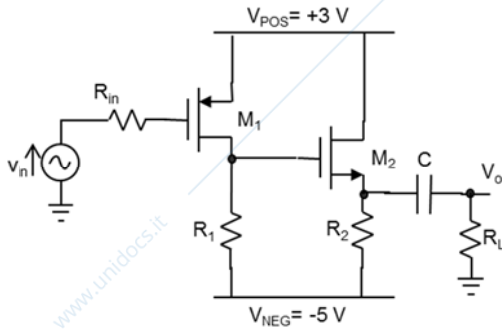


Fondamenti di Elettronica – Ing. AUTOMATICA - AA 2014/2015

Appello del 29 Febbraio 2016

**Indicare chiaramente la domanda a cui si sta rispondendo. Ad esempio 1a) ...
Risolvere per prime le domande in grassetto (domande obbligatorie)**

Esercizio 1.



Dati:

$$|k_p| = 0.25 \text{ mA/V}^2, k_n = 0.25 \text{ mA/V}^2$$

$$V_{T,n} = |V_{T,p}| = 1 \text{ V}$$

$$R_{in} = 100 \Omega$$

$$R_1 = 5 \text{ k}\Omega, R_L = 4 \text{ k}\Omega$$

$$C = 300 \text{ nF}$$

Si consideri l'amplificatore a MOSFET in figura, dove v_{in} e' un generatore di segnale.

a) Determinare il valore di R2 tale che la tensione di polarizzazione del source di M2 sia pari a -2V. Calcolare tutte le altre tensioni e correnti di polarizzazione.

Di qui in avanti si mantenga il valore di R2 trovato.

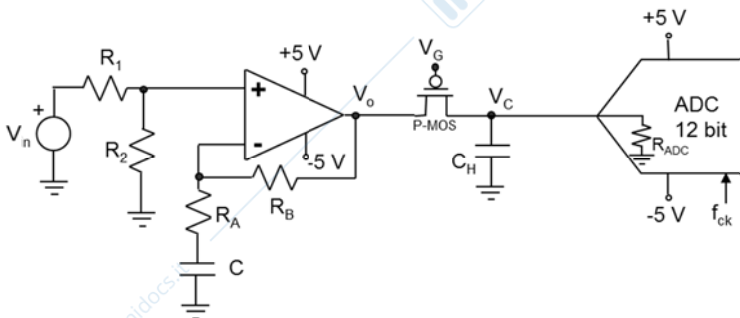
b) Calcolare il guadagno di piccolo segnale v_{out}/v_{in} ad alta e bassa frequenza e disegnarne i diagrammi di Bode

c) Si assuma v_{in} sinusoidale di ampiezza 400mV e frequenza sufficientemente alta da poter considerare C chiusa. Verificare se la condizione di piccolo segnale sia verificata in entrambi i due stadi a MOSFET.

d) Determinare il massimo valore del guadagno di piccolo segnale del primo stadio (M1) ottenibile variando il valore della resistenza R1.

Esercizio 2.

Si consideri la catena di conversione A/D mostrata in figura:



Dati:

$$R_1 = 100 \Omega, R_2 = 100 \Omega$$

$$R_A = 1 \text{ k}\Omega, R_B = 40 \text{ k}\Omega$$

$$C = 100 \text{ nF}$$

$$|k_p| = 0.25 \text{ mA/V}^2, |V_{T,p}| = 1 \text{ V}$$

$$f_{ck} = 10 \text{ MHz}$$

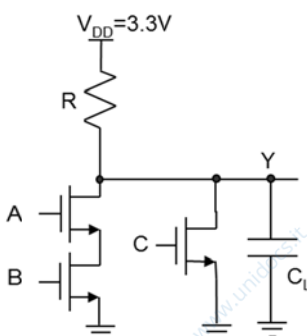
a) Determinare il guadagno ideale di tensione V_o/V_{in} ad alta frequenza.

b) Determinare i valori delle tensioni di comando di gate V_G tali da garantire una resistenza $R_{ds,on}$ non superiore a 200 Ω nella fase di Sample e una resistenza $R_{ds,off}$ virtualmente infinita nella fase di Hold.

c) Tracciare il diagramma di Bode del modulo del trasferimento V_o/V_{in} nell'ipotesi di amplificatore operazionale ideale. Si calcoli il valore di tutti i punti significativi del grafico.

d) Determinare il minimo valore che deve possedere la capacit  di Hold, C_H , per garantire un errore di "droop" massimo non superiore ad 1/10 LSB, nel caso di un ADC ad approssimazioni successive caratterizzato da una resistenza di ingresso R_{ADC} pari a 1 M Ω .

Esercizio 3.



Dati:

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

$$k_n = 2 \text{ mA/V}^2$$

$$V_{T,n} = 0.7 \text{ V}$$

$$C_L = 10 \text{ pF}$$

Si consideri la porta logica mostrata in figura:

a) Determinare la funzione logica della porta.

b) Determinare tutti i possibili valori analogici, corrispondenti al livello logico basso, che puo' assumere la tensione di uscita Y.

Traccia di soluzione TE 29/2/2016

Esercizio 1

1a) In polarizzazione $v_{in}=0$. Essendo $V_{g1}=0$, si ha $V_{gs1}=-3V$ e quindi assumendo $M1$ saturo si ha $I_{d1}=|k_p|(V_{gs1}-V_t)^2=1$ mA. $V_{d1}=V_{g2}=-5V + I_{d1}R_1=0$ V (che conferma $M1$ saturo).

La richiesta $V_{s2}=-2V$ equivale a $V_{gs2}=2$ V che, assumendo $M2$ saturo, porta a $I_{d2}=k_n(V_{gs2}-V_t)^2=0.25$ mA

Il valore richiesto di R_2 sarà quindi $R_2=(V_{s2}+5V)/I_{d2}=3V/0.25mA=12$ k Ω . Essendo C aperta si ha $V_o=0V$.

1b) A bassa frequenza (C aperta) si ha $v_{out}/v_{in} \rightarrow 0$.

Ad alta frequenza (C chiuso) si ha:

$$v_{out}/v_{in} = (-g_{m1}R_1)(g_{m2}R_2/RL)/(1+g_{m2}R_2/RL) = (-5)(1.5/2.5) = (-5)(0.6) = -3$$

$$g_{m1} = 2mA/2V = 1 \text{ mA/V}, \quad g_{m2} = 0.5mA/1V = 0.5 \text{ mA/V}$$

$$\text{polo } \omega_p = 1/(C*RL + R_s/1/g_{m2}) = 2 \text{ krad/s (310 Hz)}$$

1c) $|v_{gs1}| = v_{in} = 0.4V$

Essendo $2*|V_{gs1}-V_t|=4V$ la condizione di p.s. del primo stadio $|v_{gs1}| \ll 2*|V_{gs1}-V_t|$ e' ben verificata (fattore 10)

$|v_{gs2}| = (v_{in}*g_{m1}*R_1)*G_2$, dove G_2 e' il guadagno del secondo stadio

Dato che G_2 dipende dalla frequenza, calcoliamo i valori asintotici $G_2(b.f.)=1/7$ e $G_2(a.f.)=1/2.5$

La condizione piu' critica e' quindi in a.f. dove si ha

$$|v_{gs2}| = (v_{in}*g_{m1}*R_1)*G_2(a.f.) = v_{in}*5/2.5 = 0.8 \text{ V.}$$

Essendo $2*(V_{gs2}-V_t)=2V$ la condizione di p.s. del secondo stadio $|v_{gs2}| \ll 2*(V_{gs2}-V_t)$ e' solo parz. verificata (fattore 2.5).

1d) Per aumentare il guadagno del primo stadio $|G_1|=g_{m1}*R_1$ posso aumentare R_1 .

Osservo che R_1 non impatta sulla corrente I_{d1} (fissata da V_{g1}) e quindi non cambia g_{m1} .

All'aumentare di R_1 aumenta la tensione $V_{d1} = -5V + R_1*I_{d1}$ che al massimo puo' arrivare al bordo della saturazione di $M1$:

$V_{d1}|_{sat} = V_{g1}-V_t = 0V - (-1V) = 1V$. Il valore massimo di R_1 e' quindi $R_1|_{max} = (V_{d1}|_{sat} + 5V)/I_{d1} = 6k\Omega$ e corrispondentemente il massimo guadagno ottenibile dal primo stadio e' $|G_1|_{max} = g_{m1}*R_1|_{max} = 6$.

[Si fa notare che essendo aumentata la V_{d1} , aumenta la corrente di polarizzazione del 2° stadio e quindi anche il guadagno G_2 . Facendo i calcoli: $I_{d2} = 0.444mA$, $g_{m2} = 0.667 \text{ mA/V}$ da cui si ha $G_2 = 2/3 = 0.667$ (invece di 0.6). Il guadagno complessivo con $R_1 = 6k\Omega$ sara' quindi pari a $(-6)*0.667 = -4$].

Esercizio 2

2a) E' una configurazione non invertente, con C chiuso (a.f.) si ottiene: $V_o/V_{in} = (R_2/(R_1+R_2))*(1+R_B/R_A) = 0.5*41 = 20.5$.

2b) Il segnale V_o varia tra $-5V$ e $+5V$.

In accensione (Sample) si chiede $R_{ds,on} < 200 \Omega$, che si ottiene per $|V_{gsp}| > 10V + |V_{tp}| = 11V$

Quindi $(V_{Gon}-V_o)_{min} < -11V$, ovvero $V_{Gon} < -16V$.

In spegnimento (Hold) deve essere $(V_{Goff}-V_o)_{max} > V_{tp}$ ovvero $V_{Goff} > 4V$

2c) In b.f. il guadagno e' $V_o/V_{in} (b.f.) = R_2/(R_1+R_2)*1 = 0.5$

In a.f. il guadagno e' $V_o/V_{in} (a.f.) = R_2/(R_1+R_2)*(1+R_B/R_A) = 20.5$

zero $\omega_z = 1/(C*(R_A+R_B)) \rightarrow 39Hz$

polo $\omega_p = 1/(C*R_A) \rightarrow 1590Hz$

2d) tempo di conversione del ADC SAR e' $t_{SAR} = n/f_{ck} = 12*100ns = 1.2\mu s$

Errore di droop massimo e' $VC|_{max}*(1-\exp(-t/\tau)) \sim VC|_{max}*(-t/\tau)$ con $\tau = CH*R_{ADC}$ e' l'incognita assunta molto grande rispetto a t_{SAR} (p.s. si noti il fattore a moltiplicare pari a $VC|_{max} = 5V$ e non $10V$)

Imponendo che tale errore sia inferiore a $LSB/10$ si ottiene:

$$\tau > 5V/(LSB/10)*t_{SAR} = 24.576 \text{ ms (verificato che } \tau \gg t_{SAR})$$

e quindi $CH > \tau/R_{ADC} = 24.6 \text{ nF}$

Esercizio 3

3a) funzione logica $Y = \text{not}(A*B+C)$

3b) il livello logico basso si ottiene quando conduce la rete di pull-down. Il calcolo della tensione di uscita puo' essere approssimato ipotizzando il MOS equivalente in condizioni ohmiche (ovvero $R_{MOS} = 1/(2*k*V_{od})$) e verificando l'approssimazione a posteriori.

Vi sono 3 possibili configurazioni:

1- M_A on & M_B on

$$R_{MOS} = 1/(2*2*2.6V) = 192 \Omega$$

$$Y \sim V_{dd}*R_{MOS}/(R+R_{MOS}) = 3.3*192/1.192 = 3.3*0.16 = 0.53 \text{ V} (< V_{ds,sat} = 2.6V)$$

2- M_C on

$$R_{MOS} = 1/(2*2*2.6V) = 96 \Omega$$

$$Y \sim V_{dd}*R_{MOS}/(R+R_{MOS}) = 3.3*96/1.096 = 3.3*0.105 = 0.35 \text{ V} (< V_{ds,sat} = 2.6V)$$

3- M_A on & M_B on & M_C on

$$R_{MOS} = 1/(2*3*2.6V) = 64 \Omega$$

$$Y \sim V_{dd}*R_{MOS}/(R+R_{MOS}) = 3.3*64/1.064 = 3.3*0.105 = 3.3*0.06 = 0.198 \text{ V} (< V_{ds,sat} = 2.6V)$$