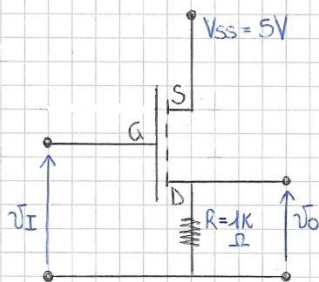


Esercizi svolti sul MOSFET

- ① Tracciare la funzione di trasferimento del circuito.
 Il MOSFET a canale p ad azionamento ha $V_{TP} = -1V$ e $K_p = 10 \text{ mA/V}^2$



1. Vediamo quando il MOSFET è in conduzione

$$V_{GS} > V_{TP} \leadsto V_S - V_G > V_{TP} \leadsto -V_G > V_{TP} - V_S \leadsto V_G < V_S - V_{TP}$$

$$\Rightarrow V_I < (5 - 1) \text{ V} = 4 \text{ V}$$

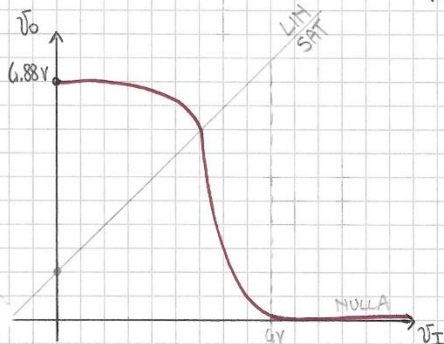
Il MOSFET è: interdetto $\propto V_I > 4 \text{ V} \Rightarrow V_O = 0 \text{ V}$

in conduzione $\propto V_I < 4 \text{ V}$

2. Dobbiamo vedere quando è in regione lineare e quando in regione di saturazione

Condizione di saturazione: $V_{SD} \geq V_{GS} - V_{TP}$

$$V_S - V_D \geq V_S - V_G - V_{TP} \leadsto V_D \leq V_G + V_{TP} \Rightarrow V_O \leq V_I + 1 \text{ V}$$



da questa tracciamo una retta che definisce la zona di saturazione da quella lineare

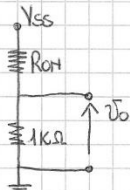
deduco l'andamento da
 $i_{DS} = \frac{K_p}{2} (V_{GS} - V_{TP})^2$

3. Calcoliamo V_O per $V_I = 0 \text{ V}$

Consideriamo la regione per cui $V_{SD} \ll 2(V_{GS} - V_{TP})$

Ho solo una resistenza di conduzione

$$R_{ON} = \frac{1}{K_p(V_{GS} - V_{TP})} = \frac{1}{10 \text{ m}(5 - 0 - 1)} = 25 \Omega$$



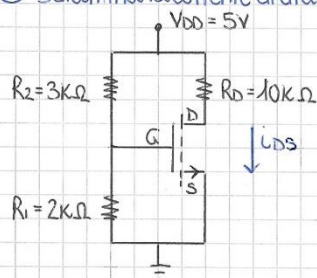
Ho un partitore di tensione

$$V_O = \frac{R}{R + R_{ON}} V_{SS} = \frac{1 \text{ k}}{1 \text{ k} + 25} \cdot 5 = 4.88 \text{ V}$$

Verifico $V_S - V_D < 2(V_{GS} - V_{TP})$

$$5 - 4.88 < 2(5 - 0 - 1) \Rightarrow 0.12 \text{ V} < 8 \text{ V} \quad \checkmark \text{ OK}$$

② Determina la corrente di drain del transistor n-MOSFET $V_{TH} = 1V$, $K_n = 10m A/V^2$



$$\begin{aligned} V_D &= 5V \\ V_S &= 0V \\ V_G &= ? \end{aligned}$$

Troviamo V_G : partitore di tensione

$$V_G = \frac{R_1}{R_2 + R_1} V_{DD} = \frac{2k}{5k} 5 = 2V$$

quindi condizione per la conduzione

$$V_{GS} > V_{TH} \quad 2 > 1 \quad \text{V è verificata}$$

• Supponiamo che il MOSFET sia in saturazione

$$I_{DS} = \frac{K_n}{2} (V_{GS} - V_{TH})^2 = \frac{10m}{2} (2 - 1)^2 = 5mA$$

Verifichiamo che il MOSFET sia in saturazione

$$V_{DS} \geq V_{GS} - V_{TH}$$

$$V_{DD} - I_{DS} R_D - V_S \geq V_G - V_S - V_{TH} \quad \leadsto \quad 5 - 5m \cdot 10k \geq 2 - 1 \quad -45 \geq 1V \quad \text{FALSO}$$

IL MOSFET non è in saturazione, ma in regione lineare

• Usiamo l'equazione dell'iparabola $I_{DS} = K_n (V_{GS} - V_{TH}) V_{DS} - \frac{1}{2} V_{DS}^2$

• Supponiamo di essere nel tratto della caratteristica per cui $V_{DS} \ll 2(V_{GS} - V_{TH})$

Tra D e S trovo una resistenza

$$R_{OH} = \frac{1}{K_n (V_{GS} - V_{TH})} = \frac{1}{10m(2-1)} = 100\Omega$$

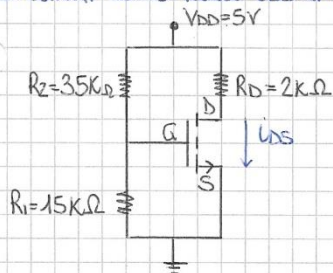
$$\Rightarrow V_{DS} = \frac{R_{OH}}{R_{OH} + R_D} V_{DD} = \frac{100}{100 + 10k} \cdot 5 = 50mV$$

$$\text{+Verifico} \quad 50m \ll 2(2-1) \ll 2V \quad \checkmark OK$$

$$\Rightarrow I_{DS} = 10m \left(50m - \frac{1}{2} (50m)^2 \right) = 4.8 \cdot 10^{-4} A \approx 0.5 \cdot 10^{-3} A$$

$$I_{DS} = K_n (V_{GS} - V_{TH}) V_{DS} = 5 \cdot 10^{-4} = 0.5mA$$

- ③ Si calcoli la corrente I_{DS} con $K_n = 10 \text{ mA/V}^2$ e $V_{TH} = 1 \text{ V}$ ✓
 si calcoli inoltre come varia la corrente I_{DS} al variare di K_n (la derivata di I_{DS} rispetto a K_n nel punto di lavoro fissato)
 si calcoli come varia I_{DS} al variare di V_{TH}



$$\begin{aligned} V_D &= 5 \text{ V} \\ V_S &= 0 \text{ V} \\ V_G &= ? \end{aligned}$$

$$V_G = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{DD} = \frac{15 \text{ k}}{35 \text{ k} + 15 \text{ k}} \cdot 5 = 1,5 \text{ V}$$

Supponiamo che il MOSFET sia in saturazione $I_{DS} = \frac{K_n}{2} (V_{GS} - V_{TH})^2 = \frac{10 \text{ mA}}{2} (1,5 - 1)^2 = 1,25 \text{ mA}$

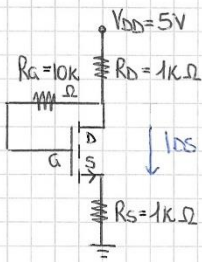
Verifichiamo che sia in saturazione

$$V_{DS} \geq V_{GS} - V_{TH} \leadsto \frac{V_D - V_S}{-I_{DS} R_D} \geq V_G - V_S - V_{TH} \quad 2,5 \geq 1,5 - 1 \quad 2,5 \geq 0,5 \text{ [V]} \quad \text{OK, è verificato}$$

• Variazione su K_n $\frac{dI_{DS}}{dK_n} = \frac{1}{2} (V_G - V_{TH})^2 = 0,125 \text{ V}^2$

• Variazione su V_{TH} $\frac{dI_{DS}}{dV_{TH}} = -K_n (V_G - V_{TH}) = -5 \text{ mA/V}$

④ Si calcoli I_{DS} ; $K_n = 2 \text{ mA/V}^2$, $V_{TH} = 1 \text{ V}$

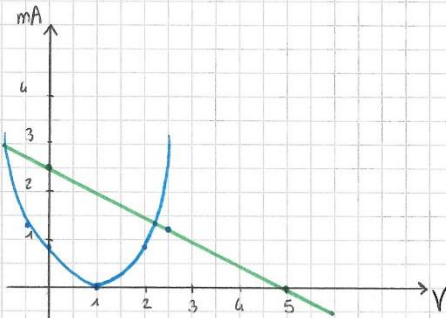


La corrente che scorre su R_A è nulla $\Rightarrow$ G e D sono allo stesso potenziale
 $V_{GS} = V_{DS}$

Condizione per la saturazione $V_{GS} \gg V_{GS} - V_{TH} \leadsto 0.7 - 1 \quad \forall$ sempre verificata

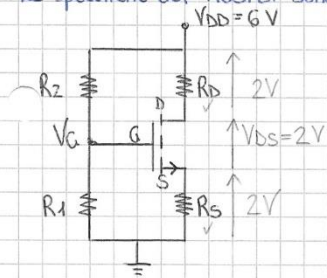
$$I_{DS} = \frac{K_n}{2} (V_{GS} - V_{TH})^2$$

$$V_{DD} = R_D I_{DS} + V_{DS} + R_S I_{DS} \leadsto I_{DS} = \frac{V_{DD} - V_{DS}}{R_D + R_S}$$



$$\frac{K_n}{2} (V_{GS} - V_{TH})^2 = \frac{V_{DD} - V_{DS}}{R_D + R_S} \leadsto V_{GS} = \begin{matrix} -0.89 \text{ V} \\ 2.19 \text{ V} \end{matrix}$$

- ⑤ Si progetti la rete di polarizzazione in modo che $I_{DS} = 2 \text{ mA}$
 Le specifiche del MOSFET sono $K_n = 10 \text{ mA/V}^2$, $V_{TH} = 1 \text{ V}$



Supponiamo che il MOSFET sia in saturazione:

$$I_{DS} = \frac{K_n}{2} (V_{GS} - V_{TH})^2 \Rightarrow V_{GS} = V_{TH} + \sqrt{\frac{2I_{DS}}{K_n}} = 1 + \sqrt{\frac{2 \cdot 2\text{mA}}{10\text{mA}}} = 1,63 \text{ V}$$

↓
troviamolo

condizione di saturazione $V_{DS} \geq V_{GS} - V_{TH} \geq 1,63 - 1 \geq 0,63 \text{ V}$

↓ scegliamo le tensioni sulla maglia di uscita
 barcolla su questa condizione

$V_{DS} = 2 \text{ V}$

$\Rightarrow V_{DS} = 2 \text{ V} \quad R_{DS} = 2 \text{ V}$

$R_{S,DS} = 2 \text{ V}$

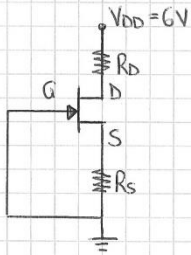
Trovo così anche le resistenze $R_D = R_S = \frac{2}{I_{DS}} = 1 \text{ k}\Omega$

Ora dobbiamo dimensionare il partitore di $R_1 - R_2$, scegliamo una corrente $I_p = 10 \mu\text{A}$

$\bullet R_1 = \frac{V_G}{I_p} = \frac{V_{DS} + V_{GS}}{I_p} = \frac{2 + 1,63}{10\mu} = 363 \text{ k}\Omega$

$\bullet R_2 = \frac{V_{DD} - V_G}{I_p} = \frac{6 - 3,63}{10\mu} = 237 \text{ k}\Omega$

- 7) Si progetti la rete di polarizzazione in modo che $I_{DS} = 5 \text{ mA}$
 le specifiche del JFET sono $I_{DSS} = 30 \text{ mA}$, $V_p = 2 \text{ V}$



Supponiamo di essere in saturazione, allora

$$I_{DS} = I_{DSS} \left(1 + \frac{V_{GS}}{V_p} \right)^2 \quad \text{trovo } V_{GS} \leadsto V_{GS} = V_p \left(\sqrt{\frac{I_{DS}}{I_{DSS}}} - 1 \right) = -1,18 \text{ V}$$

Poi troviamo R_S :

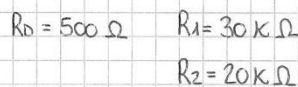
$$R_S = \frac{V_{GS}}{I_{DS}} = \frac{-1,18}{5 \text{ mA}} = 236 \, \Omega$$

Verifichiamo la saturazione

$$V_{DS} \geq V_{GS} + V_p \geq -1,18 + 2 = 0,82 \text{ V}$$

↓ scegliamo $V_{DS} = 3 \text{ V}$ e troviamo R_D

$$R_D = \frac{V_{DD} - V_{GS} - V_{DS}}{I_{DS}} = 366 \, \Omega$$

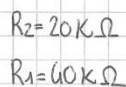

$$I_{DS} = \frac{K_n}{2} (V_{GS} - V_{TH1})^2 \quad I_{DS} = \frac{K_n^{(2)}}{2} (V_G - V_{GS}^{(1)} - V_{TH2})^2$$

$$\bullet V_G = \frac{R_1}{R_2 + R_1} V_{DD} = 3V$$

$$V_{DS}^{(1)} > V_{GS}^{(1)} - V_{TH}^{(1)}$$

$$1,8 > 0,24 \quad \checkmark$$

Verifichiamo la condizione di saturazione


$$W_{S1} = \frac{K_{N1}}{2} (V_{AS}^{(1)} - V_{TN})^2 \quad W_{S2} = \frac{K_{N2}}{2} (-V_{TN})^2 \rightarrow V_{AS} \text{ è uguale a } 0 \text{ in quanto corto circuito}$$

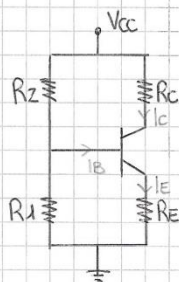
Verifichiamo la condizione di saturazione

$$\textcircled{1} V_{DS} \geq V_{GS} - V_{TH} \Rightarrow V_{D(-)} \geq V_{GS} - V_{TH} \quad \text{w. } u > 1 \quad \checkmark$$

$$\textcircled{2} \quad V_{DS} \geq V_{GS} + V_{TH} \quad \leadsto \quad V_D - V_S \geq V_{TH} \quad 1,6 \geq 1 \quad \checkmark$$

TIPOLOGIE DI ESERCIZI PER L'ESAME

20 GIUGNO 2018 - es. 1 - BJT



$$R_1 = 180 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 360 \text{ k}\Omega$$

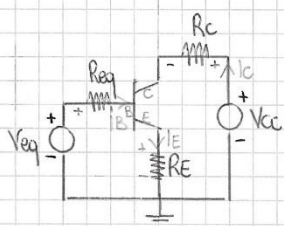
$$R_E = 16 \text{ k}\Omega$$

$$R_C = 22 \text{ k}\Omega$$

$$V_{CC} = 12 \text{ V}$$

Trova il punto di lavoro?
 I_B, I_C, I_E ?
 V_{CE} ?

Data la corrente I_B , per semplificare il circuito applico il Teorema di Thevenin ed ottengo



$$V_{eq} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} = 6 \text{ V}$$

$$R_{eq} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = 120 \text{ k}\Omega$$

Suppongo il BJT in RAD: $V_{BE} \text{ ON}, V_{BC} \text{ OFF}$
 $V_{BE} = 0,7 \text{ V}$

Scrivo le eq. maglie:

$$\bullet -V_{eq} + R_{eq} I_B + R_E I_E + V_{BE} = 0$$

$$\bullet -V_{CC} + R_C I_C + V_{CE} + R_E I_E = 0$$

Uso le eq. in RAD: $I_E = I_B + I_C$

$$I_E = (\beta_F + 1) I_B$$

$$I_C = \beta_F I_B$$

quindi $-V_{eq} + R_{eq} I_B + R_E (\beta_F + 1) I_B + V_{BE} = 0 \rightarrow I_B (R_{eq} + R_E (\beta_F + 1)) = V_{eq} - V_{BE}$

$$\bullet I_B = \frac{V_{eq} - V_{BE}}{R_{eq} + R_E (\beta_F + 1)} \Rightarrow \text{mi manca } \beta_F : \text{dato che } 10 < \beta_F < 500 \text{ scelgo il valore medio } \beta_F = 255$$

$$I_B = 0,7 \mu\text{A}$$

$$I_E = (\beta_F + 1) I_B = 179,2 \mu\text{A}$$

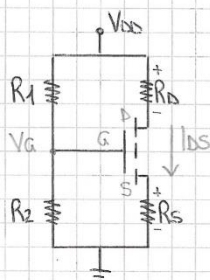
$$V_{CE} = V_{CC} - R_C I_C - R_E I_E = 5,2 \text{ V}$$

$$I_C = \beta_F I_B = 178,5 \mu\text{A}$$

Q (5,2 V ; 178,5 μA)

- Verifico la RAD

$$V_{BC} - V_{BE} - V_{CE} = 0,7 - 5,2 = -4,5 \text{ V} \quad \text{OFF} \quad \underline{\text{OK}}$$



$$R_1 = 5.6 \text{ k}\Omega \quad K_n = 0.6 \text{ mA/V}^2$$

$$R_2 = 6.7 \text{ k}\Omega \quad V_{TH} = 3 \text{ V}$$

$$R_S = 1.2 \text{ k}\Omega$$

$$R_D = 2.2 \text{ k}\Omega \quad V_{DD} = 18 \text{ V}$$

Trova il punto di lavoro

Dato che su G non scade corrente, V_G si trova con un partitore di tensione

$$V_G = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{DD} = 8.2 \text{ V}$$

$$V_S = R_S I_{DS}$$

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

- Suppongo di essere in saturazione

$$\begin{cases} I_{DS} = \frac{K_n}{2} (V_{GS} - V_{TH})^2 \\ V_{GS} = V_G - V_S = V_G - R_S I_{DS} \end{cases} \rightarrow \text{troviamo } V_{GS}$$

$$V_{GS} = V_G - R_S \frac{K_n}{2} (V_{GS} - V_{TH})^2 \rightarrow V_{GS} = V_G - \frac{R_S K_n}{2} V_{GS}^2 - \frac{R_S K_n}{2} V_{TH}^2 + \frac{R_S K_n}{2} V_{GS} V_{TH}$$

$$\frac{R_S K_n}{2} V_{GS}^2 + \left(1 - \frac{R_S K_n}{2} V_{TH}\right) V_{GS} - V_G + \frac{R_S K_n}{2} V_{TH}^2 = 0$$

$$0.26 V_{GS}^2 - 0.66 V_{GS} - 6.06 = 0$$

$$V_{GS42} = \frac{+0.66 \pm \sqrt{0.66^2 - 4(0.26)(-6.06)}}{2 \cdot 0.26} = \frac{+0.66 \pm 2.66}{0.52} = \begin{matrix} -1.5 \text{ V} \\ 6 \text{ V} \end{matrix} \leftarrow$$

$$V_{GS} = 6 \text{ V}$$

$$I_{DS} = 1.8 \text{ mA}$$

$$Q = (6 \text{ V}; 1.8 \text{ mA})$$

- Verifico

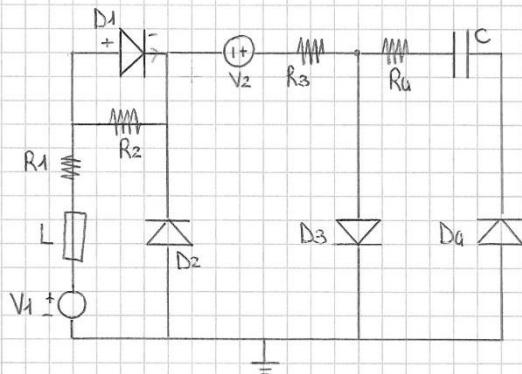
↓ Condizione $V_{GS} > V_{TH} \quad 6 \text{ V} > 3 \text{ V} \quad \text{OK}$

↓ Saturazione $V_{GS} > V_{GS} - V_{TH}$

$$V_{DD} - R_D I_{DS} - R_S I_{DS} > V_{GS} - V_{TH}$$

$$11.88 \text{ V} > 3 \text{ V} \quad \text{OK}$$

19 FEBBRAIO 2020 - ES. 1 - DIODO

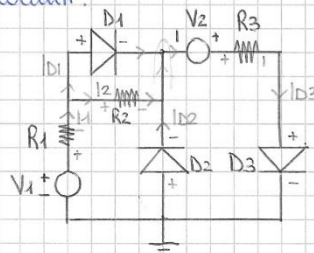


$$\begin{aligned} R_1 &= R_2 = 5 \text{ k}\Omega & V_D &= 0,7 \text{ V} \\ R_3 &= R_4 = 15 \text{ k}\Omega \\ V_1 &= 5,7 \text{ V} \\ V_2 &= 3,7 \text{ V} \\ C &= 100 \text{ nF} \\ L &= 1 \mu\text{F} \end{aligned}$$

In condizione di regime, calcolare tutte le correnti.

$C \sim \text{c.a.}$
 $L \sim \text{c.c.}$

traccio ed ipotizzo i segni delle correnti



- Provo con $D_1 \sim \text{PD}$ $V_{D1} = 0,7 \text{ V}$ $I_{D1} = 1 \text{ mA}$ verificata ✓
 $D_2 \sim \text{PD}$ $V_{D2} = 0,7 \text{ V}$
 $D_3 \sim \text{PD}$ $V_{D3} = 0,7 \text{ V}$

Inizio: $V_{D1} = V_{R2} = R_2 I_2 \Rightarrow I_2 = \frac{V_{D1}}{R_2} = \frac{0,7 \text{ V}}{5 \text{ k}\Omega} = 0,14 \text{ mA}$

$$V_{R2} = R_2 I_2 = 0,7 \text{ V}$$

$$V_{R2} - V_{D2} - V_1 + V_{R1} = 0$$

$$V_{R2} - V_{D2} + R_1 I_1 - V_1 = 0 \Rightarrow I_1 = \frac{V_1 + V_{D2} - V_{R2}}{R_1} = \frac{5,7 \text{ V}}{5 \text{ k}\Omega} = 1,16 \text{ mA}$$

$$I_1 = I_{D1} + I_{D2} \Rightarrow I_{D1} = I_1 - I_2 = 1,16 \text{ mA} - 0,14 \text{ mA} = 1 \text{ mA}$$

$$-V_{D2} - V_{D3} - R_3 I_{D3} + V_2 = 0 \Rightarrow I_{D3} = \frac{V_2 - V_{D2} - V_{D3}}{R_3} = \frac{2,3 \text{ V}}{15 \text{ k}\Omega} = 0,15 \text{ mA}$$

Vanno rifatte
 $I_{D2} + I_2 + I_{D1} = I_{D3} \Rightarrow I_{D2} = I_{D3} - I_2 - I_{D1} = -0,99 \text{ mA}$

$D_2 \sim \text{PI}$ $V_{D2} < 0 \Rightarrow I_{D2} = 0 \text{ A}$

~~$V_{D2} = 0,7 \text{ V}$~~

$I_2 = 0,14 \text{ mA}$ $I_{D2} = 0 \text{ A}$ $V_{D1} = V_{R2} = 0,7 \text{ V}$

$$\begin{cases} V_{R2} - V_{D2} - V_1 + R_1 I_1 = 0 \\ I_1 = I_{D1} + I_2 \end{cases} \Rightarrow I_1 = \frac{V_{D2} + V_1 - V_{R2}}{R_1} = I_{D3}$$

$$\begin{cases} I_1 = I_{D1} + I_2 \\ I_{D1} + I_2 = I_{D3} \end{cases} \Rightarrow I_1 = I_{D3} \Rightarrow V_{D3} + V_{D2} - V_2 + R_3 \frac{V_{D2} + V_1 - V_{R2}}{R_1} = 0$$

$$V_{D3} + V_{D2} - V_2 + R_3 I_{D3} = 0$$

$$\Rightarrow V_{D2} = -3 \text{ V}$$

$$I_1 = I_{D3} = \frac{V_{D2} + V_{D1} - V_{R2}}{R_1} = 0,6 \text{ mA}$$

$$I_{D1} = I_{D3} - I_2 = 0,26 \text{ mA}$$

Riassumendo

$$D1 \text{ PD : } V_{D1} = 0,7 \text{ V} \Rightarrow I_{D1} = 0,26 \text{ mA}$$

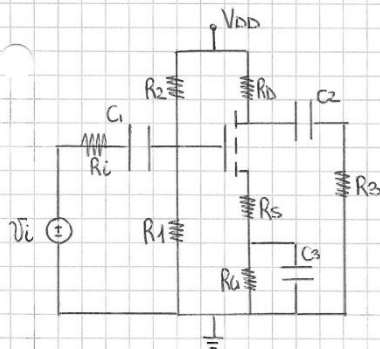
$$D2 \text{ PI : } V_{D2} = -3 \text{ V} \Rightarrow I_{D2} = 0 \text{ A}$$

$$D3 \text{ PD : } V_{D3} = 0,7 \text{ V} \Rightarrow I_{D3} = 0,6 \text{ mA}$$

$$I_1 = 0,6 \text{ mA}$$

$$I_2 = 0,16 \text{ mA}$$

11 SETTEMBRE 2018 - ES.1 - MOSFET in ALTERNATA



Calcolare il guadagno in tensione dell'amplificatore

$$K_n = 0,5 \text{ mA/V}^2 \quad Q = (0,261 \text{ mA}; 3,81 \text{ V})$$

$$V_{TH} = 1 \text{ V}$$

$$\eta = 0,933 \text{ 1/V}$$

Massimo valore di V_i per l'ipotesi di piccoli segnali?

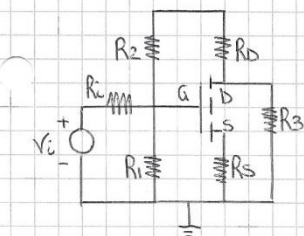
$$R_i = 1 \text{ k}\Omega \quad R_1 = 1,5 \text{ M}\Omega \quad R_2 = 2 \text{ k}\Omega$$

$$R_3 = 2,2 \text{ M}\Omega \quad R_D = 22 \text{ k}\Omega$$

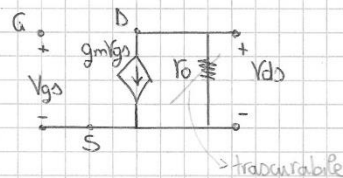
$$R_S = 100 \text{ k}\Omega$$

$$R_L = 10 \text{ k}\Omega$$

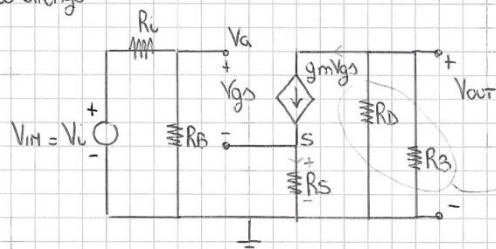
Per trovare A_v , il circuito va studiato in AC
i condensatori sono C.C. e V_{DD} a massa



Sostituire il modello MOSFET



ed ottengo



$$\text{con } R_B = R_1 \parallel R_2 = 0,89 \text{ M}\Omega$$

$$R_L = R_D \parallel R_3 = 18 \text{ k}\Omega$$

$$A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{V_{out}}{V_a} \cdot \frac{V_a}{V_{in}}$$

$$\bullet V_{out} = -R_L g_m V_{gs}$$

$$\bullet V_a = V_{gs} + R_S g_m V_{gs}$$

$$\frac{V_{out}}{V_a} = \frac{-R_L g_m V_{gs}}{V_{gs} + R_S g_m V_{gs}} = \frac{-R_L g_m}{1 + R_S g_m} = -6,5$$

$$g_m = \frac{2 I_{DS}}{V_{gs} - V_{TH}} = \frac{2 \cdot 0,261 \text{ mA}}{0,95 \text{ V}} = 0,5 \text{ mA/V}$$

$$\bullet I_{DS} = 0,261 \text{ mA}$$

$$\bullet V_{gs} \Rightarrow I_{DS} = \frac{K_n}{2} (V_{gs} - V_{TH})^2 (1 + \eta V_{DS})$$

$$\Rightarrow V_{gs} = 1,95 \gg V_{TH} \text{ verifica la conduzione } \checkmark$$

$$\frac{V_a}{V_{in}} \rightarrow V_i \quad V_a = V_i \frac{R_B}{R_B + R_i} \Rightarrow \frac{V_a}{V_i} = \frac{R_B}{R_B + R_i} = 0,99$$

$$A_v = -4,5 \cdot 0,99 = -4,55$$

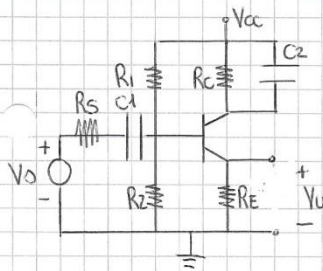
Condizione per
piccolo segnale

$$A_v = \frac{V_{out}}{V_i}$$

$$V_i = \frac{V_{out}}{A_v}$$

$$V_{gs} \leq 0,2 [V_{gs} V_{TH}] = 0,2 [0,95] = 0,19 \text{ V}$$

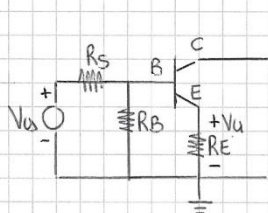
5 FEBBRAIO 2019 - ED 2 - BJT in ALTERNATA



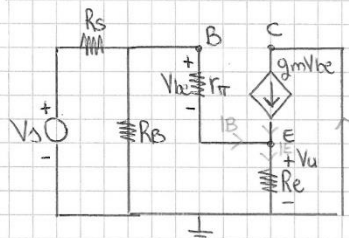
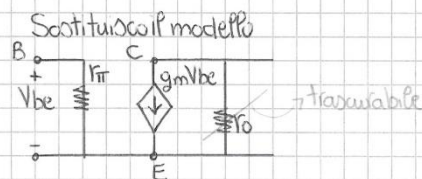
$$\begin{aligned} R_1 &= 10 \text{ k}\Omega & V_{CC} &= 12 \text{ V} \\ R_2 &= 10 \text{ k}\Omega & h_{ie} &= 5 \text{ k}\Omega = r_{\pi} \\ R_C &= 5 \text{ k}\Omega & h_{FE} &= 300 = \beta_F \\ R_E &= 5 \text{ k}\Omega \\ R_S &= 1 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

V_u/V_S ?
guadagno $\neq \infty$?

Considero uno studio alle MEDIE FREQUENZE, i condensatori sono C.C. e V_{CC} a massa



$$\text{con } R_B = R_1 \parallel R_2 = 5 \text{ k}\Omega$$



$$\begin{aligned} A_v &= \frac{V_u}{V_S} = \frac{V_u}{V_B} \cdot \frac{V_B}{V_S} \\ g_m r_{\pi} &= \beta_F & g_m &= \frac{\beta_F}{r_{\pi}} = 60 \text{ m}\Omega^{-1} = 0.06 \Omega^{-1} \end{aligned}$$

$$\bullet V_u = R_E I_E = R_E (I_B + g_m r_{\pi} I_B)$$

$$\bullet V_B = r_{\pi} I_B + (I_B + g_m V_{be}) R_E$$

$$\bullet V_B = V_S \frac{R_B \parallel R_S}{R_S + R_B \parallel R_S}$$

$$\frac{V_B}{V_S} = 0.83$$

$$A_v = 0.99 \cdot 0.83 = 0.82$$

$$\frac{V_u}{V_B} = \frac{R_E I_B (1 + g_m r_{\pi})}{r_{\pi} I_B + I_B R_E (1 + g_m r_{\pi})} = 0.99$$

$$\text{con } R_{IB} = \frac{V_B}{I_B} = \frac{r_{\pi} I_B + I_B (1 + g_m r_{\pi}) R_E}{I_B} = 1510 \text{ k}\Omega$$

$$R_B \parallel R_S = 4.98 \text{ k}\Omega$$