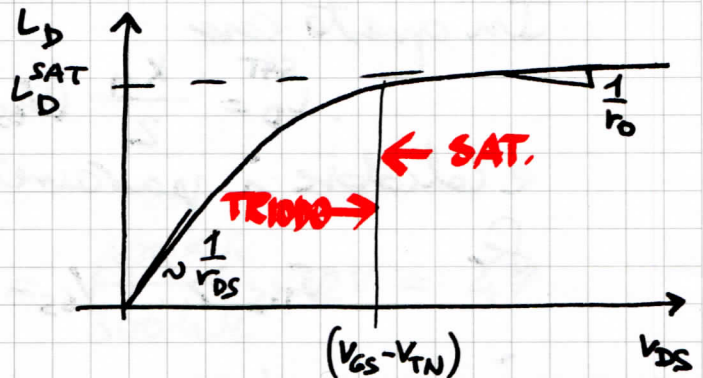
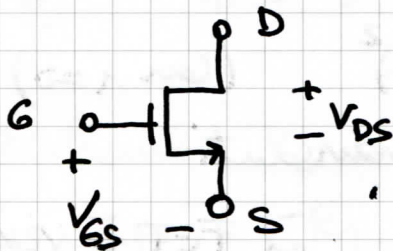


ESERCIZI SUL MOSFET

Riduciamo formule e notazioni di base



Nella regione di triodo:

$$I_D = k_M \left[(V_{GS} - V_{TN}) - \frac{V_{DS}}{2} \right] V_{DS}$$

Nella regione di saturazione:

$$I_D = \frac{k_M}{2} (V_{GS} - V_{TN})^2 (1 + \lambda V_{DS})$$

in saturazione, I_D non dipende quasi da V_{DS} (piccola dipendenza nel caso reale legata a λ): il drain è isolato grazie al PINCH-OFF

COME DETERMINARE LA REGIONE di FUNZIONAMENTO

• controllare V_{GS} :

- $V_{GS} < V_{TN}$, il FET è OFF $\rightarrow I_D = 0$

- $V_{GS} > V_{TN}$, il FET è ON, possono esserci

due regioni:

SATURAZIONE

REGIONE di TRIBO

Come procedere:

1) ipotizzare la regione di SATURAZIONE.

In questo caso

$$I_D^{SAT} = \frac{K_M}{2} (V_{GS} - V_{TN})^2 \quad (\text{con } \lambda = 0)$$

e calcolare i parametri mancanti

Se $V_{DS} > (V_{GS} - V_{TN})$ il FET è veramente in SATURAZIONE

in caso contrario

2) verificare se siamo nella regione di TRIODO. Calcolare

$$I_D = K_M \left[(V_{GS} - V_{TN})^2 V_{DS} - \frac{V_{DS}^2}{2} \right]$$

e determinare i parametri mancanti.

Verificare infine che $V_{DS} < (V_{GS} - V_{TN})$

ESERCIZIO

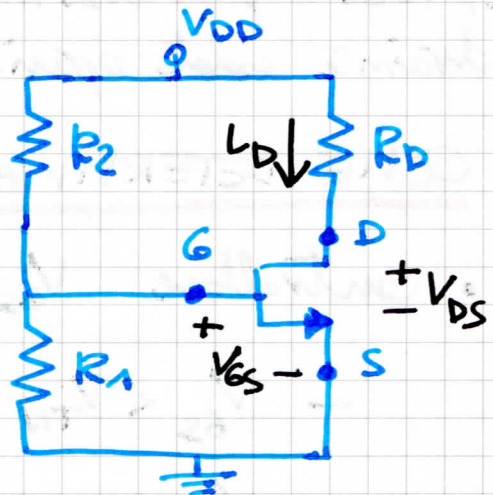
Dato il circuito in figura, determinare il punto di lavoro

$$Q (V_{GS}, I_D, V_{DS})$$

Parametri del circuito:

$$K_M = 0,5 \text{ mA/V}^2 ; V_{TN} = 1 \text{ V} ; \lambda = 0 \text{ (MOSFET IDEALE)}$$

$$V_{DD} = 12 \text{ V} ; R_1 = 100 \text{ k}\Omega \text{ e } R_2 = 200 \text{ k}\Omega$$



Considerare i casi:

A) $R_D = 2k\Omega$

B) $R_D = 5k\Omega$

Calcolare V_G

$$V_G = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{DD} = \frac{100k\Omega}{300k\Omega} \cdot 12V = 4V$$

$$V_{GS} = V_D - V_S = V_D = 4V \quad (\text{il source è a massa})$$

la corrente di saturazione è

$$I_D^{SAT} = \frac{K_M}{2} (V_{GS} - V_{TN})^2 = \frac{1}{4} 10^{-3} \cdot 3^2 = \frac{9}{4} \text{mA} = 2,25 \text{mA}$$

CASO A: $R_D = 2k\Omega$

Manteniamo i dati di saturazione.

$$V_D = V_{DD} - R_D I_D^{SAT} = 12V - 2k\Omega \cdot \frac{9}{4} \text{mA} = 7,5V$$

$$V_{DS} = V_D - V_S = V_D = 7,5V$$

Poiché $V_{GS} - V_{TN} = 4V - 1V = 3V$
abbiamo

$$V_{DS} = 7,5V > (V_{GS} - V_{TN}) = 3V$$

perciò è confermato che il MOSFET opera
in saturazione. Il punto di lavoro è

$$Q (4V; 2,25\text{mA}; 7,5V)$$

CASO B: $R_D = 5k\Omega$

Manteniamo l'ipotesi di saturazione e calcoliamo i valori del circuito

$$V_D = V_{DD} - R_D I_D^{SAT} = 12V - 5k\Omega \times \frac{9}{4} mA = 0,75V$$

$$V_{DS} = V_D = 0,75V$$

ma in questo caso $V_{DS} = 0,75V < (V_{GS} - V_{TN}) = 3V$

Pertanto siamo passati nella regione di triodo

$$I_D = K_M \left[V_{GS} - V_{TN} - \frac{V_{DS}}{2} \right] V_{DS} = \frac{V_{DD} - V_{DS}}{R_D}$$

$$-\frac{K_M}{2} V_{DS}^2 + V_{DS} \left[K_M (V_{GS} - V_{TN}) + \frac{1}{R_D} \right] - \frac{V_{DD}}{R_D} = 0$$

$$0,25 \cdot 10^{-3} V_{DS}^2 - 1,7 \cdot 10^{-3} V_{DS} + \frac{12}{5} \cdot 10^{-3} = 0$$

$$V_{DS}^2 - 6,8 V_{DS} + 9,6 = 0$$

$$V_{DS} = 3,4 \pm \sqrt{11,56 - 9,6} = 3,4 \pm 1,4 \begin{cases} 4,8V \\ 2V \end{cases}$$

Delle due soluzioni soltanto $V_{DS} = 2V$ è accettabile per rimanere nella regione di TRIODO

$$V_{DS} = 2V < (V_{GS} - V_{TN}) = 3V$$

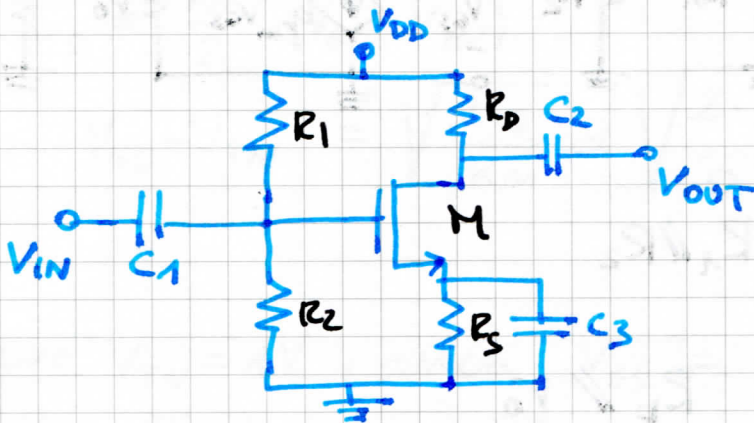
Infine $I_D = \frac{V_{DD} - V_{DS}}{R_D} = 2mA$

e

$$Q(V_{GS}; I_D; V_{DS}) = Q(4V; 2mA; 2V)$$

IL MOSFET COME AMPLIFICATORE IN CONFIGURAZIONE COMMON-SOURCE (CS)

Il tipico circuito è quello indicato in figura:



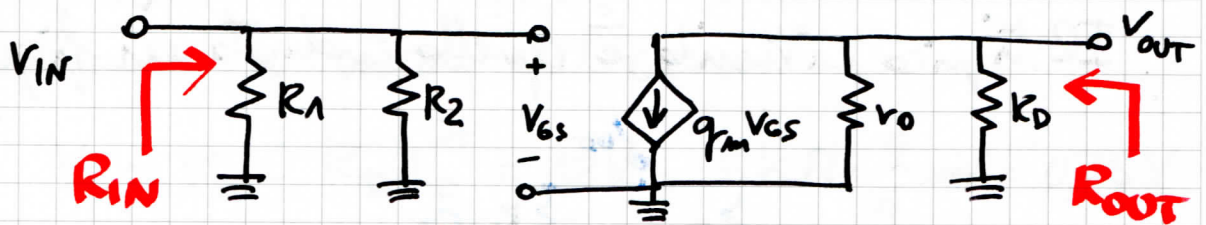
1) Analisi in DC :

- mettere a zero tutte le sorgenti AC
- rimpiazzare il MOSFET con un modello a grandi segnali (impone $\lambda=0$)
- sostituire tutte le capacità con circuiti aperti

2) Analisi in AC :

- porre tutte le sorgenti DC a zero
- rimpiazzare il MOSFET con un modello a piccoli segnali
- rimpiazzare tutte le capacità con corti circuiti

Il circuito equivalente in AC è



$$R_{IN} = R_1 \parallel R_2$$

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

ESERCIZIO

Studiare l'amplificatore con MOSFET in CS di figura.

I parametri sono:

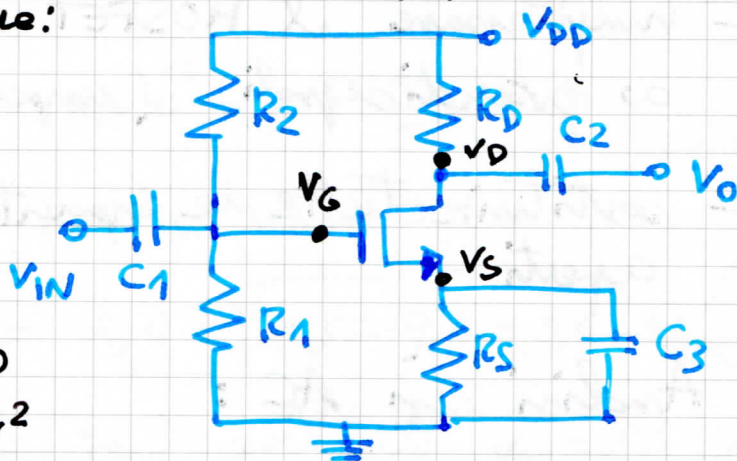
$$V_{DD} = +12V$$

$$R_S = 2k\Omega$$

$$R_1 = 100k\Omega$$

$$V_{TN} = 1V \text{ e } \lambda = 0$$

$$k_M = 0,5 \text{ mA/V}^2$$



Si vuole una corrente $I_D = 0,5 \text{ mA}$ con un'amplificatore $A_{VT}^{CS} = -7 \text{ V/V}$

Finire di dimensionare il circuito (scegliere R_2 e R_D) e calcolare R_{IN} e R_{OUT}

Determiniamo il punto di lavoro in DC.
 Il transistor deve essere in saturazione
 (per funzionare come amplificatore)

$$I_D = \frac{k_M}{2} (V_{GS} - V_{TN})^2$$

$$V_{GS} - V_{TN} = \sqrt{\frac{2I_D}{k_M}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \frac{1}{2} \text{ mA}}{0,5 \text{ mA}}} = \sqrt{2} \text{ V} = 1,41 \text{ V}$$

Dato che $V_{TN} = 1 \text{ V}$, anche $V_{GS} = 2,41 \text{ V}$

$$g_m = \frac{2I_D}{V_{GS} - V_{TN}} = \frac{2 \cdot \frac{1}{2}}{1,41} \approx 0,7 \text{ mS}$$

Poiché il guadagno è dato e $A_{ve}^{CS} = -g_m R_D$

anziché

$$R_D = \frac{-A}{g_m} = +\frac{7}{0,7 \text{ m}} = 10 \text{ k}\Omega$$

$$V_S = R_S I_D = 2 \text{ k}\Omega \times \frac{1}{2} \text{ mA} = 1 \text{ V}$$

$$V_G = V_S + V_{GS} = 3,4 \text{ V}$$

Verifichiamo la regione di saturazione:

$$V_D = V_{DD} - R_D I_D = 12 \text{ V} - 10 \text{ k}\Omega \times \frac{1}{2} \text{ mA} = 7 \text{ V}$$

$$V_{DS} = V_D - V_S = 6 \text{ V} > (V_{GS} - V_{TN}) = 1,4 \text{ V}$$

Dato V_G , determiniamo R_2

$$V_G = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{DD} = \frac{1}{1 + \frac{R_2}{R_1}} V_{DD}$$

$$\frac{V_G}{V_{DD}} = \frac{1}{1 + \frac{R_2}{R_1}} \rightarrow R_2 = R_1 \left(\frac{V_{DD}}{V_G} - 1 \right)$$

$$= 100k \left(\frac{12V}{3,4V} - 1 \right)$$

$$= 250 k\Omega$$

Dall'analisi in AC:



$$R_{IN} = R_1 \parallel R_2 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = 71 k\Omega$$

$$R_{OUT} = R_D \parallel r_o = \frac{R_D r_o}{R_D + r_o} = 10 k\Omega = R_D$$