Fondamenti di Elettronica – Ing. AUTOMATICA- AA 2014/2015

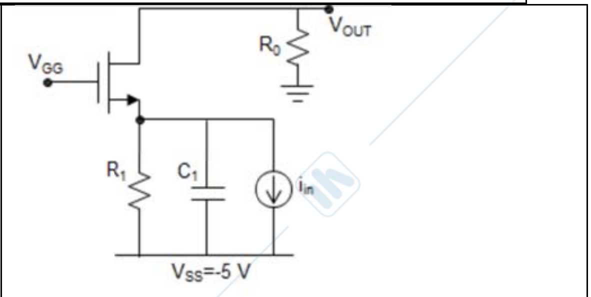
Appello del 7 luglio 2015

Indicare chiaramente la domanda a cui si sta rispondendo. Ad esempio 1a) …
La domanda in grassetto e' un esercizio "obbligatorio" per il superamento della prova.

Esercizio 1

Si consideri lo stadio di amplificazione a MOSFET in figura.

Dati:
V_{GG}= - 2 V
R_1=3.33 kΩ, R_{OUT}=3 kΩ, C_1=5 nF
$k=1/2\mu C_{ox}(W/L)$=0.3 mA/V^2, V_T=1 V

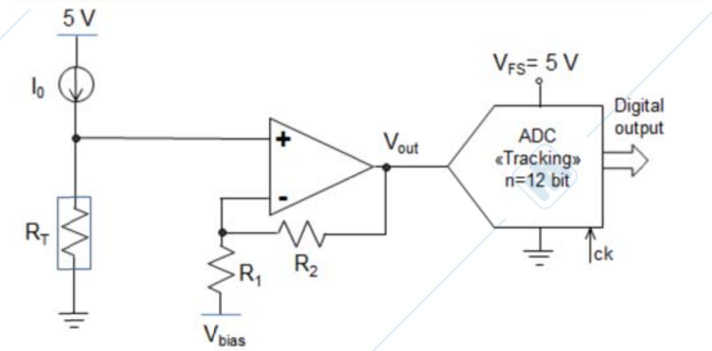


a) **Polarizzare il circuito.**
b) Calcolare il trasferimento (v_{OUT}/i_{IN}) a bassa frequenza e ad alta frequenza.
c) Disegnare il grafico dell'andamento dell'uscita, quotandone tutti i punti significativi, quando in ingresso viene applicato un gradino di corrente di ampiezza 15μA.
d) Valutare l'ampiezza del segnale in uscita v_{OUT} causato da un disturbo sinusoidale (v_G) di ampiezza 100mV e frequenza f=1 kHz sovrapposto alla tensione V_{GG}.

Esercizio 2

Il circuito in figura e' un *termometro digitale* che utilizza come sensore di temperatura un resistore in platino la cui resistenza R_T varia linearmente con T, come specificato nei dati.
Si assuma, ove non specificato, che l'A.O. sia ideale.

Dati:
$R_T[\Omega]=R_0[\Omega]*(1+\alpha*T[°C])$ con R_0=100 Ω, α=0.00385[$°C^{-1}$]
I_0=1 mA , V_{BIAS} =101mV
R_1 = 1 kΩ, R_2 = 129 kΩ

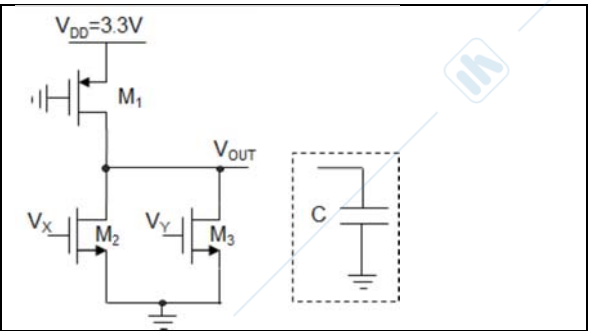


a) Scrivere l'espressione della tensione Vout in funzione della temperatura T e determinare l'intervallo di temperature misurabili dal circuito. Esprimere inoltre la risoluzione della misura in °C.
b) Determinare l'errore di misura, in unita' LSB, dovuto alle correnti di bias dell'A.O. supposte pari a 10 nA entranti. Discutere se tale errore cambia al variare della temperatura del sensore.
c) Calcolare la frequenza di clock necessaria per acquisire i campioni di temperatura con periodo tc=1μs. Motivare la risposta.
d) Si assuma ora che il clock dell'ADC abbia frequenza 1 kHz. Determinare la massima velocita' di variazione della temperatura in unita' [°C/s] consentita per cui l'uscita dell'ADC rimanga "agganciata" al segnale.

Esercizio 3

Si consideri il circuito digitale in figura.
Si assuma che i due ingressi V_X, V_Y siano cortocircuitati (V_X=V_Y)

Dati:
k_p= 50μA/V^2, k_n= 1mA/V^2
V_{Tp}=-1.2V, V_{Tn}=0.7V
C= 10pF

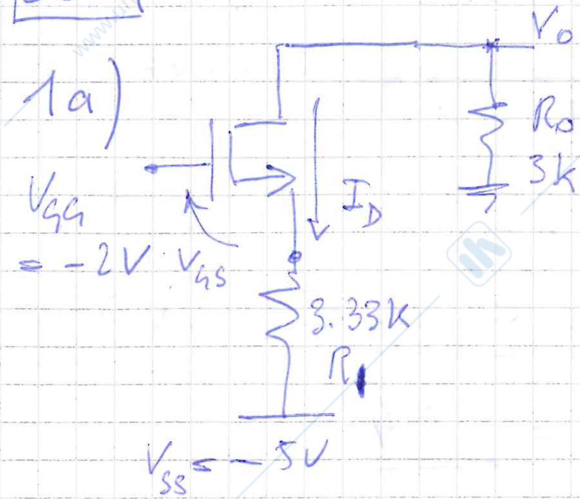


a) Si determinino i valori di V_{OUT} corrispondenti ai seguenti valori degli ingressi: V_X=V_Y=V_{DD} e V_X=V_Y= 0V.
b) Calcolare la <u>soglia logica</u> del circuito considerando V_X=V_Y.
c) Si connetta ora all'uscita il condensatore C e si consideri la commutazione V_X=V_Y=3.3 V → 0 V. Si calcoli l'istante di tempo (dopo la commutazione) in cui il M1 cambia regione di funzionamento.

SOLUZIONI T.E. 7/LUG/2015

Es. 1

1a)



$V_{GG}-V_{SS} = V_{GS} + R_1 I_D$

$3V = \underbrace{(V_{GS}-V_T)}_{x} + V_T + R_1 k (V_{GS}-V_T)^2$

$x^2 + x - 2 = 0 \rightarrow x = \frac{-1\pm\sqrt{9}}{2}$ → $\boxed{+1V}$ / no

$\rightarrow V_{GS} = 2V,\ V_S = -4V$

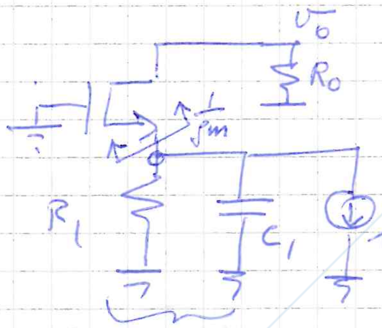
$\rightarrow I_D = k x^2 = 0.3\,mA$

$\rightarrow V_0 = -R_0 I_D = -0.9V$

Verifica SAT: $V_{DS} = -0.9 - (-4V) = 3.1V > x$ ✓ ok

1b)

$g_m = \frac{2 I_D}{x} = \frac{2 \times 0.3\,mA}{1V} = 0.6\,mA/V$



$Z_1 = R_1 \,\|\, \frac{1}{sC_1}$

• A bassa frequenza C_1 aperto:

$v_0 = -i_{in} \frac{R_1}{R_1+\frac{1}{g_m}} R_0 = -i_{in} \frac{g_m R_1}{1+g_m R_1} R_0$

$= i_{in}\left[-\frac{2}{3} R_0\right] = i_{in}\left[-2k\Omega\right]$ $\qquad g_m R_1 = 0.6\frac{mA}{V} \times 3.33K = 2$

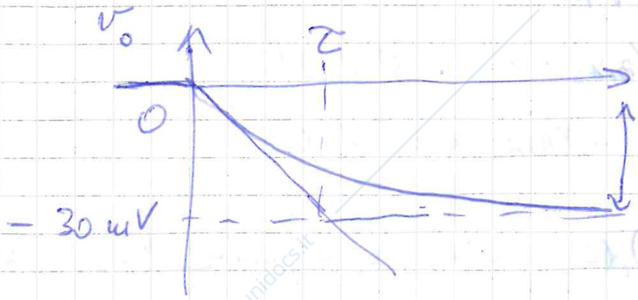
$\underline{v_0/i_{in} = -2k\Omega}$

• Ad alta freq. C_1 è chiusa $\rightarrow Z_1 = 0 \rightarrow \underline{v_0 = \varnothing}$

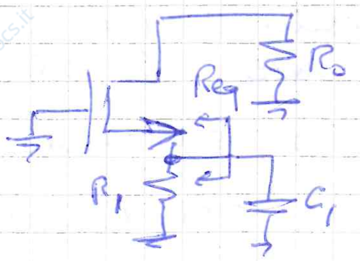
1c) i_{in} ↑ $15\,\mu A$ transitorio a singola cost. tempo (1 CAP.)

• per $t = 0^+ \rightarrow v_{C_1} = v_S = \varnothing \rightarrow v_o = \varnothing$ (è nulla la corrente che fluisce verso R_0)

• per $t \rightarrow \infty \rightarrow i_{C_1} = 0 \rightarrow v_0 = -i_{in} \frac{R_1}{R_1+\frac{1}{g_m}} R_0$ (a regime, il trasferimento è pari a quello in DC)



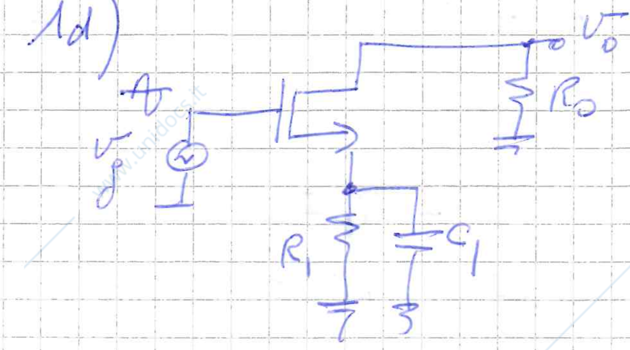
$15\,\mu A \times \underbrace{\frac{R_1}{R_1+\frac{1}{g_m}} R_0}_{2k} = 30\,mV$



• Costante di tempo $\tau = C_1 R_{eq}$

$R_{eq} = R_1 \,\|\, \frac{1}{g_m} = 1.11\,k\Omega \rightarrow \tau = 5.55\,\mu s$

1d)



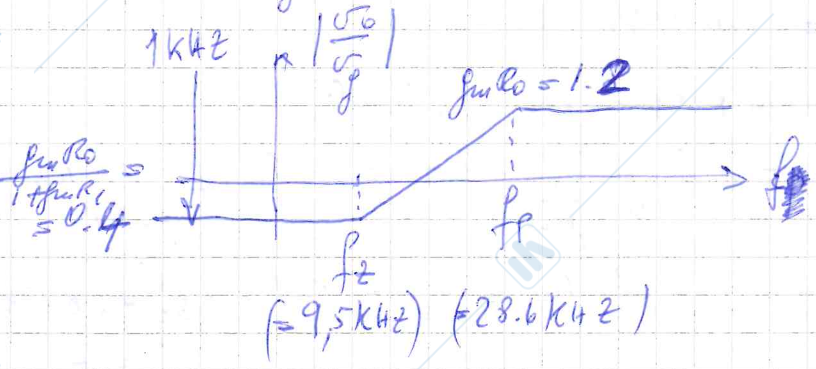
La frequenza del segnale di ingresso è << frequenza del polo di C_1

$$f_p = \frac{1}{2\pi \underbrace{(R_1 \| \frac{1}{g_m}) C_1}_{5.55\,\mu s}} = 28.6\ kHz$$

→ assumo C_1 aperto (*)

$$\frac{v_o}{v_g} = -\frac{g_m R_o}{1+g_m R_1} = -\frac{0.6 \times 2k\Omega}{1+\underbrace{0.6 \times 3.33k}_{2}} = \cancel{-0.4}\ 0{,}6$$

$$\rightarrow |v_o|_{v_g} = |100\,mV \times (-0.4)| = \cancel{40}\ 60\,mV$$



Es. 2 | 2a) Calcolo V_{out} con la sovrapp. degli effetti:

$$V_o = I_0 R_T (1 + R_2/R_1) - V_{BIAS} \frac{R_2}{R_1}$$

con $R_T = R_0(1+\alpha T)$ dipendente da T.

Vo può variare tra ∅V e 5V, corrispondente nell'intervallo ai valori misurabili di T.

$V_o = 0V$ → $I_0 R_{T_1} \cdot 130 - V_{BIAS} \cdot 129 = \emptyset V \rightarrow R_{T_1} = \frac{V_{BIAS} \cdot 129}{I_0 \cdot 130} \cong 100.2\,\Omega$

$\rightarrow T_1 = \left(\frac{R_T}{R_0} - 1\right)\frac{1}{\alpha} \cong 0{,}6°C$

$V_o = 5V$ → $I_0 R_{T_2} \cdot 130 - V_{BIAS} \cdot 129 = 5V \rightarrow R_{T_2} = \frac{V_{BIAS} \cdot 129 + 5}{I_0 \cdot 130} \cong 138.7\,\Omega$

$\rightarrow T_2 = 100.5°C$

l'ADC suddivide l'intervallo di misura in $2^{12} = 4096$, per cui si ottiene $\Delta T_{LSB} = \frac{(T_2 - T_1)}{2^{12}} \cong \frac{100°C}{4096} = 0.024°C$

2b) $V_o\Big|_{I_B^+} = -I_B R_T\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)$; $V_o\Big|_{I_B^-} = +I_B R_2$ $\Rightarrow V_o = I_B\left[R_2 - R_T\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)\right]$

$R_T = R_0(1+\alpha T)$ dipende da T.

$\underline{T=0°C}$: $V_o\Big|_{I_B^+, I_B^-} = I_B\left[129k\Omega - \underbrace{0.1k\Omega\times 130}_{13k}\right] = 10nA \times 116k\Omega = \frac{1.16mV}{1.22mV}\times LSB = \underline{\underline{0.95\times LSB}}$

$\underline{T=100°C}$: $V_o\Big|_{I_B^+, I_B^-} = I_B\left[129k\Omega - \underbrace{0.1385k\Omega\times 130}_{18k}\right] = 10nA \times 111k\Omega = \frac{1.11\,mV}{1.22mV}\times LSB = \underline{\underline{0.91\times LSB}}$

$1\ LSB = \frac{V_{FS}}{2^n} = \frac{5V}{2^{12}} = 1.22mV$

2c) In ADC "tracking", nell'ipotesi che l'ADC sia "agganciato" al segnale, il tempo di conversione T_{conv} è pari ad 1 periodo di clock. In assenza di S&H, il tempo di camp.:

$t_c = T_{conv} = \frac{1}{f_{ck}} = 1\mu s \rightarrow \underline{f_{ck} = 1MHz}$

2d) Affinché l'ADC rimanga "agganciato" a $V_o(t)$, deve essere verificata la condizione:

$$\left|\frac{dV_o}{dt}\right| < \frac{1\,LSB}{T_{ck}} = \frac{1.22\,mV}{1\,\mu s} = 1.22\frac{V}{s}$$

Ricordando la relazione tra V_o e temperatura:

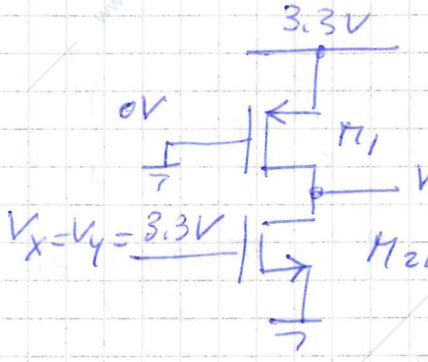
$$V_o = I_o R_T\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right) = I_o R_0 (1+\alpha T)\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)$$

$$\hookrightarrow \left|\frac{dV_o}{dt}\right| = I_o R_0\,\alpha\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)\left|\frac{dT}{dt}\right| < 1.22\frac{V}{s}$$

$$\hookrightarrow \left|\frac{dT}{dt}\right| < 1.22\frac{V}{s}\frac{1}{\underbrace{I_oR_0}_{0.1V}\,\alpha\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)} = 1.22\frac{\cancel{V}}{s}\frac{1}{0.1\cancel{V}\times 0.00385\frac{1}{°C}\times 130} = \boxed{2.44\ °C/s}$$

$\boxed{Es.\ 3}$ 3a) M1 è sempre ON essendo $V_{GS} = -V_{DD}$

- $V_X = V_Y = 3.3V \rightarrow M_2, M_3$ ON



$K_p = 0.05\ \frac{mA}{V^2}$

$Kn_{eq} = 2Kn = 2\ \frac{mA}{V^2}$

Per il calcolo di V_0, assumo pMOS saturo e nMOS$_{eq}$ ohmico (dato che $Kn_{eq} \gg K_p$), poi verifico le ipotesi.

$$\hookrightarrow V_0 = I_{P,sat} \cdot R_{n_{eq}} = \underbrace{k_p (V_{DD} - |V_{Tp}|)^2}_{220.5\mu A} \cdot \underbrace{\frac{1}{2 k_{n_{eq}}(V_{DD} - V_{Tn})}}_{96\Omega} \simeq \underline{21\ mV}$$

conferma l'hp di M1 sat e M2//M3 ohmico

- $V_X = V_Y = 0 \rightarrow M_2, M_3$ OFF

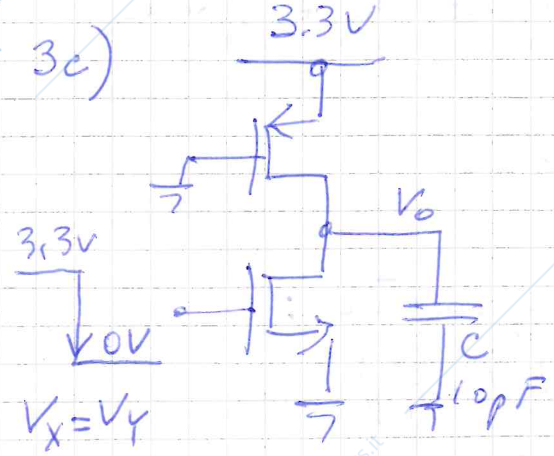
$\hookrightarrow V_0 = V_{DD} = 3.3V$

3b) SOGLIA LOGICA V_{TH}: si ottiene uguagliando le correnti di saturazione di M1 (con $V_{GS} = -V_{DD}$) e di M2//M3 (con $V_{GS} = V_{TH}$)

$$\hookrightarrow k_p (V_{DD} - |V_{Tp}|)^2 = k_{n_{eq}} (V_{TH} - V_{Tn})^2$$

da cui $\underline{V_{TH} = 1.032V}$ che conferma l'ipotesi di saturazione

3c)



$t = 0^-$: $V_X = V_Y = 3.3V \rightarrow V_0 = 21\ mV$ (vedi 3a)

$t = 0^+$: $V_X = V_Y = \emptyset V \rightarrow \begin{cases} M2//M3 & \text{OFF} \\ M1 & \text{saturo} \end{cases}$

È un transitorio di pull-up, da $V_0 = 21mV \rightarrow V_0 = 3.3V$ a regime.

Finché M_1 è saturo, si ha $I_p = 220.5\mu A$ e V_0 cresce linearmente con $\frac{dV_0}{dt} = \frac{I_p}{C} = 2.205 \times 10^7\ V/s$

La cond. di sat. è $V_{GD} \geq V_{Tp} \rightarrow V_0 \leq |V_{Tp}|$

quindi per $V_0 = |V_{Tp}| = 1.2V \rightarrow \boxed{t_1 = 53.5\ ns}$