

Esami MOSFET

by www.stefanoivancich.com

Esame 2017-06-15

Si consideri il circuito riportato in figura B dove il transistor Q2 è un MOSFET a canale N di tipo Enhancement.

$$V_{dd} = 16 \text{ V}$$

Si calcoli:

- 1) Il punto di riposo del transistor Q2 (I_{DQ} e V_{DSQ});
- 2) Il valore di gm del transistor Q2;
- 3) Le resistenze di ingresso R_{in} e R_{out} .
- 4) Il guadagno intrinseco $A_{Vi} = V_{out} / V_{in}$ (senza considerare V_g , R_g ed R_L);
- 5) Considerando ora il circuito amplificatore appena calcolato come una black box (caratterizzata dai valori di R_{in} , R_{out} e A_{Vi}) come indicato in fig. C si calcoli il guadagno estrinseco $A_{Ve} = V_{out} / V_g$ (considerare V_g , R_g ed R_L);

$$R_1 = 900 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 300 \text{ k}\Omega$$

$$R_3 = 300 \text{ k}\Omega$$

$$R_d = 80 \text{ k}\Omega$$

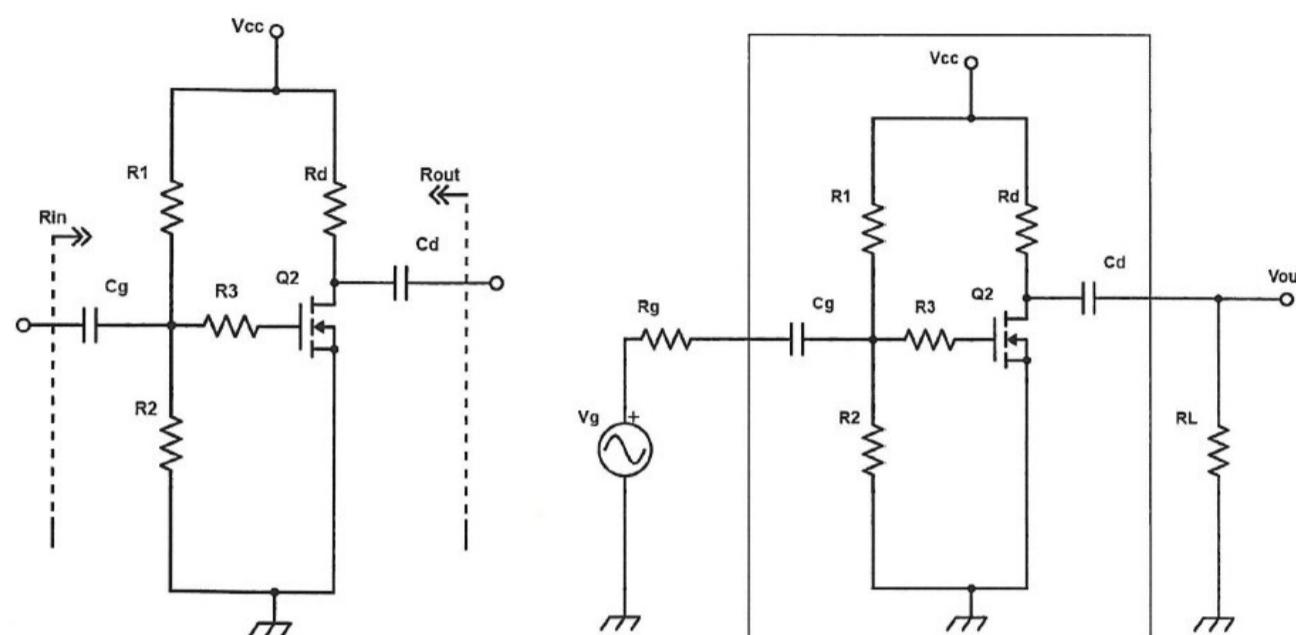
$$R_L = 60 \text{ k}\Omega$$

$$R_g = 1 \text{ k}\Omega$$

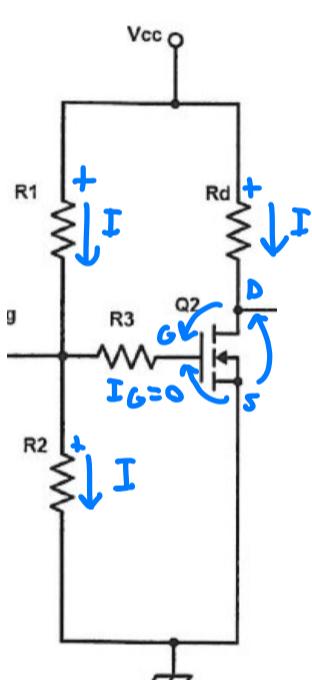
Transistor Q2 :

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

$$K_n = 25 \mu\text{A/V}^2$$



1)



$$I = V_{cc} / (R_1 + R_2) = 1 / 75000$$

$$\cdot V_{GS} = V_G - V_S = R_2 I = 5 > V_t \Rightarrow ON$$

$$\cdot V_{GD} = V_G - V_D = R_2 I - (V_{cc} - R_d I_D) = R_d I_D - 12 \text{ SUPPOONGO } < V_t \Rightarrow SATURAZ.$$

$$I_{DQ} = \frac{1}{2} K_n (V_{GS} - V_t)^2 = \underline{1.125 \cdot 10^{-3}} \text{ A}$$

$$V_{BRIACO SATURAZIONE}: V_{GD} = 9 - 12 = -3 < V_t \Rightarrow OK$$

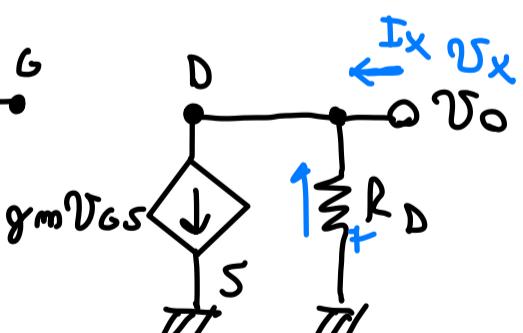
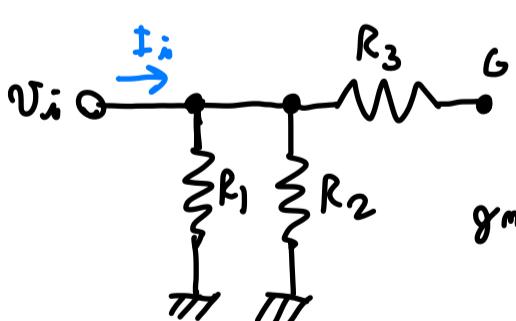
$$V_{DSQ} = V_D - V_S = V_{cc} - R_d I_{DQ} = 16 - 9 = \underline{7 \text{ V}}$$

2)

$$g_m = K_n (V_{GS} - V_t) = 7.5 \cdot 10^{-5}$$

$$S2Q = \frac{|V_A|}{I_D} = \frac{|V_A|}{I_D} = \infty$$

3)



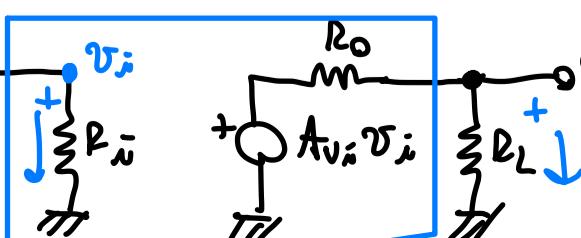
$$V_{GS} = V_G - V_S = V_G = V_i$$

$$R_{ix} = V_i / I_x = V_i / (V_i / (R_1 || R_2)) = R_1 || R_2 = \underline{225 \text{ k}\Omega}$$

$$R_o = \frac{V_x}{I_x} \text{ con: } I_x = g_m V_{GS} - I_{RD} = I_{RD} = V_x / R_d \Rightarrow R_o = R_d = 80 \text{ k}\Omega$$

$$4) A_{Vi} = \frac{V_o}{V_i} = \frac{-R_d g_m V_{GS}}{V_i} = -R_d g_m = -6 \text{ V/V}$$

5)



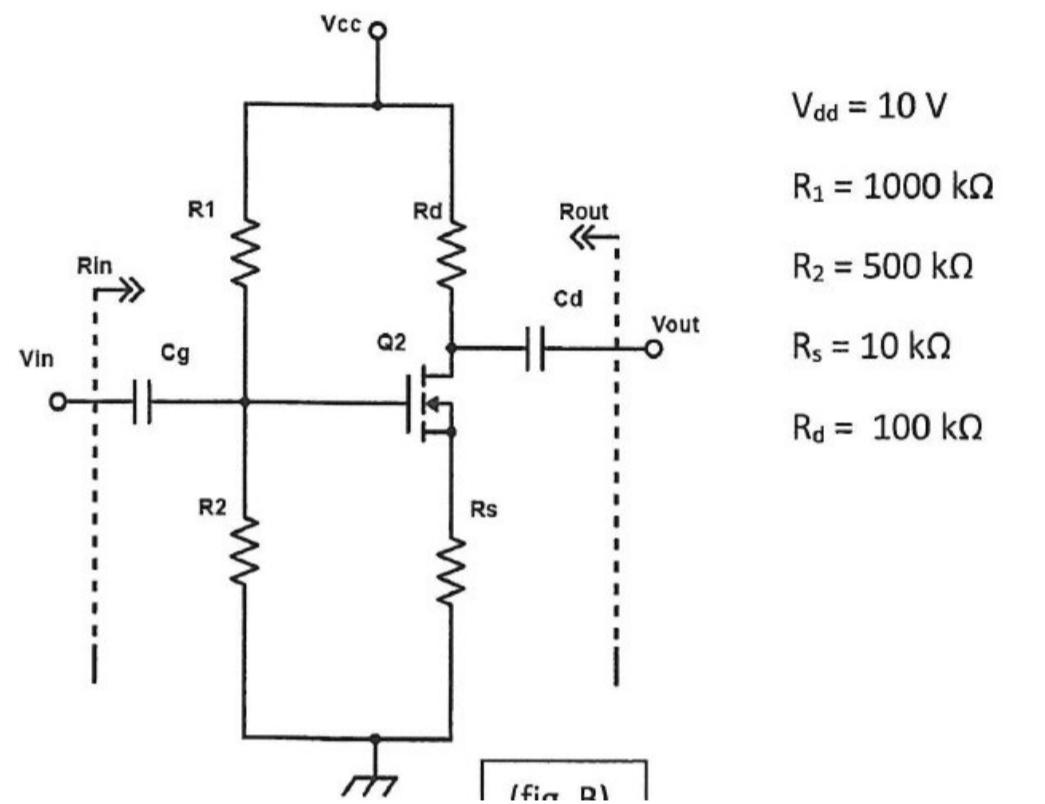
$$A_{Ve} = \frac{V_{out}}{V_g} = \frac{R_d}{R_d + R_L} A_V \frac{R_{ix}}{R_{ix} + R_G} = -2.56$$

Esame 2017-07-13

Si consideri il circuito riportato in figura B dove il transistor Q2 è un MOSFET a canale N di tipo Enhancement.

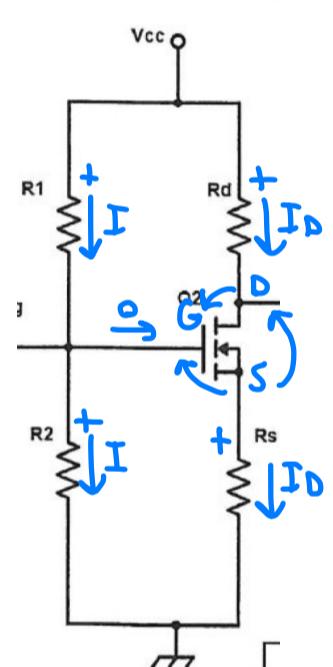
Si calcoli:

- 1) Il punto di lavoro del transistor Q2 (I_{DSQ} e V_{DSQ});
- 2) Il valore di gm del transistor Q2;
- 3) Le resistenze di ingresso R_{in} e R_{out} .
- 4) Il guadagno intrinseco $A_{Vi} = V_{out} / V_{in}$



Transistor Q2 :
 $V_{dd} = 10 \text{ V}$
 $R_1 = 1000 \text{ k}\Omega$
 $R_2 = 500 \text{ k}\Omega$
 $R_s = 10 \text{ k}\Omega$
 $R_d = 100 \text{ k}\Omega$
 $V_{th} = 1.5 \text{ V}$
 $K_n = 25 \mu\text{A/V}^2$

1)



$$I = V_{cc}/(R_1 + R_2) = 1/150000$$

• $V_{GS} = V_G - V_S = R_2 I - R_s I_D = ?$ SUPPO N $60 > V_t \Rightarrow ON$

• $V_{GD} = V_G - V_D = R_2 I - V_u + R_d I_D = ?$ SUPPO N $60 < V_t \Rightarrow SATURAZIONE$

$$\begin{cases} I_D = \frac{1}{2} K_m (V_{GS} - V_t)^2 \\ V_{GS} = R_2 I - R_s I_D \end{cases} \Rightarrow I_D = \frac{1}{2} K_m (R_2 I - R_s I_D - V_t)^2$$

$$\Rightarrow \frac{2 I_D}{K_m} = \left(\frac{11}{6} - R_s I_D\right)^2 = \frac{121}{36} + R_s^2 I_D^2 - \frac{11}{3} I_D$$

$$\Rightarrow R_s^2 I_D^2 - \left(\frac{11}{3} + \frac{2}{K_m}\right) I_D + \frac{121}{36} = 0$$

$$I_{D12} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = \frac{80 \cdot 10^3 \pm 71 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^8} = \begin{cases} 7.55 \cdot 10^{-5} \Rightarrow V_{GS} = 2.8 \Rightarrow OK \\ -7.55 \cdot 10^{-5} \Rightarrow V_{GS} = -5.5 < V_t \Rightarrow NO \end{cases}$$

VERIFICO SATURAZIONE: $V_{GD} = -5.5 < V_t \Rightarrow NO$

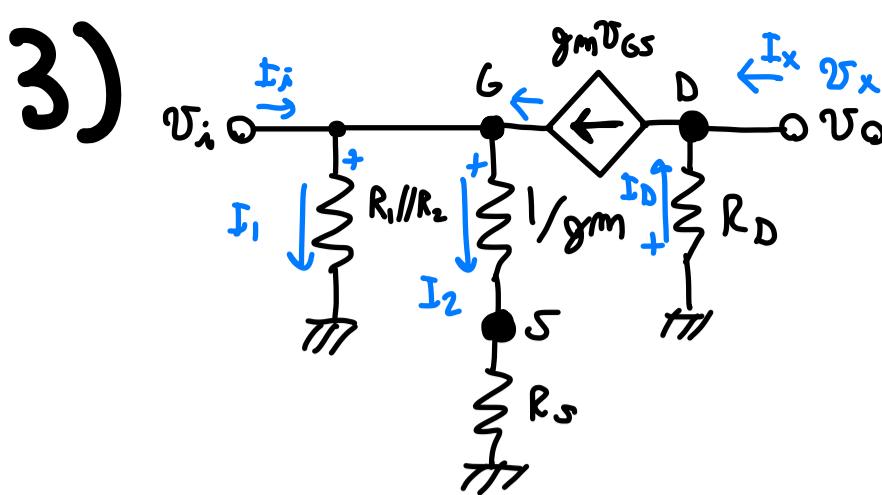
$$V_{DS} = V_D - V_S = V_{cc} - R_D I_D - R_s I_D = V_a - (R_D + R_s) I_D = 5.95 \text{ V}$$

2)

$$g_m = K_m (V_{GS} - V_t) = 3.25 \cdot 10^{-5}$$

$$r_{oQ} = |V_a| / I_D = |V_A| / I_D = \infty$$

$$\frac{1}{g_m} = 30.8 \text{ k}\Omega$$



$$I_1 = V_{\tilde{i}} / (R_1 // R_2) = \tilde{V}_{\tilde{i}} / 333 \text{ k}$$

$$I_2 = \tilde{V}_{\tilde{i}} / (R_S + 1/g_m) = \tilde{V}_{\tilde{i}} / 50.8 \cdot 10^3$$

$$V_{GS} = \tilde{V}_{\tilde{i}} - R_S I_2 = \tilde{V}_{\tilde{i}} \left(1 - \frac{10 \text{ k}}{50.8 \text{ k}} \right) = 0.76 \tilde{V}_{\tilde{i}}$$

$$V_o = -R_D g_m V_{GS} = -2.47 \tilde{V}_{\tilde{i}}$$

$$I_{\tilde{i}} = I_1 + I_2 - g_m V_{GS} = \tilde{V}_{\tilde{i}} \left(\frac{1}{333 \text{ k}} + \frac{1}{50.8 \text{ k}} - 2.47 \cdot 10^{-5} \right) = \tilde{V}_{\tilde{i}} \cdot 2.81 \cdot 10^{-6}$$

$$R_{\tilde{i}} = \tilde{V}_{\tilde{i}} / I_{\tilde{i}} = 355 \text{ k}$$

$$I_x = g_m V_{GS} - I_D = g_m \underbrace{V_{GS}}_{= 0 \text{ kE } \tilde{V}_{\tilde{i}} \text{ SPENTO}} - V_x / R_D$$

$$R_o = V_x / I_x = R_D = 100 \text{ k}$$

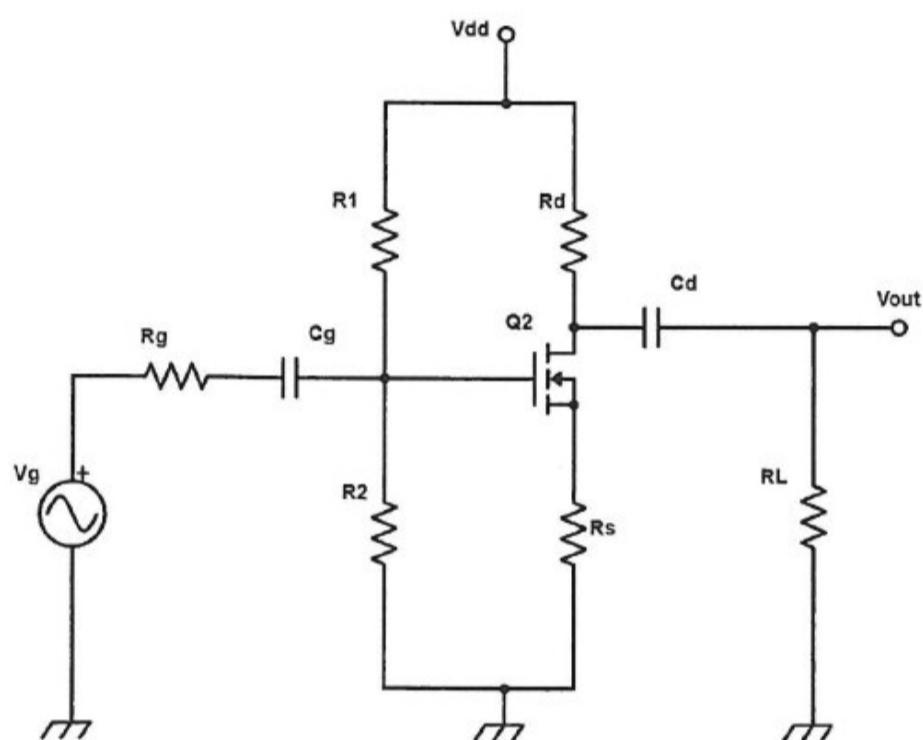
4) $A_V = \frac{V_o}{V_{\tilde{i}}} = -2.47$

Esame 2017-07-25

Si consideri il circuito riportato in figura B dove il transistor Q2 è un MOSFET a canale N di tipo Enhancement.

Si calcoli:

- 1) Il punto di lavoro del transistor Q2 (I_{DSQ} e V_{DSQ});
- 2) Il valore di gm del transistor Q2;
- 3) Le resistenze di ingresso R_{in} e R_{out} .
- 4) La potenza dissipata dalla resistenza R_d
- 5) Il guadagno intrinseco $A_{Vi} = V_{out} / V_{in}$ (senza considerare V_g , R_g ed R_L);
- 6) Considerando ora il circuito amplificatore appena calcolato come una black box (caratterizzata dai valori di R_{in} , R_{out} e A_{Vi}) come indicato in fig. C si calcoli il guadagno estrinseco $A_{Ve} = V_{out} / V_g$, (considerare V_g , R_g ed R_L);



(fig. B)

$$V_{dd} = 16 \text{ V}$$

$$R_1 = 400 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 100 \text{ k}\Omega$$

$$R_d = 60 \text{ k}\Omega$$

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

$$R_L = 200 \text{ k}\Omega$$

$$R_g = 2 \text{ k}\Omega$$

Transistor Q2 :

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

$$K_n = 25 \mu\text{A/V}^2$$

$$I = V_{cc} / (R_1 + R_2) = 1/31250$$

$$\bullet V_{GS} = V_G - V_S = R_2 I - R_S I_D = ? \quad \text{SUPPOGO} > V_t \Rightarrow \text{ON}$$

$$\bullet V_{GD} = V_G - V_D = R_2 I - V_{GS} + R_D I_D = ? \quad \text{SUPPOGO} < V_t \Rightarrow \text{SATURAZIONE}$$

$$\begin{cases} I_D = \frac{1}{2} K_n (V_{GS} - V_t)^2 \\ V_{GS} = R_2 I - R_S I_D \end{cases} \Rightarrow I_D = \frac{1}{2} K_n (R_2 I - R_S I_D - V_t)^2$$

$$\frac{2 I_D}{K_n} = \left(\frac{11}{5} - R_S I_D \right)^2 = \frac{121}{25} + R_S^2 I_D^2 - \frac{22}{5} I_D$$

$$R_S^2 I_D^2 - I_D \cdot 80k + 4.84 = 0$$

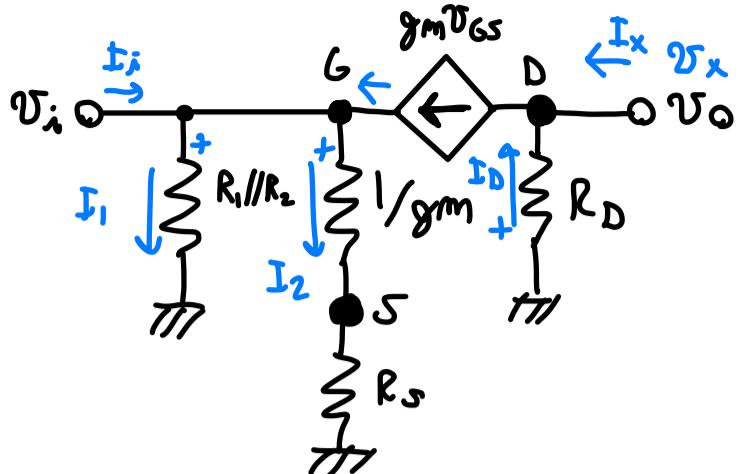
$$I_{D12} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = \frac{80k \pm 67k}{2 \cdot 10^8} = \begin{cases} \frac{6.5 \cdot 10^{-5}}{7.35 \cdot 10^{-5}} & V_{GS} = 2.55 \Rightarrow \text{OK} \\ & V_{GS} = -4.15 \Rightarrow \text{NO} \end{cases}$$

VERIFICO SATURAZIONE: $V_{GD} = -12.15 < V_t \Rightarrow \text{OK}$

$$V_{DS} = V_D - V_S = V_{cc} - R_D I_D - R_S I_D = V_{cc} - (R_D + R_S) I_D = 11.45 \text{ V}$$

$$2) g_m = K_n (V_{GS} - V_t) = 3.88 \cdot 10^{-5} \quad \frac{1}{g_m} = 26 \text{ k}\Omega \quad r_o = \infty \quad x \bar{k} \bar{\sigma} \quad \lambda = 0$$

3)

SENZA CONSIDERAZIONE V_o R_G R_L 

$$I_1 = V_i / (R_1 // R_2) = V_i \cdot 1.25 \cdot 10^{-5}$$

$$I_2 = V_i / (R_S + 1/g_m) = V_i / 36K$$

$$V_{GS} = V_i - R_S I_2 = V_i - \frac{V_i}{36K} 10K = 0.72 V_i$$

$$V_o = -R_D g_m V_{GS} = -1.68 \cdot V_i$$

$$I_o = I_1 + I_2 - g_m V_{GS} = V_i (1.25 \cdot 10^{-5} + 2.8 \cdot 10^{-5} - 0.72 \cdot 3.88 \cdot 10^{-5}) = V_i \cdot 1.26 \cdot 10^{-5}$$

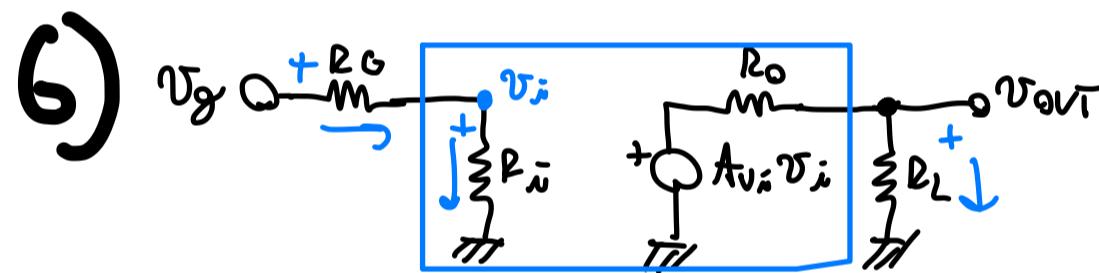
$$R_o = V_i / I_o = 80K\Omega$$

$$I_x = g_m V_{GS} - I_D = g_m \underline{V_{GS}} - V_x / R_D$$

$$R_o = V_x / I_x = R_D = 60K \quad \text{= > XkÈ } V_x \text{ SPENTO}$$

$$4) P_D = I_D^2 \cdot R_D = 253 \mu W$$

$$5) A_V = \frac{V_o}{V_i} = -1.68$$



$$V_{out} = \frac{R_L}{R_0 + R_L} A_{Vi} \frac{R_i}{R_G + R_i} V_G$$

$$A_{Vi} = \frac{V_{out}}{V_g} = \frac{R_L}{R_0 + R_L} A_{Vi} \frac{R_i}{R_G + R_i} = -1.26$$

Esame 2018-02-15

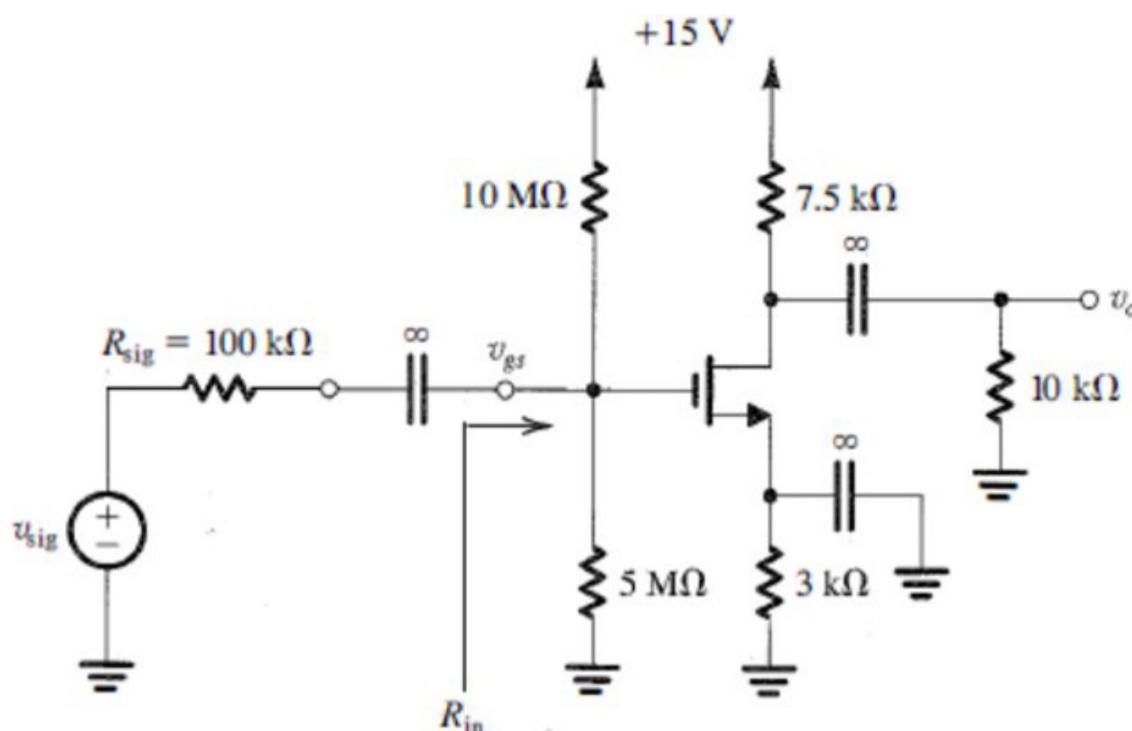


FIGURE P4.77

ESERCIZIO 3

Dato il circuito in figura, supponendo che la tensione di soglia del transistor sia $V_{TH} = 1 \text{ V}$ e che $k'_n(W/L) = 2 \text{ mA/V}^2$,

3a) calcolare il punto a riposo V_{GSQ} , I_{DQ}

3b) Trovare la transconduttanza g_m e la resistenza di uscita r_o sapendo che $V_A = 100$

3c) Disegnare il circuito equivalente per piccolo segnale considerando le capacità come cortocircuiti

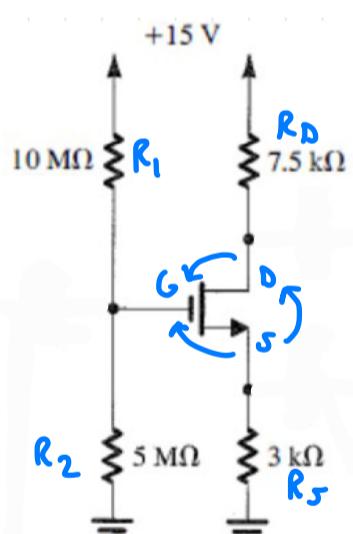
3d) calcolare R_{in}

3e) calcolare v_{gs}/v_{sig}

3f) calcolare v_o/v_{gs}

3g) calcolare v_o/v_{sig}

A)



$$\bullet V_{GS} = V_G - V_S = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{DD} - R_S I_D = ? \quad \text{SUPPOUNO} > V_t \Rightarrow QN$$

$$\bullet V_{GD} = V_G - V_D = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{DD} - (V_{DD} - R_D I_D) = ? \quad \text{SUPPOUNO} < V_t \Rightarrow SAT$$

$$I_D = \frac{1}{2} k_m (V_{GS} - V_t)^2 = \frac{1}{2} k_m \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{DD} - R_S I_D - V_t \right)^2$$

$$\Rightarrow I_D = \frac{1}{2} k_m \left(16 + R_S^2 I_D^2 - 8 R_S I_D \right) = \frac{1}{2} k_m (16 + R_S^2 I_D^2 - 8 R_S I_D)$$

$$\Rightarrow \frac{2 I_D}{k_m} = 16 + R_S^2 I_D^2 - 8 R_S I_D \Rightarrow R_S^2 I_D^2 - I_D \left(8 R_S + \frac{2}{k_m} \right) + 16 = 0$$

$$\Rightarrow 9 \cdot 10^6 I_D^2 - 25 \cdot 1000 I_D + 16 = 0$$

$$\Rightarrow I_{D12} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = \frac{25 \pm 7}{18 \text{ k}} = \begin{cases} 10^{-3} \\ 1.78 \cdot 10^{-3} \end{cases} \Rightarrow V_{GS} = 2 > V_t \Rightarrow OK$$

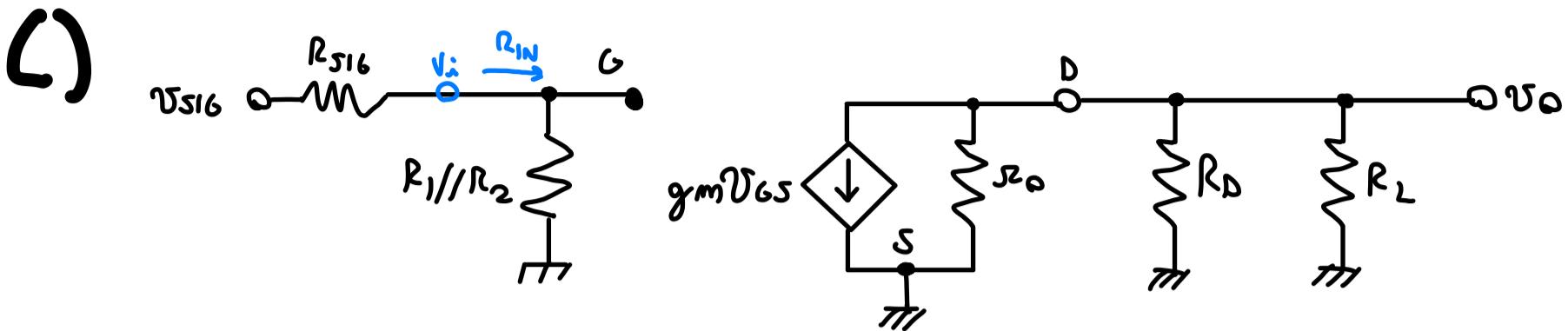
$$\Rightarrow V_{GS} = -2.5 < V_t \Rightarrow NO$$

VERIFICA SATURAZIONE: $V_{GD} = -2.5 < V_t \Rightarrow NO$

$$V_{DS} = V_D - V_S = V_{DD} - R_D I_D - R_S I_D = V_{DD} - (R_D + R_S) I_D = 5.5 \text{ V}$$

b) $g_m = k_m(V_{GS} - V_t) = 2 \cdot 10^{-3}$ $\frac{1}{g_m} = 500$

$$r_o = \frac{|V_A|}{I_D} = 100 \text{ k}\Omega$$



d) $R_s = \frac{V_{S\bar{I}}}{I_s} = R_1//R_2 = 3.3 \text{ M}\Omega$

e) $\frac{V_{GS}}{V_{SIG}} = \frac{V_G - V_S}{V_{SIG}} = \frac{V_G}{V_{SIG}} = \frac{R_1//R_2}{R_1//R_2 + R_{SIG}} = 0.97$

f) $\frac{V_O}{V_{GS}} = \frac{-g_m V_{GS} \cdot (r_o // R_D // R_L)}{V_{GS}} = -8.22$

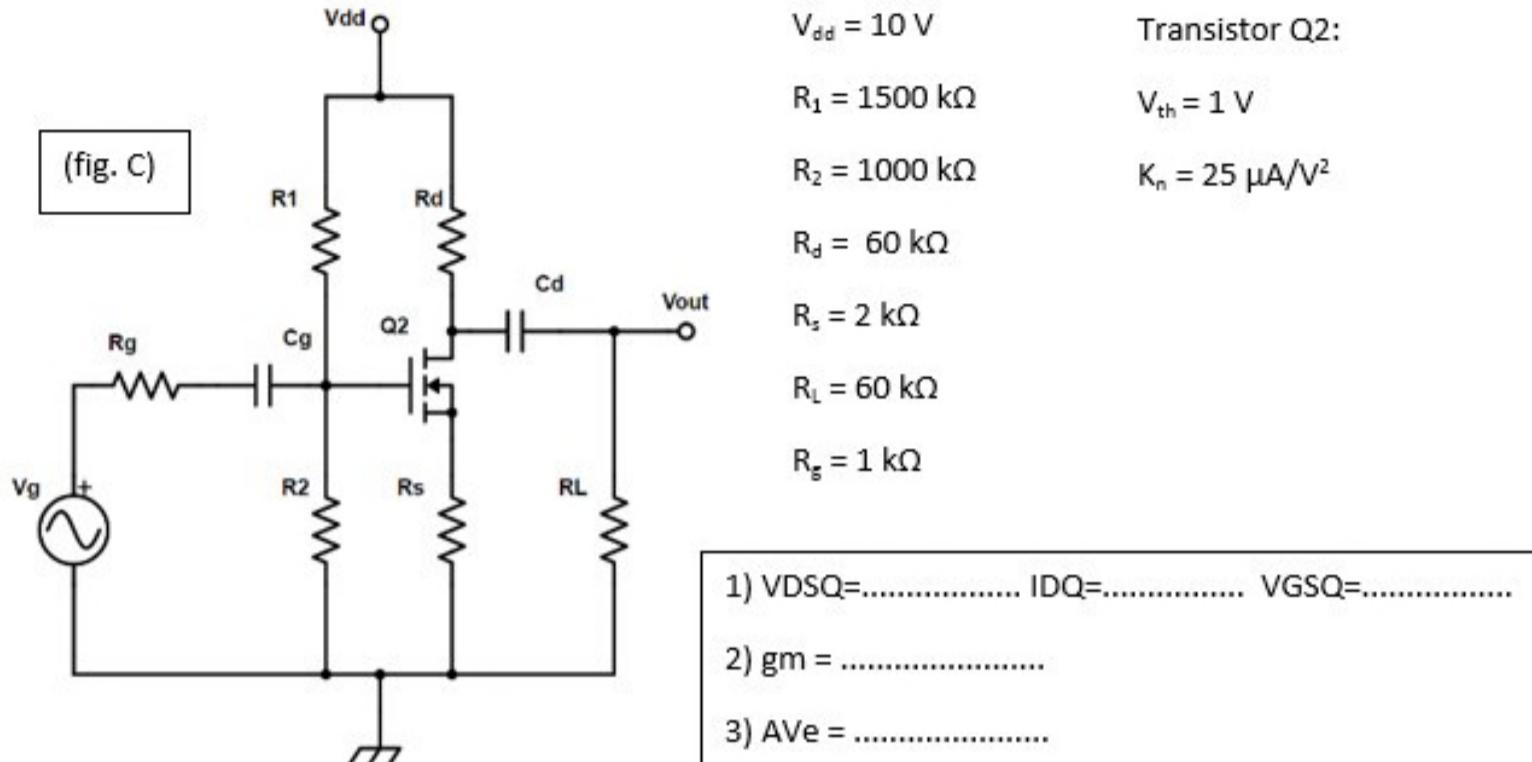
g) $\frac{V_O}{V_{SIG}} = \frac{-8.22 V_{GS}}{V_{SIG}} = -8.22 \cdot 0.97 = -7.97$

Esame 2018-06-19

Si consideri il circuito riportato in figura C dove il transistor Q2 è un MOSFET a canale N di tipo Enhancement.

Si calcoli:

- 1) Il punto di riposo del transistor Q2 (I_{DSQ} e V_{DSQ});
- 2) Il valore di gm del transistor Q2;
- 3) Il guadagno estrarinseco $Av_e = V_{out} / V_g$;



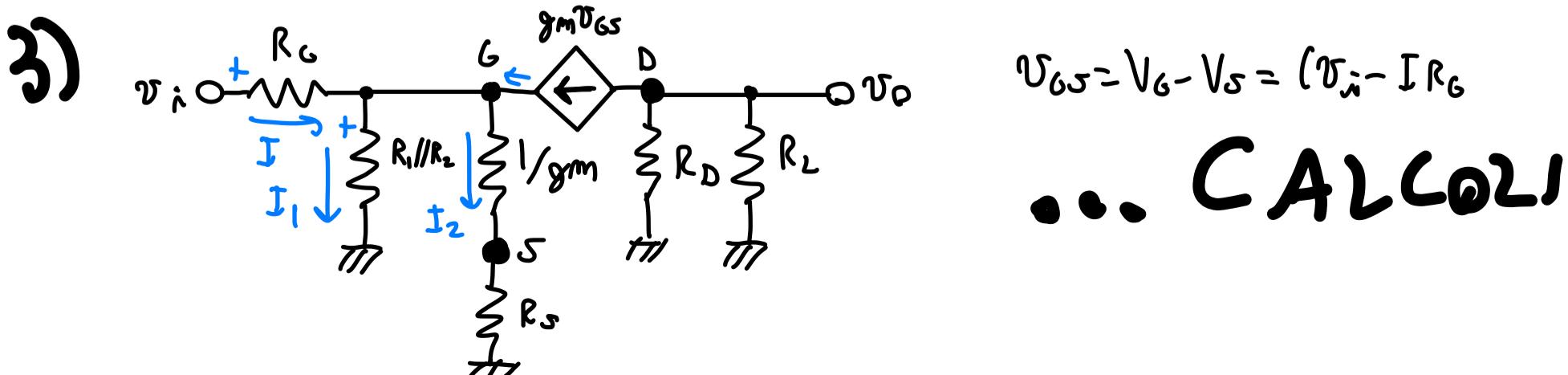
1)

$\bullet V_{GS} = V_G - V_S = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{DD} - R_s I_D = ? \Rightarrow \text{SUPPONGO } V_{GS} > V_t \Rightarrow \text{ON}$
 $\bullet V_{GD} = V_G - V_D = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{DD} - (V_{DD} - R_d I_D) = ? \Rightarrow \text{SUPPONGO } V_{GD} < V_t \Rightarrow \text{SATURAZIONE}$
 $I_D = \frac{1}{2} K_n (V_{GS} - V_t)^2 = \frac{1}{2} K_n \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{DD} - R_s I_D - V_t \right)^2 = \frac{1}{2} K_n (3 - R_s I_D)^2$
 $\Rightarrow \frac{2 I_D}{K_n} = 9 + R_s^2 I_D^2 - 6 R_s I_D \Rightarrow R_s^2 I_D^2 - I_D (6 R_s + \frac{2}{K_n}) + 9 = 0$
 $\Rightarrow 4 M I_D^2 - 92 K I_D + 9 = 0$
 $\Rightarrow I_{D12} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = \frac{92 \pm 91}{8k} = \begin{cases} 1.25 \cdot 10^{-4} \Rightarrow V_{GS} = 3.75 > V_t \Rightarrow \text{OK} \\ 22.8 \cdot 10^{-3} \Rightarrow V_{GS} = -4.1 < V_t \Rightarrow \text{NO} \end{cases}$

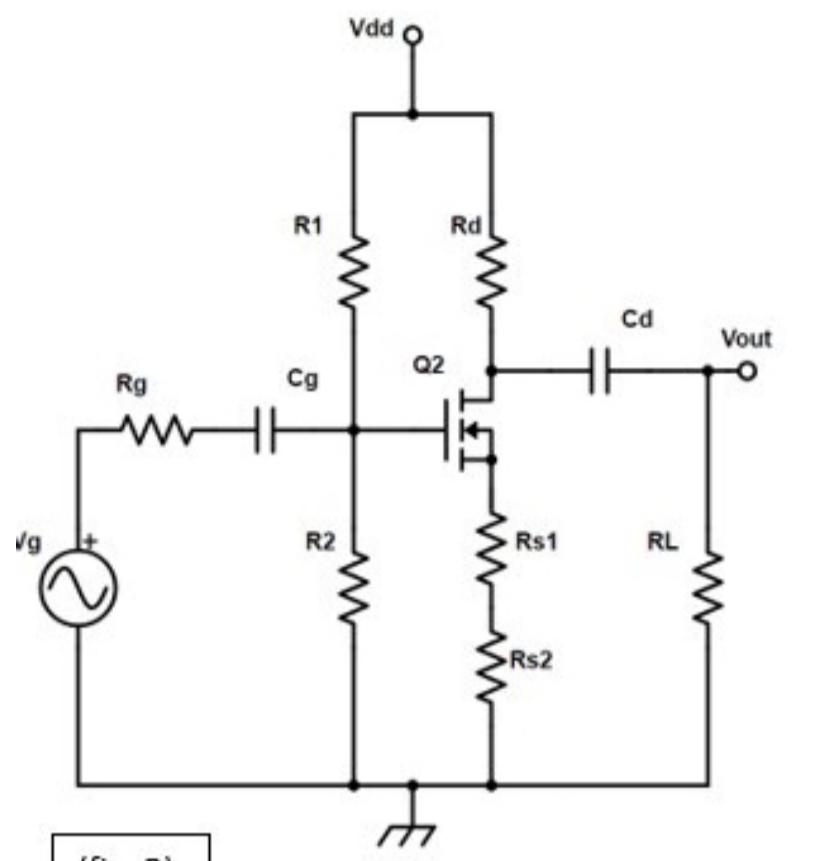
VERIFICO SATURAZIONE: $V_{GD} = -4.1 < V_t \Rightarrow \text{NO}$

$V_{DS} = V_D - V_S = V_{DD} - I_D R_D - R_s I_D = V_{DD} - (R_D + R_s) I_D = 2.25$

2) $gm = K_n (V_{GS} - V_t) = 7.5 \cdot 10^{-5} \quad 1/gm = 13 \text{ k}$



Esame 2018-05-25 1



$$V_{dd} = 10 \text{ V} \quad \text{Transistor Q2 :}$$

$$R_s = 10 \text{ k}\Omega \quad V_{th} = 1 \text{ V}$$

$$R_L = 250 \text{ k}\Omega \quad K_n = 50 \mu\text{A/V}^2$$

$$R_1 = 1000 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 500 \text{ k}\Omega$$

$$R_{s1} = 8 \text{ k}\Omega$$

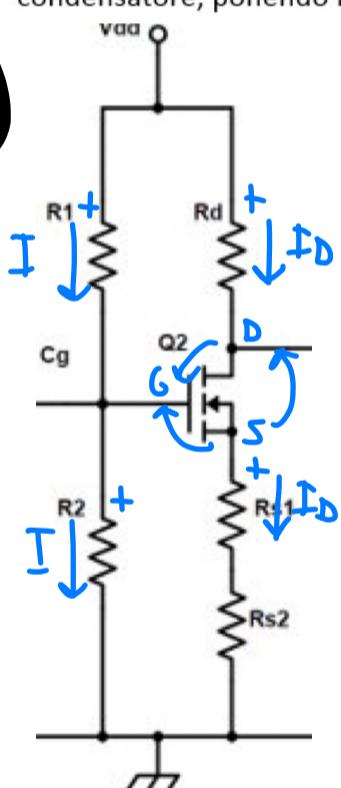
$$R_{s2} = 2 \text{ k}\Omega$$

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

Nel calcolo si trascuri l'effetto di modulazione di lunghezza di canale.

- 1) Il punto di lavoro del transistor Q2 (I_{DS} e V_{DS});
- 2) Il valore di gm del transistor Q2;
- 3) Si disegni il circuito equivalente per piccolo segnale dell'amplificatore e si ricavi la formula che esprime il guadagno, considerando i condensatori dei corto circuiti.
- 4) Si calcoli il guadagno $A_v = V_{out} / V_{in}$
- 5) Dove è possibile inserire un ulteriore condensatore per massimizzare il guadagno, senza modificare il punto di lavoro del transistor Q2? Quanto varrebbe il guadagno in tensione v_{out}/v_g una volta inserito questo condensatore, ponendo $R_L = \infty$ e $R_g = 0$?

1)



$$I = V_{cc} / (R_1 + R_2) = 6.7 \cdot 10^{-6}$$

$$\bullet V_{GS} = V_G - V_S = R_2 I - (R_{s1} + R_{s2}) I_D = ? \quad \text{SUPPONGO} > V_t \Rightarrow \text{ON}$$

$$\bullet V_{DS} = V_D - V_S = R_d I - R_D I_D = ? \quad \text{SUPPONGO} < V_t \Rightarrow \text{SATURAZIONE}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} I_D = \frac{1}{2} K_n (V_{GS} - V_t)^2 \\ V_{GS} = R_2 I - (R_{s1} + R_{s2}) I_D \end{array} \right. \Rightarrow \frac{2 I_D}{K_n} = (R_2 I - (R_{s1} + R_{s2}) I_D - V_t)^2$$

$$\Rightarrow \frac{2 I_D}{K_n} = \left(\frac{2}{3} - 10 \text{ k} I_D \right)^2 \Rightarrow \frac{2 I_D}{K_n} = \frac{4}{9} + 10^8 I_D^2 - \frac{40}{3} \cdot 10^5 I_D$$

$$\Rightarrow 10^8 I_D^2 - 87 \text{ k} I_D + 5.4 = 0$$

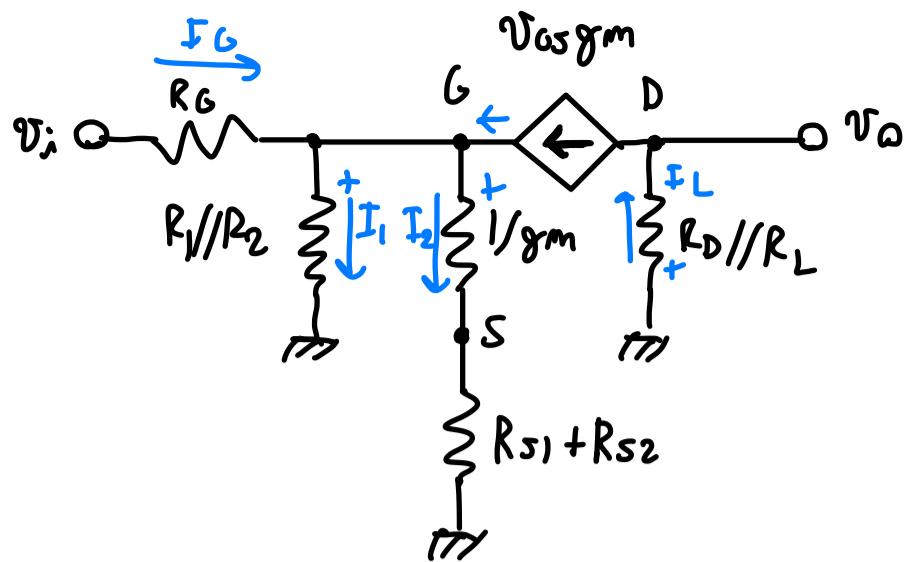
$$I_{D12} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = \frac{87 \text{ k} \pm 75 \text{ k}}{2 \cdot 10^8} = \begin{cases} \frac{6.5 \cdot 10^{-5}}{8.05 \cdot 10^{-5}} \rightarrow V_{GS} = 2.7 > V_t \Rightarrow \text{OK} \\ 8.05 \cdot 10^{-5} \rightarrow V_{GS} = -5.7 < V_t \Rightarrow \text{NO} \end{cases}$$

VERIFICO SATURAZIONE $V_{DS} = -0.15 < V_t \Rightarrow \text{OK}$

$$V_{DS} = V_D - V_S = V_{cc} - R_D I_D - (R_{s1} + R_{s2}) I_D = V_{cc} - (R_D + R_{s1} + R_{s2}) I_D = 2.85 \text{ V}$$

$$2) g_m = K_n (V_{GS} - V_t) = 8.5 \cdot 10^{-5} \quad \frac{1}{g_m} = 12 \text{ k}\Omega$$

3)



$$\left\{ \begin{array}{l} V_{GS} = V_G - V_S \\ V_G = V_{in} - R_G I_G \\ I_G = I_1 + I_2 - V_{GS}gm \\ I_1 = V_G / (R_1 // R_2) \\ I_2 = V_G / (1/gm + R_{S1} + R_{S2}) \\ V_S = (R_{S1} + R_{S2}) I_2 \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} V_{GS} = V_G - (R_{S1} + R_{S2}) I_2 \\ V_G = V_{in} - R_G I_G \\ I_G = I_1 + I_2 - V_{GS}gm \\ I_1 = V_G / (R_1 // R_2) \\ I_2 = V_G / (1/gm + R_{S1} + R_{S2}) \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} V_{GS} = V_G - (R_{S1} + R_{S2}) I_2 \\ V_G = V_{in} - R_G I_G \\ I_G = V_G / (R_1 // R_2) + I_2 - V_{GS}gm \\ I_2 = V_G / (1/gm + R_{S1} + R_{S2}) \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} V_{GS} = V_G - (R_{S1} + R_{S2}) V_G / (1/gm + R_{S1} + R_{S2}) \\ V_G = V_{in} - R_G I_G \\ I_G = V_G / (R_1 // R_2) + V_G / (1/gm + R_{S1} + R_{S2}) - V_{GS}gm \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} V_{GS} = V_G - (R_{S1} + R_{S2}) V_G / (1/gm + R_{S1} + R_{S2}) \\ V_G = V_{in} - R_G (V_G / (R_1 // R_2) + V_G / (1/gm + R_{S1} + R_{S2}) - V_{GS}gm) \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} V_{GS} = V_G \left(1 - \frac{R_{S1} + R_{S2}}{1/gm + R_{S1} + R_{S2}} \right) \\ V_G = V_{in} - R_G \left(\frac{V_G}{R_1 // R_2} + \frac{V_G}{1/gm + R_{S1} + R_{S2}} - V_{GS}gm \right) \\ = V_{in} + V_{GS}gm R_G - V_G \left(\frac{R_G}{R_1 // R_2} + \frac{R_G}{1/gm + R_{S1} + R_{S2}} \right) \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} V_{GS} = V_G \left(1 - \frac{R_{S1} + R_{S2}}{1/gm + R_{S1} + R_{S2}} \right) \\ V_G = \frac{V_{in} + V_{GS}gm R_G}{\left(1 + \frac{R_G}{R_1 // R_2} + \frac{R_G}{1/gm + R_{S1} + R_{S2}} \right)} \end{array} \right.$$

$$V_{0S} = \frac{V_i + V_{0S} g_m R_G}{\left(1 + \frac{R_G}{R_1//R_2} + \frac{R_G}{1/g_m + R_{S1} + R_{S2}}\right)} \left(1 - \frac{R_{S1} + R_{S2}}{1/g_m + R_{S1} + R_{S2}}\right)$$

$\alpha = 1.49$

$b = 6/11$

$$\Rightarrow V_{0S} = \frac{b}{\alpha} V_i + \frac{V_{0S} g_m R_G b}{\alpha} \Rightarrow V_{0S} \left(\frac{\alpha - g_m R_G b}{\alpha}\right) = \frac{b}{\alpha} V_i$$

$$\Rightarrow V_{0S} = V_i \frac{b}{\alpha - g_m R_G b}$$

$$v_o = - g_m V_{0S} (R_D // R_L) = - \frac{g_m b (R_D // R_L)}{\alpha - g_m R_G b} V_i$$

4) $A_V = \frac{v_o}{V_i} = - \frac{g_m b (R_D // R_L)}{\alpha - g_m R_G b} = - 3.23$

5) $I_N // A R_{S1} \& R_{S2}$

$$b = \left(1 - \frac{Q}{1/g_m + Q}\right) = 1$$

$$\alpha = \left(1 + \frac{R_G}{R_1//R_2} + \frac{R_G}{1/g_m}\right) = 1.86$$

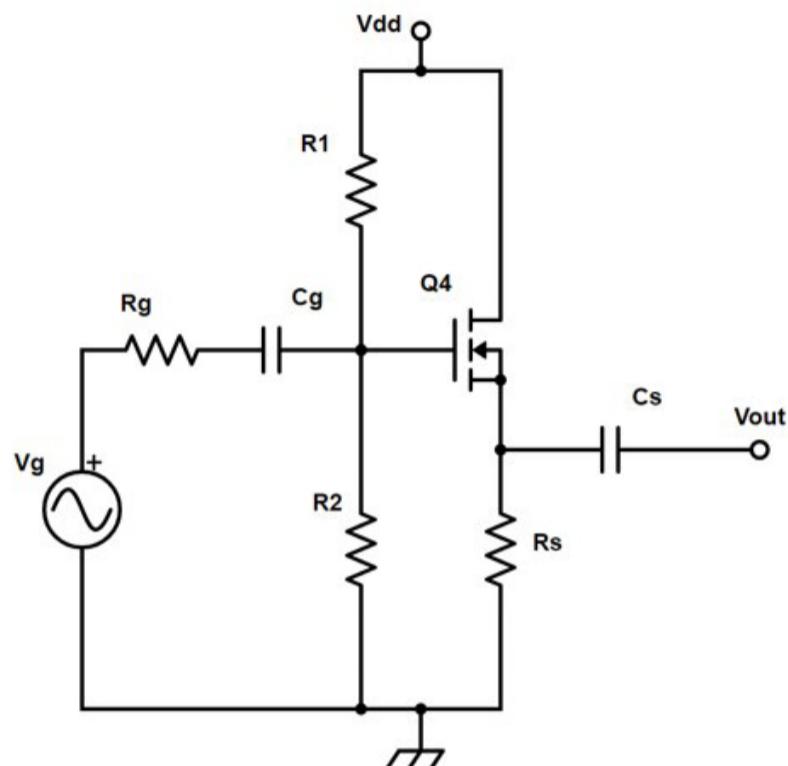
$$A_V = - \frac{g_m b (R_D // R_L)}{\alpha - g_m R_G b} = - 6.01$$

Esame 2018-05-25 2

Si consideri il circuito riportato in figura C dove il transistor Q4 è un MOSFET a canale N di tipo Enhancement.

Si calcoli:

- 1) Il punto di lavoro del transistor Q4 (I_{DS} e V_{DS});
- 2) Il valore di gm del transistor Q4;
- 3) Si disegni il circuito equivalente per piccolo segnale dell'amplificatore e si ricavi la formula che esprime il guadagno, considerando i condensatori dei corto circuiti.
- 4) Si calcoli il guadagno $A_v = V_{out} / V_{in}$



$$V_{dd} = 10 \text{ V}$$

Transistor Q4 :

$$R_1 = 2 \text{ M}\Omega$$

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

$$R_2 = 2 \text{ M}\Omega$$

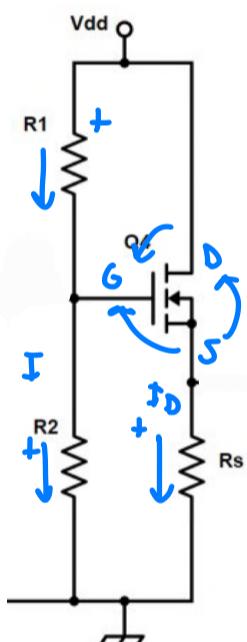
$$K_n = 1 \text{ mA/V}^2$$

$$R_s = 5 \text{ k}\Omega$$

$$R_g = 111 \text{ k}\Omega$$

Nel calcolo si trascuri l'effetto di modulazione di lunghezza di canale.

1)



$$\bullet V_{GS} = V_G - V_S = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} - R_S I_D = 5 - R_S I_D = ? \Rightarrow \text{SUPPONGO} > V_t$$

$$\bullet V_{GD} = V_G - V_D = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} - V_D = 5 - 10 = -5 < V_t \Rightarrow \text{SATURAZIONE}$$

$$I_D = \frac{1}{2} K_n (V_{GS} - V_t)^2 = \frac{1}{2} K_n (5 - R_S I_D)^2 = \frac{1}{2} K_n (16 + R_S^2 I_D^2 - 8 R_S I_D)$$

$$\Rightarrow R_S^2 I_D^2 - I_D \left(8 R_S + \frac{2}{K_n} \right) + 16 = 0$$

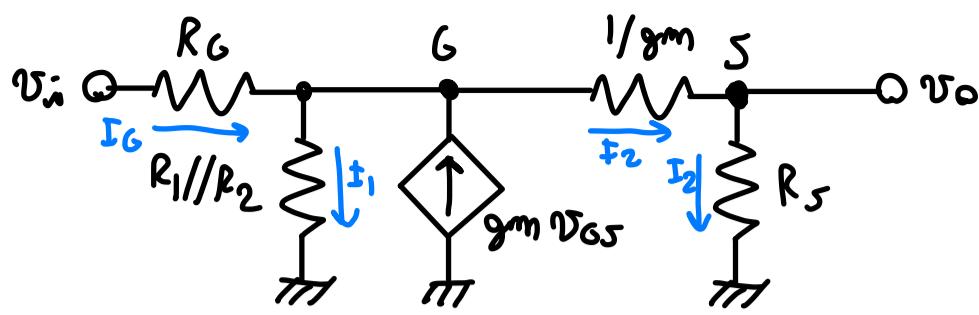
$$\Rightarrow 25M I_D^2 - 52k + 16 = 0$$

$$I_{D12} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = \frac{42 \pm 12.8}{50k} = \begin{cases} \frac{5.87 \cdot 10^{-4}}{1.1 \cdot 10^{-3}} \Rightarrow V_{GS} = 2.08 > V_t \Rightarrow OK \\ 1.1 \cdot 10^{-3} \Rightarrow V_{GS} = -0.5 < V_t \Rightarrow NO \end{cases}$$

$$V_{DS} = V_D - V_S = V_{CC} - R_S I_D = 7.08 \text{ V}$$

$$2) g_m = K_n (V_{GS} - V_t) = 1.08 \cdot 10^{-3} \quad 1/g_m = 926 \text{ s}$$

3)



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

$$V_G = I_2 (1/gm + R_S)$$

$$V_S = I_2 R_S$$

$$I_2 = I_G + gm V_{GS} - I_1$$

$$I_G = (V_{in} - V_G) / R_G$$

$$I_1 = V_G / (R_1 // R_2)$$

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

$$V_G = I_2 (1/gm + R_S)$$

$$V_S = I_2 R_S$$

$$I_2 = (V_{in} - V_G) / R_G + gm V_{GS} - V_G / (R_1 // R_2)$$

$$V_G = I_2 (1/gm + R_S)$$

$$V_S = I_2 R_S$$

$$I_2 = (V_{in} - V_G) / R_G + gm(V_G - V_S) - V_G / (R_1 // R_2) = \frac{V_{in}}{R_G} - gmV_S + V_G \left(\frac{1}{gm} - \frac{1}{R_G} - \frac{1}{R_1 // R_2} \right)$$

$$V_S = I_2 R_S$$

$$I_2 = \frac{V_{in}}{R_G} - gmV_S + I_2 (1/gm + R_S) \left(\frac{1}{gm} - \frac{1}{R_G} - \frac{1}{R_1 // R_2} \right)$$

$$V_S = I_2 R_S$$

$$I_2 = \frac{V_{in}}{R_G \cdot \left[1 - (1/gm + R_S) \left(\frac{1}{gm} - \frac{1}{R_G} - \frac{1}{R_1 // R_2} \right) \right]} - \frac{gm V_{GS}}{\left[1 - (1/gm + R_S) \left(\frac{1}{gm} - \frac{1}{R_G} - \frac{1}{R_1 // R_2} \right) \right]}$$

$\alpha =$

CALCOLI VARI - - -

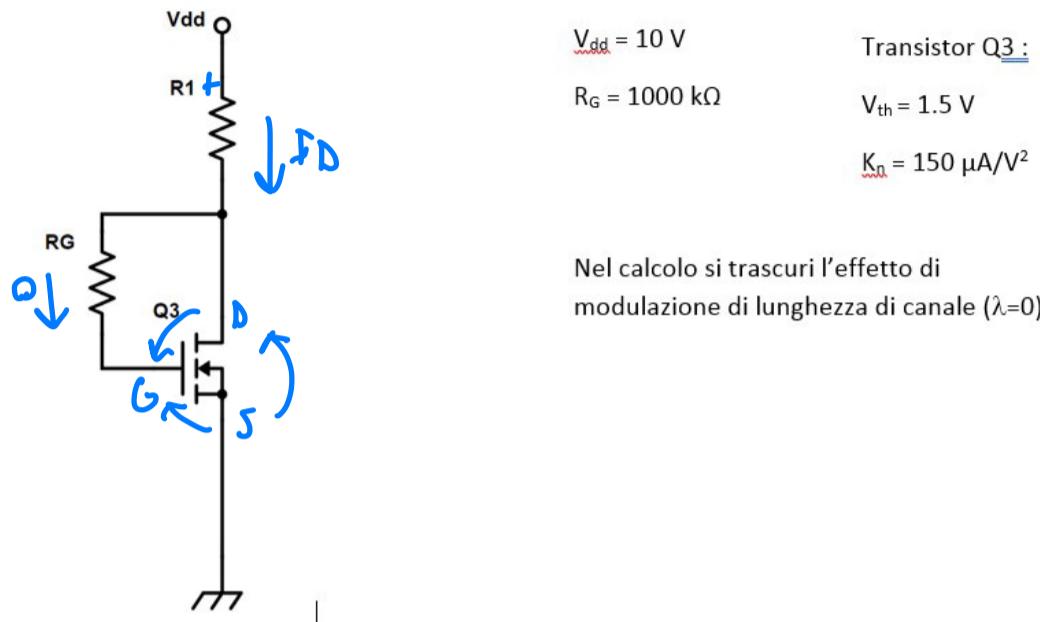
$$4) A_V = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{V_S}{V_{in}} = \dots$$

Esame 2018-05-25 3

Si consideri il circuito riportato in figura C dove il transistor Q3 è un MOSFET a canale N di tipo Enhancement.

Si calcoli:

- 1) La resistenza R1 per avere una corrente pari a 1mA nel punto di lavoro del transistor Q3, e tale da consentire l'operatività in regime di saturazione;
- 2) Calcolare il valore di V_{DS}



3) come impostereste la soluzione nel caso $\lambda \neq 0$?

1) $I_D = \frac{1}{2} K_m (V_{GS} - V_t)^2 \Rightarrow V_{GS} = \sqrt{\frac{2I_D}{K_m}} + V_t = 5.15\text{ V} \rightarrow V_t \text{ OK}$

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

$$V_D = V_{DD} - R_1 I_D \Rightarrow R_1 = \frac{V_{DD} - V_D}{I_D} = 485\Omega$$

$$V_{GD} = V_G - V_D = 0 < V_t \text{ OK}$$

2) $V_{DS} = V_D - V_S = V_{GS} = 5.15\text{ V}$

3) $\begin{cases} I_D = \frac{1}{2} K_m (V_{GS} - V_t)^2 (1 + \lambda V_{DS}) \\ V_{GS} = V_{DD} \end{cases}$

$$\Rightarrow \frac{2I_D}{K_m} = (V_{GS}^2 + V_t^2 - 2V_{GS}V_t)(1 + \lambda V_{GS})$$

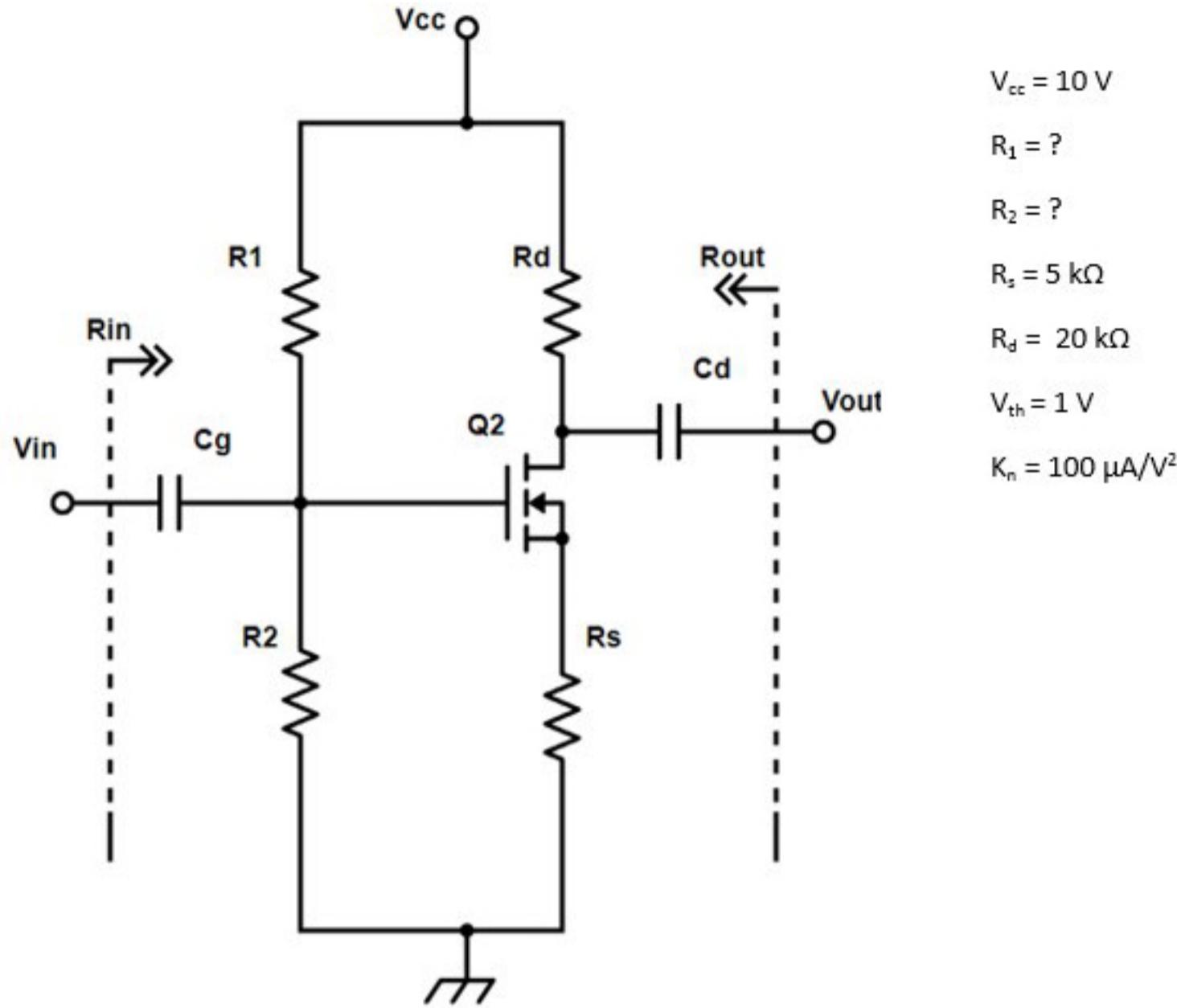
$$\Rightarrow V_{GS}^2 + V_t^2 - 2V_{GS}V_t + \lambda V_{GS}^3 + \lambda V_t^2 V_{GS} - 2\lambda V_t V_{GS}^2 - \frac{2I_D}{K_m} = 0$$

$$\Rightarrow \lambda V_{GS}^3 + V_{GS}^2(1 - 2\lambda V_t) + V_{GS}(\lambda V_t^2 - 2V_t) + V_t^2 - \frac{2I_D}{K_m} = 0$$

Ricava V_{GS}

$$R_1 = \frac{V_{DD} - V_D}{I_D} = \frac{V_{DD} - V_{GS}}{I_D} = \frac{V_{DD} - V_{GS}}{10^{-3}}$$

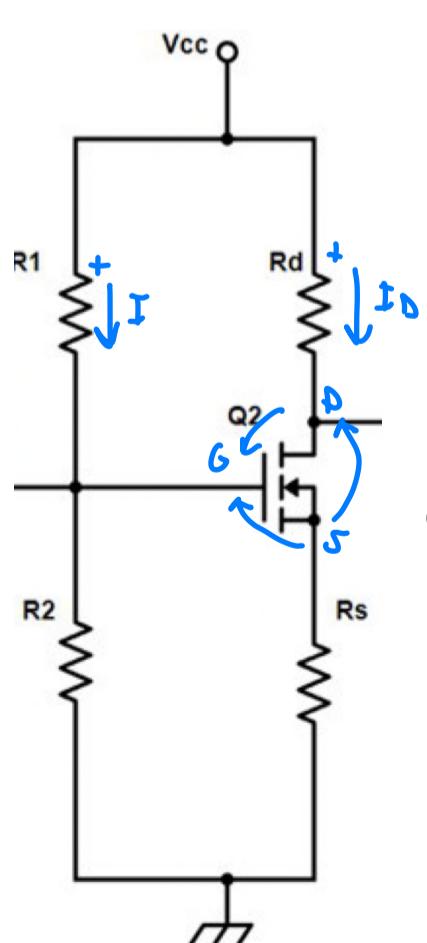
Esame 2018-07-04



Dato il circuito in figura,

- 1 definire R_1 ed R_2 in modo che la corrente di drain del transistor Q2 sia pari a $200 \mu\text{A}$ e
2. che la resistenza di ingresso sia superiore a $200 \text{ k}\Omega$.
3. verificare che il dispositivo operi in saturazione
4. disegnare il modello per piccolo segnale, ricavare l'espressione del guadagno
5. calcolare l'effettiva resistenza di ingresso
6. calcolare la resistenza di uscita
7. di quanto aumenta la corrente di drain se K_n raddoppia? Il dispositivo è ancora in saturazione?

1)



$$I_D = \frac{1}{2} K_n (V_{GS} - V_t)^2 \Rightarrow V_{GS} = \sqrt{\frac{2I_D}{K_n}} + V_t = 3 \text{ V}$$

$$V_S = I_D R_S = 1 \text{ V}$$

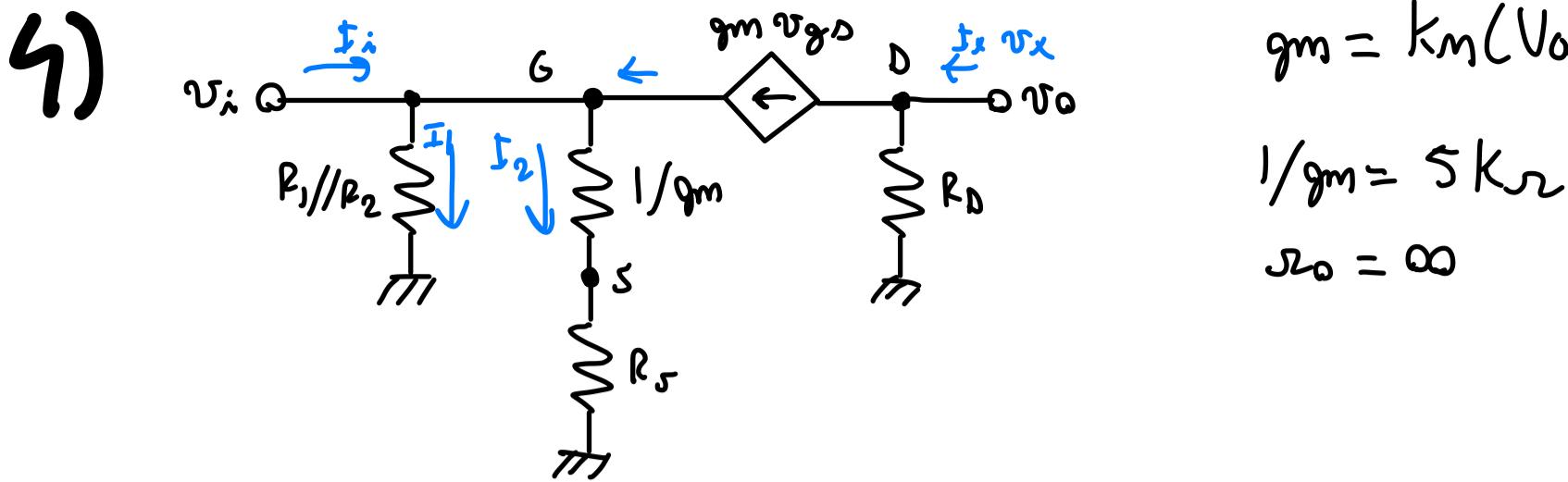
$$V_{GS} = V_G - V_S \Rightarrow V_G = V_{GS} + V_S = 4 \text{ V}$$

$$V_G = V_{cc} \frac{R_2}{R_1 + R_2} \Rightarrow \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 0.4 \text{ V} \Rightarrow R_1 = 6M\Omega \quad R_2 = 4M\Omega$$

2) $R_{IN} = R_1 // R_2 = 2.4 M\Omega > 200 k \Rightarrow \text{OK}$

3) $V_{GS} = 3 \text{ V} > V_t \Rightarrow \text{OK}$

$$V_{GD} = V_G - V_D = V_G - (V_{DD} - R_D I_D) = -2 \text{ V} < V_t \Rightarrow \text{OK}$$



$$g_m = k_m (V_{GS} - V_t) = 2 \cdot 10^{-4}$$

$$1/g_m = 5 \text{ k}\Omega$$

$$R_D = \infty$$

$$V_{GS} = V_G - V_S = V_G - V_G \frac{R_S}{1/g_m + R_S} = V_G \left(1 - \frac{R_S}{1/g_m + R_S}\right)$$

$$A_{V_i} = \frac{V_O}{V_i} = \frac{-g_m V_{GS} R_D}{V_i} = -g_m R_D \left(1 - \frac{R_S}{1/g_m + R_S}\right) = -2 \text{ V/V}$$

5)

$$\begin{aligned} I_i &= I_1 + I_2 - g_m V_{GS} \\ &= \frac{V_i}{R_1 || R_2} + \frac{V_i}{1/g_m + R_S} - g_m V_i \left(1 - \frac{R_S}{1/g_m + R_S}\right) = \\ &= V_i \left(\frac{1}{R_1 || R_2} + \frac{1}{1/g_m + R_S} - g_m + \frac{R_S g_m}{1/g_m + R_S} \right) = V_i \rightarrow h \cdot I_o^{-1} \end{aligned}$$

$$R_i = \frac{V_i}{I_i} = 2.3 \text{ M}\Omega$$

6)

$$I_x = g_m \underbrace{V_{GS}}_{= 0 \text{ XK } V_i \text{ SPENTO}} + R_D V_x = R_D = 5 \text{ k}\Omega$$

7)

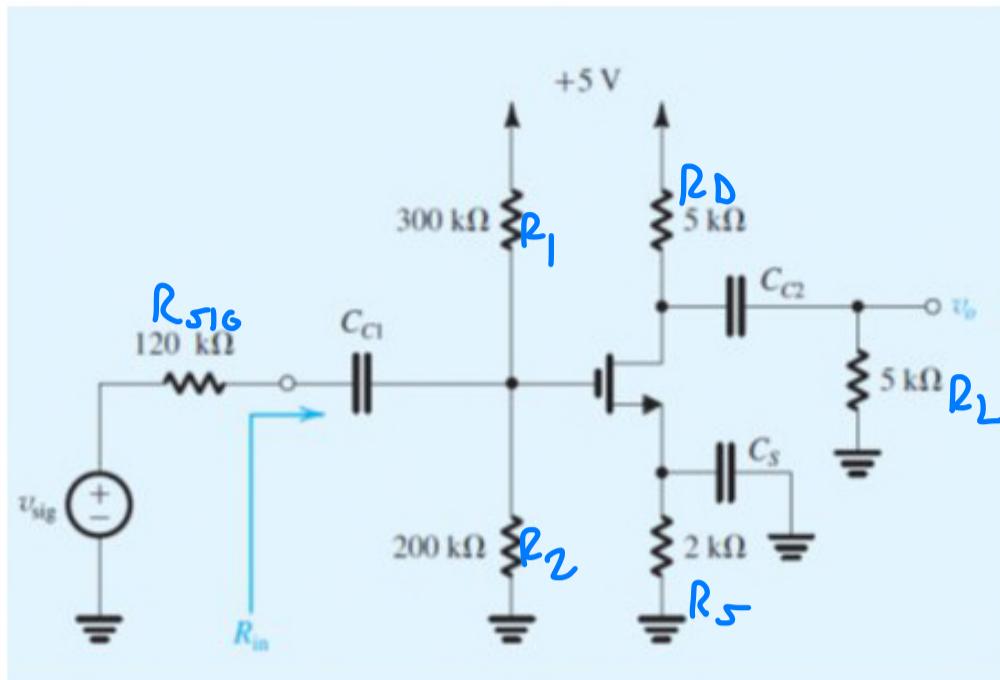
$$k_m l = 2 k_m$$

$$I_D = \frac{1}{2} k_m (V_{GS} - V_t)^2 = 900 \text{ nA}$$

$$V_{GD} = V_G - V_D = V_G - (V_{DD} - R_D I_D) = 12 \text{ V} \rightarrow V_t \Rightarrow \text{NO SATURAZIONE}$$

Esame 2018-07-18 1

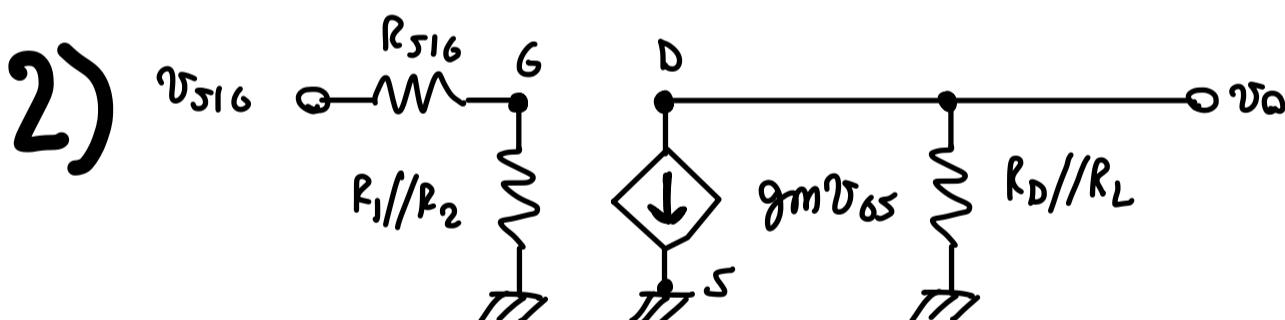
Si consideri il circuito riportato in figura A dove il transistor Q2 è un MOSFET a canale N di tipo Enhancement con tensione di soglia $V_T = 0.7 \text{ V}$



1. Nel circuito in esame, la corrente di drain del transistor è pari a 0.5 mA. Qual è il valore di k_n del transistor ? (si trascuri la modulazione della lunghezza di canale ($\lambda = 0$))
2. Qual è il guadagno in tensione v_o/v_{sig} ?
3. Quanto vale la resistenza di ingresso ?
4. Qual è il massimo valore della resistenza di drain per il quale il transistor si trova ancora in saturazione ?

1) $V_{GS} = V_G - V_S = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} - R_S I_D = 1 \text{ V}$

$$I_D = \frac{1}{2} k_m (V_{GS} - V_t)^2 \Rightarrow k_m = \frac{2 I_D}{(V_{GS} - V_t)^2} = 11 \cdot 10^{-3}$$



$$g_m = k_m (V_{GS} - V_t) = 3.3 \cdot 10^{-3}$$

$$v_{os} = V_G - V_S = V_o = \frac{R_{sig}}{R_1 // R_2 + R_{sig}} V_{sig}$$

$$A_{VO} = \frac{V_O}{V_{sig}} = - g_m (R_D // R_L) \frac{R_{sig}}{R_1 // R_2 + R_{sig}} = -2.36 \text{ V/V}$$

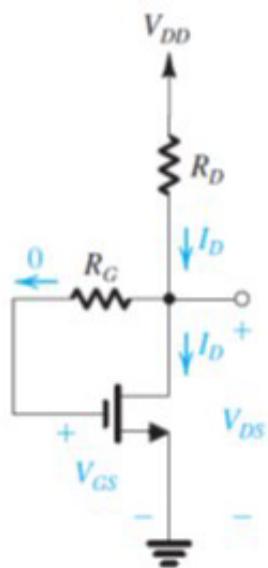
3) R_i (SENZA CONSIDERARE R_{sig})

$$R_i = \frac{V_i}{I_i} = R_1 // R_2 = 120 \text{ k}\Omega$$

4) $V_{GD} = V_G - V_D = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} - R_D I_D < V_t$

$$\Rightarrow R_D = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \frac{V_{CC}}{I_D} - \frac{V_t}{I_D} = 2600 \text{ }\Omega$$

Esame 2018-07-18 2



1. Progettare il circuito in modo che operi con una corrente di drain di 0.5 mA. $V_{DD} = 5 \text{ V}$, $k_n = 1 \text{ mA/V}^2$, $V_T = 1 \text{ V}$ e $\lambda = 0$.
2. Quanto vale V_{DS} ?
3. Qual è il limite massimo per la resistenza di drain? A cosa è dovuto?

1) $V_D = V_G = V_{GS} = \sqrt{\frac{2I_D}{k_n}} + V_T = 2 \text{ V}$

$$R_D = \frac{V_{DD} - V_D}{I_D} = 6 \text{ k}\Omega$$

2) $V_{DS} = V_D - V_S = V_D = 2 \text{ V}$

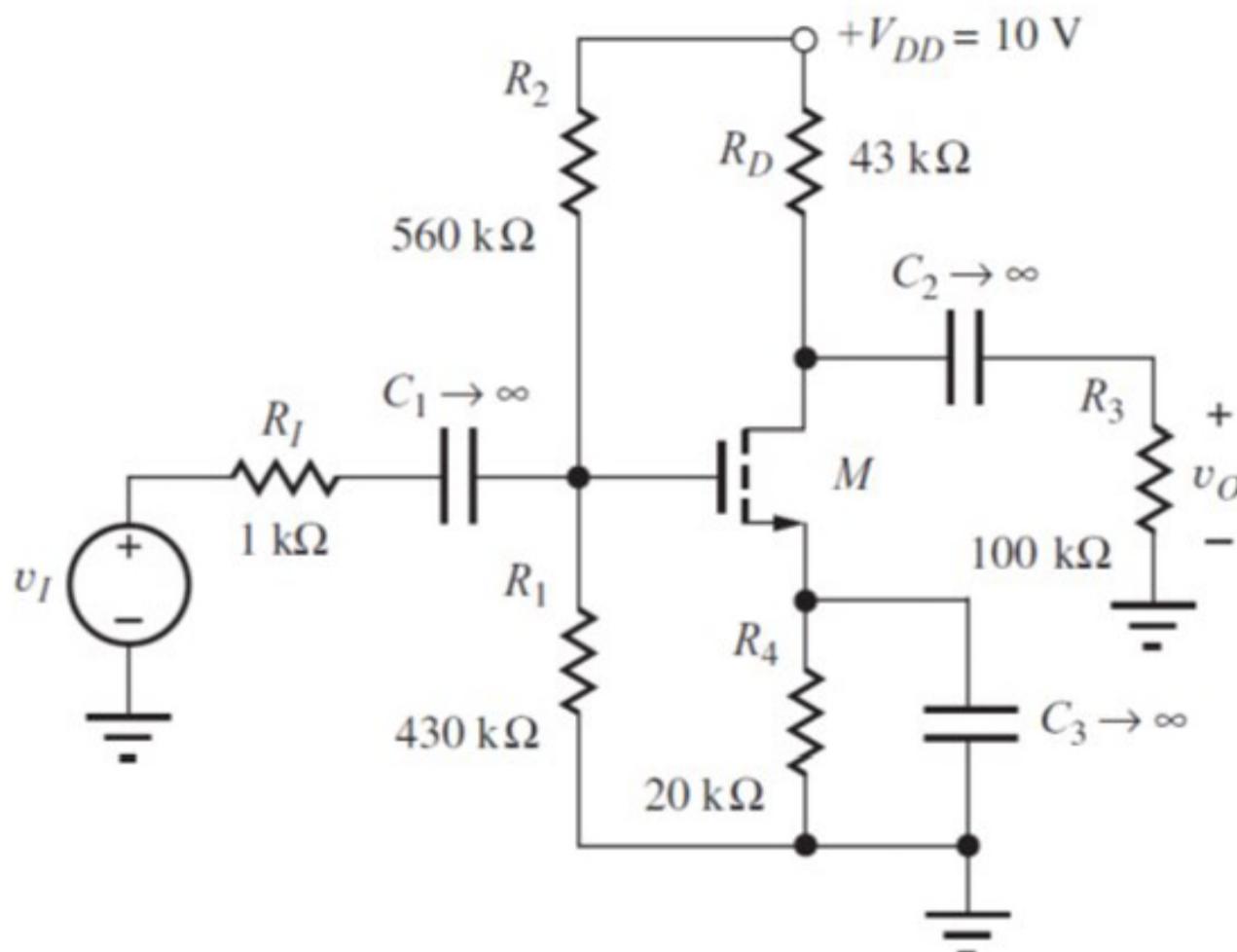
3) CONDIZIONI SATURAZIONE: $\begin{cases} V_{GD} < V_T \Rightarrow V_{GD} = V_G - V_D = 0 \Rightarrow \text{OK} \\ V_{GS} > V_T \Rightarrow V_{GS} = V_G - V_S = V_D = V_{DD} - R_D I_D > V_T \end{cases}$

$$\Rightarrow R_D < \frac{V_{DD} - V_T}{I_D} = 8 \text{ k}\Omega$$

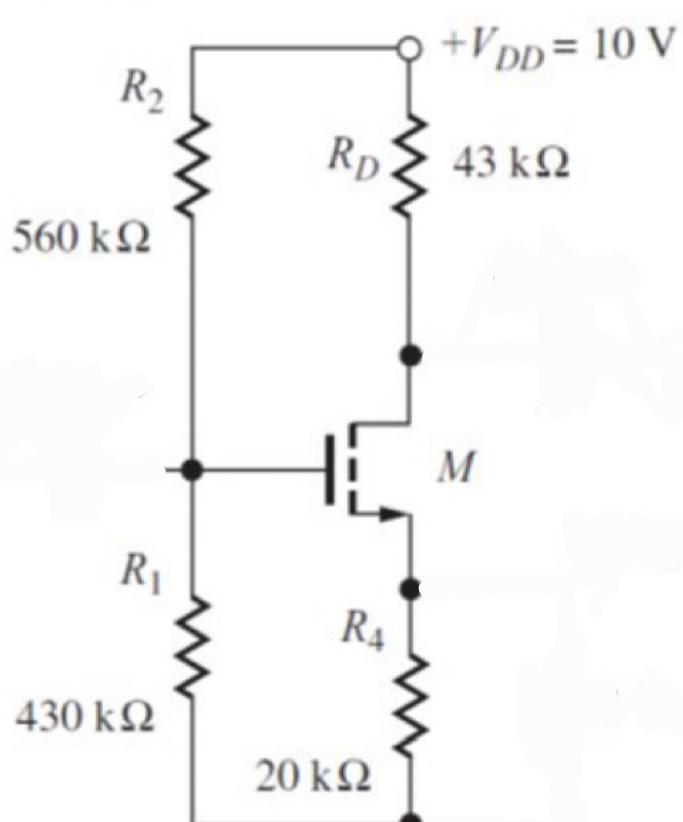
Esame 2018-09-171

Dato il circuito in Figura 3, nel quale il transistor n MOS enhancement è caratterizzato da una tensione di soglia $V_{TN} = 1 \text{ V}$ e da $k_n = 0.5 \text{ mA/V}^2$,

- determinare il punto di lavoro
- calcolare la potenza dissipata dalle resistenze e dal transistor
- determinare il valore della transconduttanza g_m del transistor
- calcolare il guadagno in tensione v_o/v_i
- calcolare la resistenza di ingresso al nodo di gate
- dire che cosa succede se si rimuove il condensatore C_3
- ricalcolare il guadagno con $R_I = 1 \text{ M}\Omega$



a)



$$\bullet V_{GS} = V_G - V_S = V_{DD} \frac{R_1}{R_1 + R_2} - I_D R_S = ? \text{ SUPPONGO } > V_t$$

$$\bullet V_{GD} = V_G - V_D = V_{DD} \frac{R_1}{R_1 + R_2} - (V_{DD} - R_D I_D) = ? \text{ SUPPONGO } < V_t$$

$$I_D = \frac{1}{2} k_m (V_{GS} - V_t)^2 = \frac{1}{2} k_m \left(V_{DD} \frac{R_1}{R_1 + R_2} - I_D R_S - V_t \right)^2$$

$$\Rightarrow \frac{2 I_D}{k_m} = 11.17 + I_D^2 R_S^2 - 6.7 R_D I_D$$

$$\Rightarrow 400M I_D^2 - 292100 I_D + 11.7 = 0$$

$$\Rightarrow I_{D1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = \frac{292100 \pm 258074}{800M} = \begin{cases} \frac{5.25 \cdot 10^{-5}}{6.9 \cdot 10^{-5}} \Rightarrow V_{GS} = 3.59 > V_t \text{ OK} \\ 6.9 \cdot 10^{-5} \Rightarrow V_{GS} = -9.45 < V_t \text{ NO} \end{cases}$$

$$V_{DS} = V_D - V_S = V_{DD} - R_D I_D - R_S I_D = V_{DD} - (R_D + R_S) I_D = 7.3 \text{ V}$$

b)

$$P_D = I_D^2 R_D = \dots$$

$$P_S = I_D^2 R_S = \dots$$

$$P_1 = \left(\frac{V_{DD}}{R_1 + R_2} \right)^2 \cdot P_1 = \dots$$

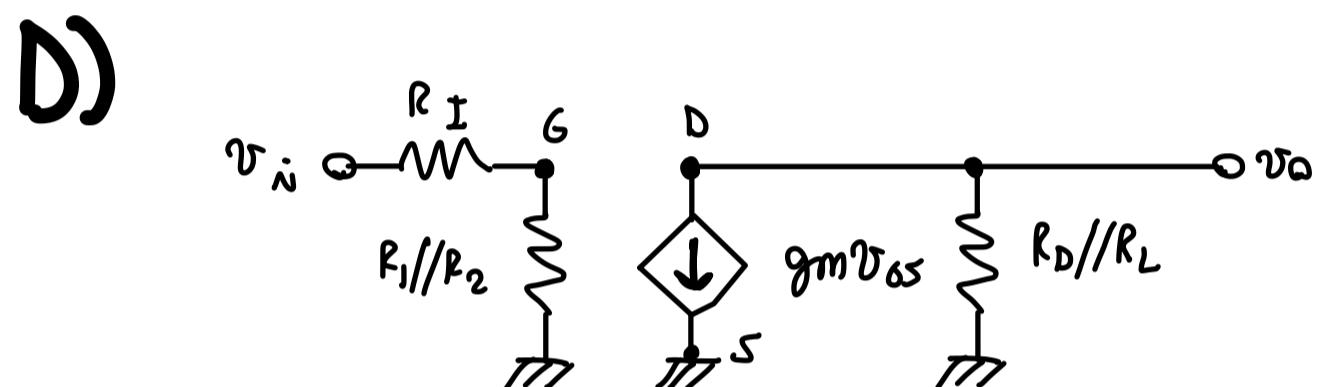
$$P_2 = \left(\frac{V_{DD}}{R_1 + R_2} \right)^2 \cdot P_2 = \dots$$

$$P_{TRANS} = I_D \cdot V_{DS} = \dots$$

c)

$$g_m = k_m (V_{GS} - V_t) = 1.255 \cdot 10^{-3}$$

$$1/g_m = 803 \Omega$$



$$V_{GS} = V_{in} \frac{R_1 // R_2}{R_S + R_1 // R_2}$$

$$A_{VO} = \frac{V_o}{V_{in}} = - g_m \frac{R_1 // R_2}{R_S + R_1 // R_2} (R_D // R_L) = \dots$$

e)

$$R_{IN}(SIGNAL R_S) = \frac{V_{in}}{I_{in}} = R_1 // R_2 = \dots$$

f) SE SI RIMUOVE C₃ NEL MODELLO A PICCOLO SEGNALE COMPARIRÀ LA RISISTENZA R_S. IL GUADAGNO SI RIDUCE

g)

$$A_{VO} = \frac{V_o}{V_{in}} = - g_m \frac{R_1 // R_2}{R_S + R_1 // R_2} (R_D // R_L) = \dots$$

Esame 2018-09-17 2

Per un amplificatore MOS a source comune a singolo stadio, si deve scegliere il punto di lavoro del transistor MOS (enhancement a canale n) che deve amplificare un segnale sinusoidale di tensione con un valore di picco massimo pari a 0.1 V.

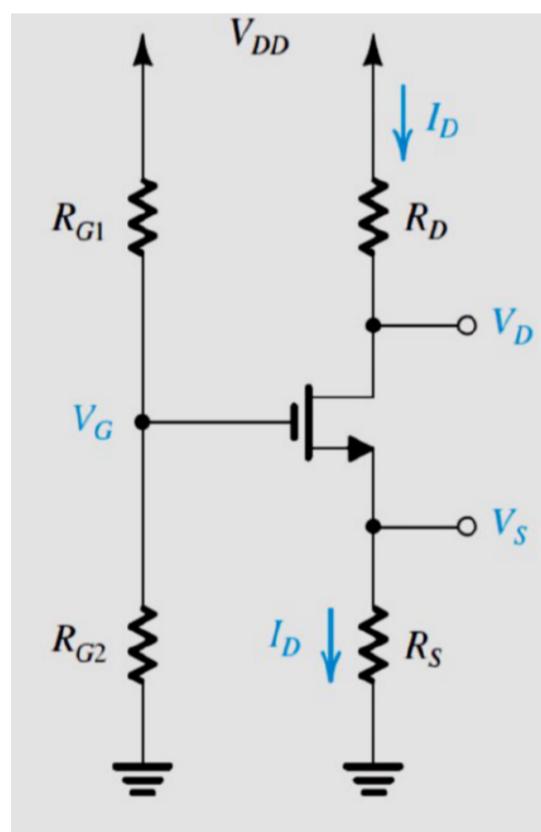
(a) qual è il valore minimo di $V_{GSQ} - V_{TN}$ che può essere utilizzato? perché?

(b) qual è il valore minimo per la tensione di alimentazione del circuito se l'amplificatore deve garantire un guadagno in tensione non inferiore a 35 dB? perché?

a) $\begin{cases} V_{GS} < V_t \\ V_{GD} > V_t \end{cases}$

$$V_{GS} = V_G - V_S \approx V_i \cdot \frac{R_{G2}}{R_{G1} + R_{G2}} - R_s I_D$$

$$V_{GD} = V_D - V_D =$$

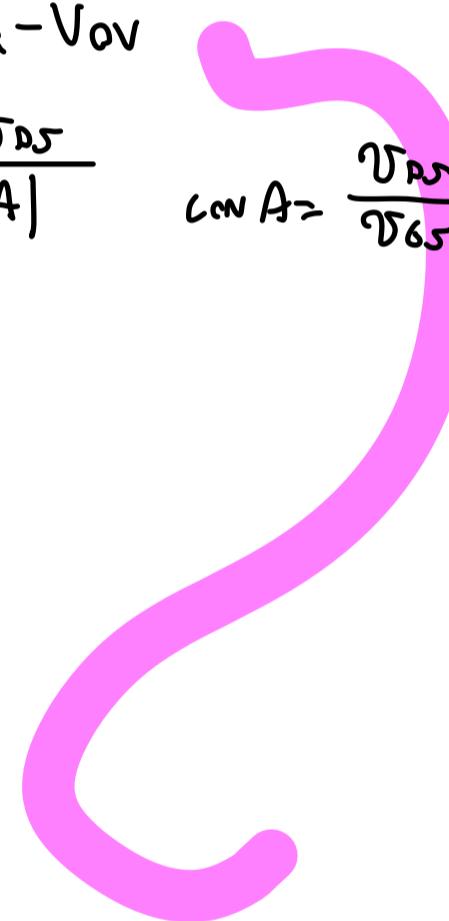


$$V_{DSQ} > V_{OV} > V_{GSQ} - V_{TM}$$

$$\Delta V_{DSQ} = \hat{V}_{DS} = V_{DSQ} - V_{OV}$$

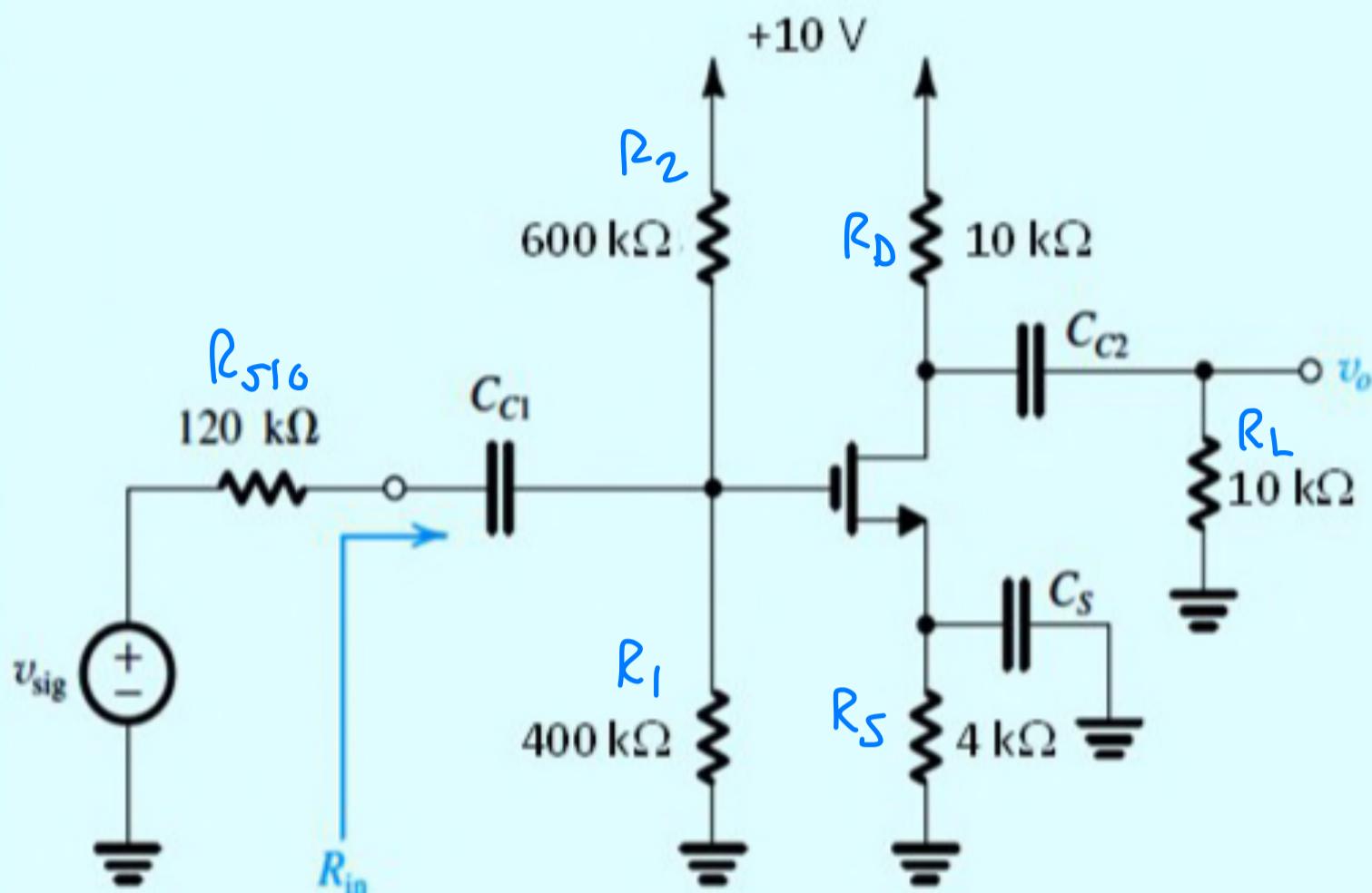
$$\hat{V}_{GS} = \frac{\hat{V}_{DS}}{|A|}$$

$$\text{con } A = \frac{V_{DS}}{V_{GS}}$$



b) $20 \log x = 35$
 $\hookrightarrow 56.23$

Esame 2019-01-30



Nel circuito in figura, il transistor è un MOSFET a canale n di tipo ad arricchimento (enhancement) con tensione di soglia $V_T = +1$ V e con $k_n = 1$ mA/V². (a) Determinare il punto di lavoro del transistor (V_{GS0} , I_{DS0}). (b) calcolare il guadagno in tensione v_o/v_{sig} ; (c) calcolare la resistenza di ingresso R_{in} vista tra il condensatore C_{C1} e massa; (d) identificare il valore massimo di resistenza di drain per il quale il transistor si trova ancora in saturazione; (e) spiegare, almeno qualitativamente, cosa cambia se si rimuove il condensatore C_S dal circuito.

a)

- $V_{GS} = V_G - V_S = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{CC} - R_S I_D = ? \quad \text{SUPPORE} > V_t$
- $V_{GD} = V_G - V_D = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{CC} - (V_{CC} - R_D I_D) = ? \quad \text{SUPPORE} < V_t$

$$I_D = \frac{1}{2} k_m (V_{GS} - V_t)^2 = \frac{1}{2} k_m (h - R_S I_D - 1)^2 = \frac{1}{2} k_m (9 + R_S^2 I_D^2 - 6 R_S I_D)$$

$$\Rightarrow R_S^2 I_D^2 - I_D (6 R_S + \frac{2}{k_m}) + 9 = 0 \quad \Rightarrow 16M I_D^2 - 26K I_D + 9 = 0$$

$$I_{D12} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = \frac{26 \pm 10}{32K} = \begin{cases} 5 \cdot 10^{-4} \\ 1.125 \cdot 10^{-3} \end{cases} \quad \Rightarrow V_{GS} = 2 > V_t \Rightarrow OK$$

$$\Rightarrow V_{GS} = -0.5 < V_t \Rightarrow NO$$

$$V_{DS} = V_D - V_S = V_{DD} - R_D I_D - R_S I_D = V_{DD} - (R_D + R_S) I_D = 3V$$

b)

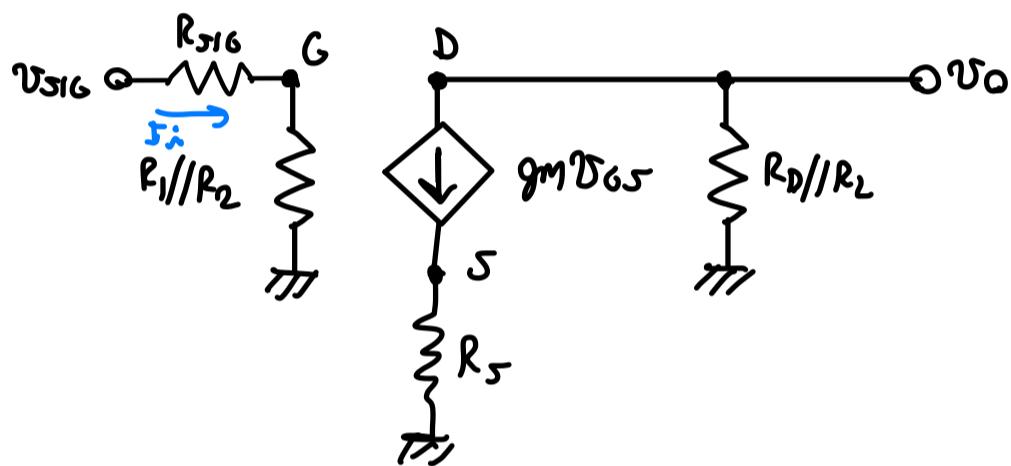
C) $R_{IN} (\text{SENZA } R_{SIG}) = \frac{V_i}{I_i} = R_1 // R_2 = \dots$

D) CONIZIONI SATURAZIONE: $\begin{cases} V_{GS} > V_t \Rightarrow OK \\ V_{GD} < V_t \end{cases}$

$$\frac{R_1}{R_1+R_2} V_{CC} - (V_{CC} - R_D I_D) < V_t$$

$$R_D < \frac{V_t + V_{CC} - \frac{R_1}{R_1+R_2} V_{CC}}{I_D} = 15 \text{ k}\Omega$$

E) SE SI RI MUOVE C_S, IL MODELLO A PICCOLO SEGNALE DIVENTA:



$$\begin{aligned} V_{GS} &= \frac{R_1 // R_2}{R_1 // R_2 + R_{SIG}} V_i - R_S V_{GS} \\ &= \frac{R_1 // R_2}{R_1 // R_2 + R_{SIG}} \frac{1}{(1 + R_S)} V_i \end{aligned}$$

$$A_{V_O} = \frac{V_O}{V_i} = -g_m (R_D // R_L) \frac{R_1 // R_2}{R_1 // R_2 + R_{SIG}} \frac{1}{(1 + R_S)} = \dots \quad \text{CHE } \omega < \text{ DEL PRECEDENTE.}$$