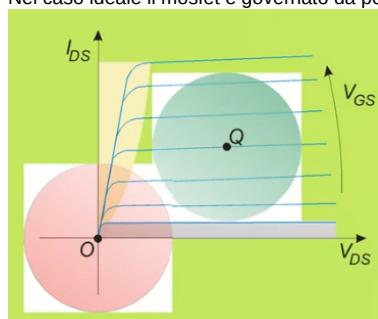
**Ohmica o triodo o lineare (Ohmic or triode, or linear):**

$$\begin{cases} \text{condizione: } v_{GS} - V_{th} > v_{DS} > 0 \\ \text{corrente: } i_{DS} = K_n [2(v_{GS} - V_{th})v_{DS} - v_{DS}^2] \end{cases}$$

**Saturazione (saturation):**

$$\begin{cases} \text{condizione: } 0 < v_{GS} - V_{th} < v_{DS} \\ \text{corrente: } i_{DS} = K_n (v_{GS} - V_{th})^2 (1 + \lambda v_{DS}) \end{cases}$$

Nel caso ideale il mosfet è governato da potenza 0, ma in realtà non lo è.

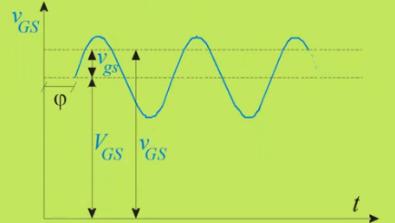


$$v_{GS}(t) = V_{GSQ} + v_{gs}(t)$$

$$v_{DS}(t) = V_{DSQ} + v_{ds}(t)$$

$$v_{DG}(t) = V_{DGQ} + v_{dg}(t)$$

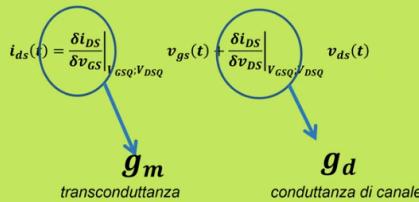
$$i_{DS}(t) = I_{DSQ} + i_{ds}(t)$$



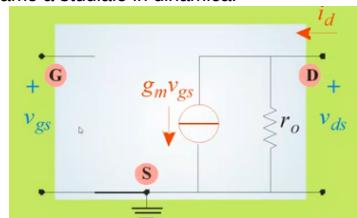
Analogamente a quanto fatto nel bjt, si usa taylor per sviluppo in serie:

$$\begin{aligned} i_{DS}(t) &= f\{v_{GS}(t); v_{DS}(t)\} & i_{DS}(t) \\ I_{DS,Q} &= f\{V_{GSQ}; V_{DSQ}\} & \cong I_{DSQ} + \left. \frac{\delta i_{DS}}{\delta v_{GS}} \right|_{V_{GSQ}; V_{DSQ}} v_{gs}(t) \\ & & + \left. \frac{\delta i_{DS}}{\delta v_{DS}} \right|_{V_{GSQ}; V_{DSQ}} v_{ds}(t) \end{aligned}$$

Dato che possiamo applicare la sovrapposizione degli effetti, possiamo trattare separatamente le quantità DC, focalizzandoci ora alle sole componenti AC



Andiamo a studiarlo in dinamica:



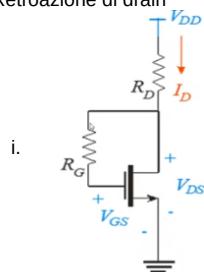
Non c'è corrente in ingresso.

$$r_o \stackrel{\text{def}}{=} \left( \frac{\delta i_{DS}}{\delta v_{DS}} \right)^{-1} \Big|_{V_{GSQ}; V_{DSQ}} = \frac{1}{\lambda K_n (v_{GS} - V_{th})^2} \cong \frac{1}{I_{DS}}$$

**regione di saturazione**       $\begin{cases} \text{condizione: } 0 < v_{GS} - V_{th} < v_{DS} \\ \text{corrente: } i_{DS} = K_n (v_{GS} - V_{th})^2 (1 + \lambda v_{DS}) \end{cases}$

Vediamo ora come polarizzarlo (sulla falsa liga del bjt):

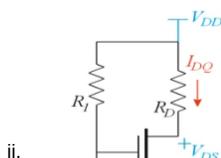
a. Retroazione di drain

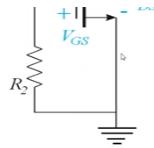


ii. Da notare che  $V_{GS} = V_{DS}$  in quanto sulla resistenza non ci va corrente

b. Partitore di tensione

i. Manca la Re (Rs) nel nostro caso





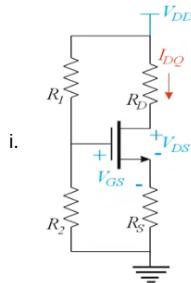
iii. Nel gate non scorre corrente

$$V_{GS} = \frac{R_2}{R_2 + R_1} V_{DD}$$

iv.

$$V_{DD} = R_D I_D + V_{DS}$$

c. Partitore di tensione con stabilizzazione in temperatura:



$$V_{GS} = V_G - V_S$$

$$\text{ii. } V_G = \frac{R_2}{R_2 + R_1} V_{DD}$$

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

iii. Ricordando che il mosfet lavora in saturazione e che l'equazione di uscita è la seguente e con condizioni di stabilità:

$$\text{iv. } V_{GSQ} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{DD} - R_S I_{DSQ}$$

$$\text{v. } Q \equiv \{I_{DSQ}; V_{DSQ}; V_{GSQ}\}$$

vi. Quindi mettendo a sistema e vedendo che è equazione di secondo grado, si ha come soluzione:

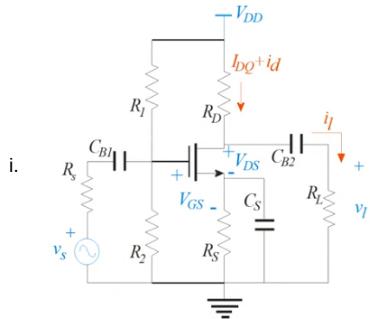
$$I_{DSQ1} \cong K_n (V_{GSQ1} - V_{th})^2$$

1.

$$I_{DSQ2} \cong K_n (V_{GSQ2} - V_{th})^2$$

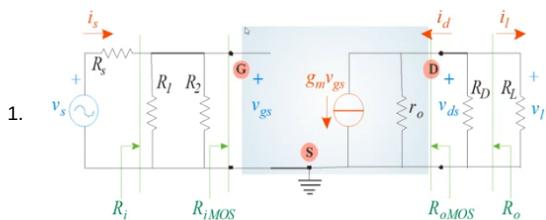
Andiamo a studiarlo coni circuiti :

a. Common source : c-s:



ii. Per la statica a 4 resistenze

iii. Per la dinamica :



$R_{iMOS} \stackrel{\text{def}}{=} \frac{v_{gs}}{i_g} \quad R_{iMOS} = \infty$ $R_i \stackrel{\text{def}}{=} \frac{v_{gs}}{i_s} \quad R_i = R_1    R_2$
--

$i_s$ 

b.

$$R_{oMOS} \stackrel{\text{def}}{=} \left. \frac{v_{ds}}{i_d} \right|_{R_L \text{ "open"}} \quad R_{oMOS} = r_o$$

$$R_o \stackrel{\text{def}}{=} \left. \frac{v_{ds}}{i_l} \right|_{R_L \text{ "open"}} \quad R_o = r_o || R_D$$

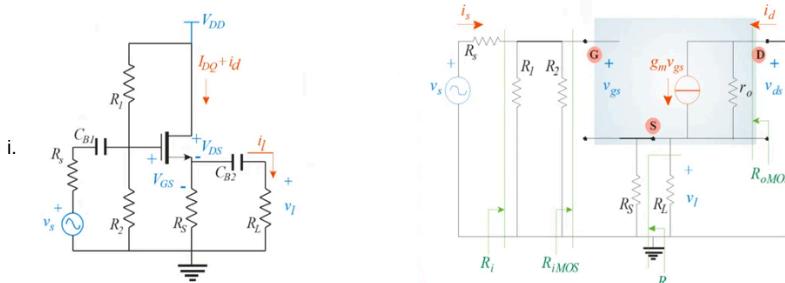
c.

$$A_v = \frac{v_l}{v_s} = \frac{v_{ds}}{v_s} = \frac{v_{ds}}{v_{gs}} \frac{v_{gs}}{v_s} = A_{vMOS} \alpha_{v,i}$$

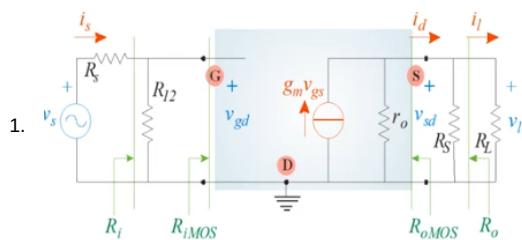
$$\alpha_{v,i} = \frac{R_G}{R_G + R_s}$$

d. Amplificazione in corrente non c'è, in quanto non c'è corrente di ingresso

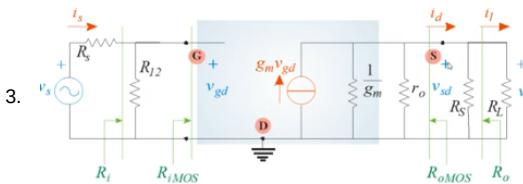
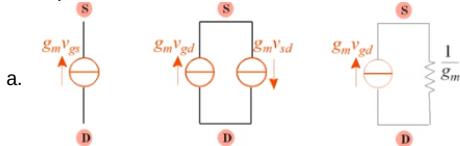
b. Drain comune : c-d:



ii. Visto che la configurazione è difficile da studiare, invertiamo source e drain:



2. Data equivalenza tra nodi :



$$R_{iMOS} = \infty \quad R_i = R_1 || R_2$$

$$A_{vMOS} \stackrel{\text{def}}{=} \frac{v_{sd}}{v_{gd}} = \frac{g_m(r_o || R_S || R_L)}{1 + g_m(r_o || R_S || R_L)}$$

iii.

$$R_{oMOS} = \frac{1}{g_m} || r_o \quad R_o = \frac{1}{g_m} || r_o || R_S$$

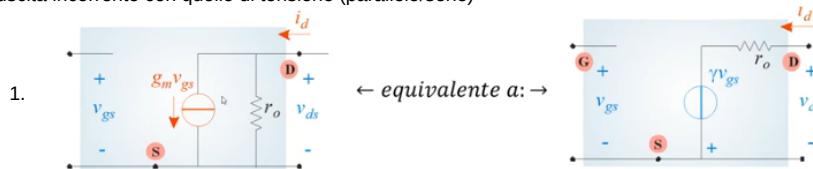
$$A_v = \frac{g_m(r_o || R_S || R_L)}{1 + g_m(r_o || R_S || R_L)} \frac{R_G}{R_G + R_S}$$

c. Gate comune : c-g

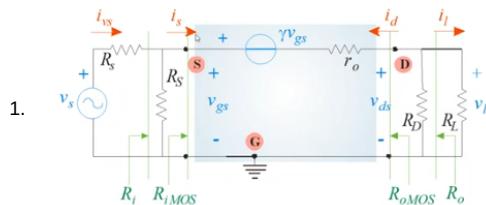




- ii. Per analizzarlo in dinamica, un'idea potrebbe essere scambiare il generatore di uscita incorrente con quello di tensione (parallelo/serie)



- iii. Quindi il circuito , diventa il seguente, avente il gate a massa :



$$R_{iMOS} = \frac{v_{sg}}{i_s} = \frac{-v_{gs}}{-i_d} = \frac{r_o + (R_D || R_L)}{1 + \gamma} = \frac{r_o + R_D || R_L}{1 + g_m r_o}$$

2.

$$R_i = R_S || R_{iMOS} = R_S || \frac{r_o + R_D || R_L}{1 + g_m r_o}$$

$$R_{oMOS} = \frac{v_{dg}}{i_d} = r_o + (1 + g_m r_o)(R_S || R_S)$$

3.

$$R_o = R_D || R_{oMOS} = R_D || [r_o + (1 + g_m r_o)(R_S || R_S)]$$

$$A_{vMOS} = \frac{v_{dg}}{v_{sg}} = (1 + g_m r_o) \frac{R_D || R_L}{r_o + (R_D || R_L)}$$

$$A_v = (1 + g_m r_o) \frac{R_D || R_L}{r_o + (R_D || R_L)} \frac{R_S}{R_S + R_S}$$

5. Da notare che in questa configurazione , l'amplificazione in corrente, viene considerata unitaria.

Riassumendo :

Amplificatore	CS	CD	CG
$A_{vMOS}$	$> 1$ $-g_m(r_o    R_D    R_L)$ degraded by $R_S$	$\cong 1$ $\frac{g_m(r_o    R_S    R_L)}{1 + g_m(r_o    R_S    R_L)}$	$> 1$ $(1 + g_m r_o) \frac{R_D    R_L}{r_o + (R_D    R_L)}$ degraded by $R_S$
$A_{iMOS}$	-	-	$\cong 1$
$R_{iMOS}$	$\infty$	$\infty$	basso + moderatam. basso $\frac{r_o + R_D    R_L}{1 + g_m r_o}$ decreased by $R_S$
$R_{oMOS}$	Moderato + alto $r_o$	basso + moderatam. basso $\frac{1}{g_m}    r_o    R_S$ decreased by $R_S$	Moderato + alto + molto alto $r_o + (1 + g_m r_o)(R_S    R_S)$
Parametro	Ampli di tensione transconduttanza	Buffer di tensione	Buffer di corrente
Sfasamento	$\pi$ or $(2n + 1)\pi$	nessuno o $2\pi$	nessuno o $2\pi$

