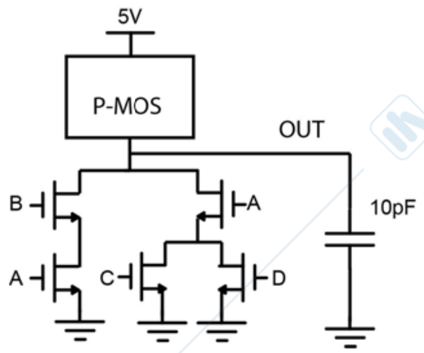
Fondamenti di Elettronica – Ing. AUTOMATICA e INFORMATICA - AA 2012/2013

Appello del 6 Febbraio 2014

Indicare chiaramente la domanda a cui si sta rispondendo. Ad esempio 1a) …

Esercizio 1.



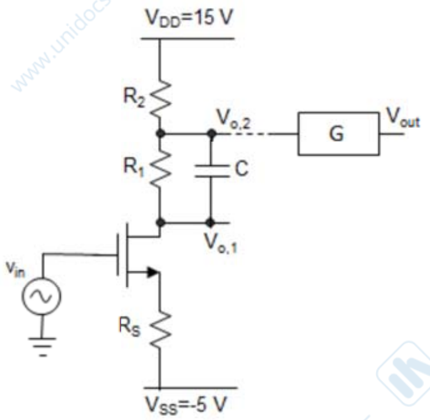
Dati:

$k_n=k_p= 1mA/V^2$, $V_{T,n}=|V_{T,p}|=1V$

Si consideri la porta logica in figura:

a) Determinare la funzione logica del circuito.
b) Disegnare la rete P-MOS per creare una porta CMOS.
c) Semplificare la rete N-MOS.
d) Determinare il tempo di commutazione con B=C=D=1 e A che passa da 0 a 1, sia per la rete in figura che per la rete minima.
e) Determinare la potenza dissipata nel caso di B=C=D=1 e A con frequenza di 1MHz e nel caso di A=0, B=0, C=1 e D con frequenza di 2MHz.

Esercizio 2.



Dati:

R_1=5kΩ, R_2=5kΩ, R_S=3kΩ, C=10pF, $V_{T,n}$=1V, $k_n=1mA/V^2$

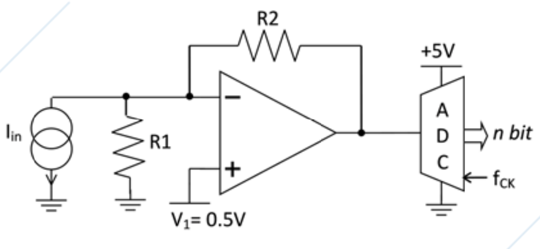
Si consideri lo stadio di amplificazione a MOSFET in figura:

a) Calcolare tutte le correnti e le tensioni di polarizzazione del circuito.
b) Determinare la risposta in frequenza del guadagno $v_{o,1}/v_{in}$ e disegnarne il diagramma di Bode completo (modulo e fase) quotando i valori significativi.
c) Determinare i segnali $v_{o,1}(t)$ e $v_{o,2}(t)$ in risposta ad un gradino negativo in ingresso di ampiezza 100mV. Disegnare il grafico temporale delle due tensioni complessive $\mathbf{V_{o,1}}(t)$ e $\mathbf{V_{o,2}}(t)$ (segnale + polarizzazione). Qual è la massima ampiezza che si può avere per il segnale $v_{o,2}$?

Si assuma ora di leggere la tensione $\mathbf{V_{o,2}}(t)$ con un 2° amplificatore di tensione, realizzato con un AO in configurazione non-invertente, avente guadagno ideale pari a 2.

d) Dimensionare il GBWP dell'AO in modo tale che la funzione di trasferimento complessiva v_{out}/v_{in} abbia banda passante maggiore di 10 MHz.
e) Considerando ora GBWP=100 MHz per l'AO, dimensionare lo SR dell'AO affinché l'uscita del 2° amplificatore non subisca distorsioni quando $v_{in}(t)$ è un gradino negativo di ampiezza tale da produrre la massima ampiezza di $v_{o,2}$. (vedi punto c).

Esercizio 3.



Dati:

R_1=250kΩ, R_2=1MΩ

Il segnale di ingresso I_{in} è una corrente variabile tra -1μA e +1μA. L'amplificatore operazionale è ideale se non diversamente specificato.

a) Determinare il numero minimo di bit dell'ADC affinché il segnale di ingresso I_{in} venga convertito con almeno 1000 livelli.

Si assuma nel seguito un ADC ad approssimazioni successive (SAR) con n= 16 bit e f_{CK}= 100MHz.

b) Se la resistenza R1 cambiasse con la temperatura di α=5Ω/°C, di quanto dovrebbe aumentare la temperatura per modificare la codifica digitale di 1LSB?
c) Sia I_{in}= 1μA·sin(2π·f·t). Determinare la massima frequenza f per avere un errore di conversione inferiore a 1LSB.
d) Si assuma ora un AO reale con un guadagno di $A(s)=10^5$. Determinare il massimo errore di conversione rispetto al caso ideale $A(s)=\infty$.
e) Si assuma infine un guadagno $A(s)=10^5/(1+s\tau_0)$ con τ_0=1ms e un segnale I_{in} a gradino che all'istante t=0 passa da -1μA a 1μA. Tracciare l'andamento della tensione in ingresso all'ADC e calcolare il tempo da attendere prima di iniziare la conversione volendo avere un errore inferiore a 1LSB.

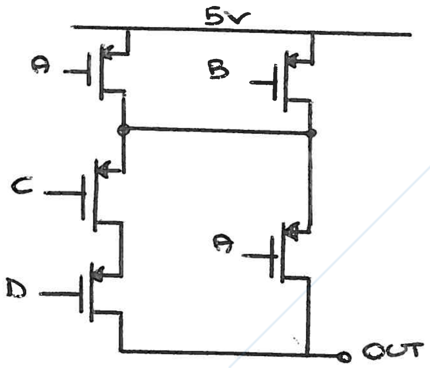
Traccia di Soluzione TE 06/feb/2014.
Es. 1

1) $Y = \overline{A\cdot B + A\cdot(C+D)}$

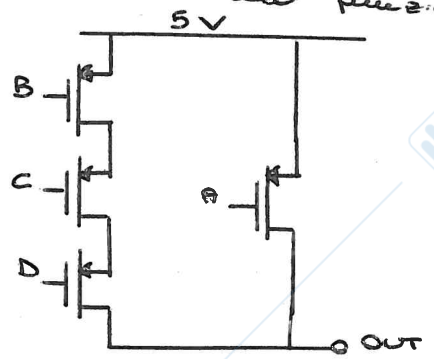
Che si riduce a $Y = \overline{A\cdot(B+C+D)}$

2) Ci sono 2 diverse reti sintetizzabili

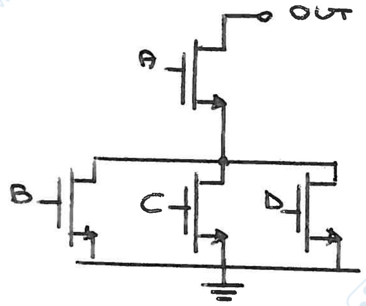
- Partendo dalla rete NMOS



- Partendo dalla funzione minimizzata



3) Dalla funzione logica si ottiene la rete minima:



4) L'uscita commuta da 1 a 0. Tutti gli nMOS sono accesi.

La rete minima ha $K_{eq1} = \frac{3}{4} K_n = 0{,}75 \frac{mA}{V^2}$

La rete in figura ha $K_{eq2} = \frac{7}{6} K_n = 1{,}167 \frac{mA}{V^2}$

Si ipotizza la soglia di commutazione a metà dinamica.
Se tutta la transizione avviene con l'nMOS saturo si ha

$$T_c = \frac{C_L \cdot \Delta V}{I_{SAT}} = \frac{10pF \cdot 2{,}5V}{K_{eq}\,(5V - 1V)^2}$$

Per la rete minima $T_{c1} = 2{,}083$ ns

Per la rete in figura $T_{c2} = 1{,}339$ ns

5) Nel caso B=C=D=1 e A che commuta a 1 MHz anche l'uscita commuta a 1 MHz. La potenza dissipata è:

$P_D = C_L \cdot V_{DD}^2 \cdot f = 10\,pF \cdot (5V)^2 \cdot 1\,MHz = 250\,\mu W$

Nel secondo caso l'uscita è fissa ad 1 e non commuta, quindi non c'è dissipazione di potenza

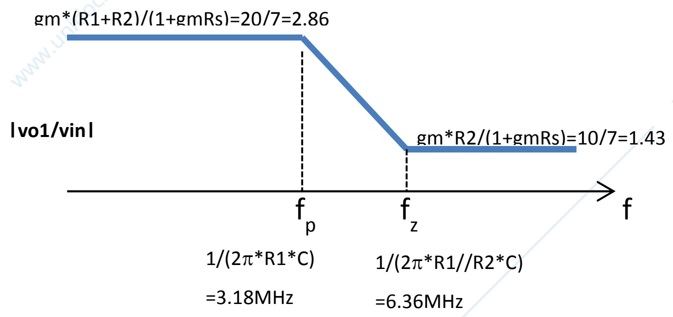
Traccia di soluzione Es.2:

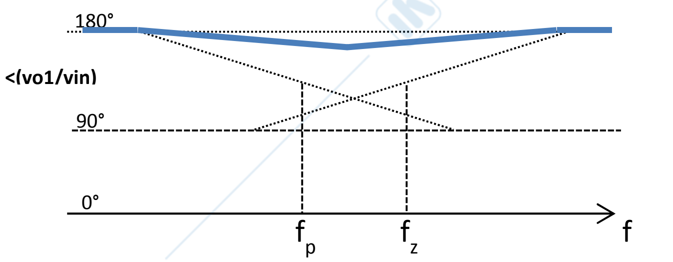
1. Polarizzazione:

- LKT alla maglia di ingresso: $V_g=-5 + R_s*I_d+V_{gs}$
- ipotesi MOSFET saturo: $I_d=k(V_{gs}-V_t)^2$

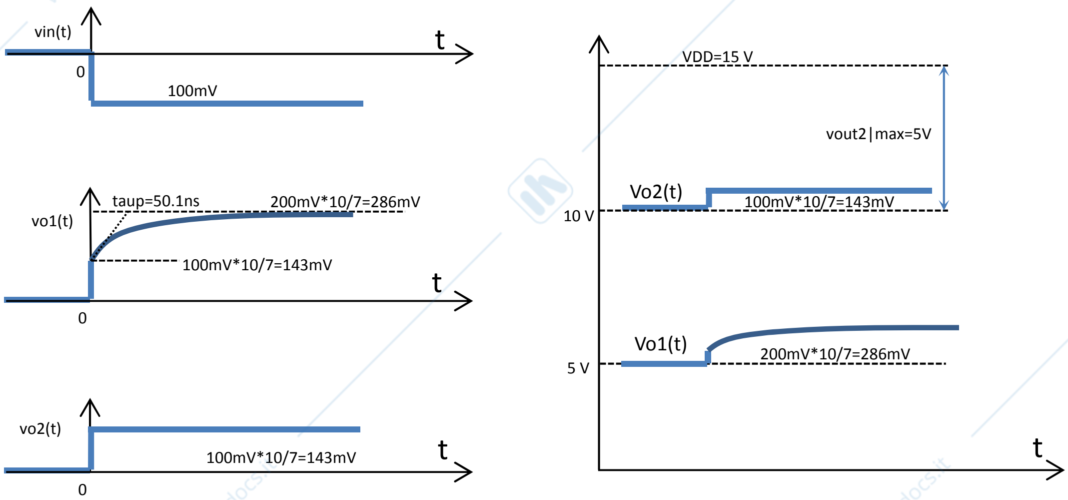
Mettendo a sistema le 2 equazioni si ottiene: $3x^2 + x +- 4= 0 \rightarrow x=(V_{gs}-V_t)=-8/6$ (no), +1 (si)
Da cui: I_d=1mA, V_{o1}=5V, V_{o2}=10 V
[controllo saturazione: $V_{ds}=V_{o1}-V_s=5-(-2)=7$ V > $(V_{gs}-V_t)=1$ V → OK il MOSFET e' saturo]

2. Risposta in frequenza ($v_{o,1}/v_{in}$):
Dai dati di polarizzazione: g_m=2 mA/V
Segnale: $i_d=v_{in}/(1/g_m+R_s)=g_m*v_{in}/(1+g_m*R_s)$
$v_{o1}=-i_d*Z_d=-i_d*(R_1+R_2)*(1+s*R_1//R_2*C)/ (1+s*R_1*C)$
da cui si ottiene:
$v_{o1}/v_{in}= -g_m*(R_1+R_2)/(1+g_m*R_s)*(1+s*R_1//R_2*C)/ (1+s*R_1*C)$.





3. Risposta al gradino
$v_{o1}/v_{in}= -g_m*(R_1+R_2)/(1+g_m*R_s)*(1+s*R_1//R_2*C)/ (1+s*R_1*C)$ (vedi p.to prec.)
$v_{o2}/v_{in}= -g_m*R_2/(1+g_m*R_s)=-10/7=-1.43$



La massima escursione positiva di v_{o2} si verifica quando viene raggiunta la condizione $\mathbf{V_{o2}}(t)=V_{DD}$, ovvero $v_{o2}|_{max}$=15V – 10V=5V. In quella condizione il MOSFET si spegne ed il segnale v_{o2} non puo' crescere ulteriormente.

4. La risposta (v_{o2}/v_{in}) non presenta singolarita' (vedi punto precedente) per cui, detta f_b la frequenza del polo ad anello chiuso del 2° amplificatore di tensione, la banda passante complessiva e' pari a f_b.
Nell'amplificatore non invertente si ha: f_b=GBWP/G_{ideale}= GBWP/2.
Dovendo garantire f_b>10MHz, si ha GBWP>2*10MHz=20 MHz.

5. Se GBWP=100 MHz → f_b=GBWP/2=50 MHz da cui $\tau_b=1/(2\pi*f_b)$=3.2 ns
La risposta $V_{out}(t)$ al gradino negativo in ingresso e' quella di un passa-basso del 1° ordine (transitorio di carica esponenziale) con costante di tempo τ_b e ampiezza della transizione:
$V_{out}(\infty)-V_{out}(0)=G_{ideale}*v_{o2}|_{max}$=2*5=10V.
Bisogna garantire che SR sia maggiore della massima pendenza in uscita $|dV_{out}/dt|$, da cui:
SR>($G_{ideale}*v_{o2}|_{max})/\tau_b$=10V/3.2ns=3.125 V/ns=3125 V/μs.

SOLUZIONE Es. 3

a) $V_{ADC}=V_1\cdot(1+R2/R1)+I_{in}\cdot R2$= 2.5V+ $I_{in}\cdot R2$. Al variare di I_{in} la tensione all'ingresso dell'ADC cambia di 2μA·R2= 2V. Dobbiamo quindi garantire 2V/1000=2mV > 1LSB=5V/2^n. Risolvendo si trova n= 12.

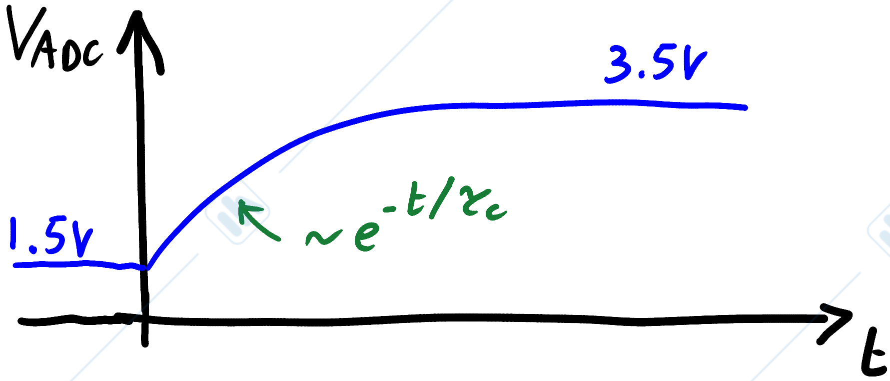
b) Cambiando la temperatura di ΔT la variazione di V_{ADC} è pari a:
$$\Delta V_{ADC} = V_1 \cdot R2\left(\frac{1}{R1+\alpha\Delta T}-\frac{1}{R1}\right) = V_1\cdot R2\cdot\frac{-\alpha\Delta T}{R1\cdot(R1+\alpha\Delta T)}$$
Imponendo questa variazione pari a -1 LSB= 5V/2^{16}= 76.2μV si ottiene:
$$-1\text{LSB} = V_1\cdot R2\cdot\frac{-\alpha\Delta T}{R1\cdot(R1+\alpha\Delta T)}$$
$$\Delta T = \frac{1LSB\cdot R1}{V_1\frac{R2}{R1}-1LSB}\,\frac{1}{\alpha} = 1.9°C$$

c) Durante il tempo di conversione T_{conv}= (n+1)/f_{CK} = 170ns la corrente di ingresso deve cambiare di meno di 1LSB/R2 = 76.2pA. Osservando che la derivata massima dell'ingresso è 1μA·2π·f abbiamo:
$$1\mu\text{A}\cdot 2\pi\cdot \text{f}\cdot T_{conv} < \frac{1LSB}{R2}$$
$$\text{f} < \frac{1LSB}{R2\cdot 1\mu\text{A}\cdot 2\pi\cdot T_{conv}} = 71.4Hz$$

d) G_{loop}= -A(s)·R1/(R1+R2) = -20000
In base alla teoria della retroazione sappiamo che la tensione in ingresso all'ADC è ridotta di $-G_{loop}/(1-G_{loop})$ rispetto al caso ideale. Il massimo errore si ha in corrispondenza della massima tensione:
$$\text{V}_{\text{ADC,max}}^{ideale} - \text{V}_{\text{ADC,max}}^{reale} = \frac{3.5V}{1-G_{loop}} = 175\mu V$$
Corrispondente a 2.3LSB.

e) $G_{loop}(s)$= -A(s)·R1/(R1+R2) = $-A_0$·R1/(R1+R2) ·1/(1+sτ_0).
Il polo $f_0=1/(2\pi\tau_0)$= 160Hz nel guadagno dell'A.O. implica un guadagno d'anello maggiore di 1 fino alla frequenza di $G_{loop}(0)\cdot f_0$= 3.18MHz. La risposta in frequenza del circuito presenta allora un polo a tale frequenza ossia con costante di tempo $\tau_c=\tau_0/G_{loop}(0)$= 50ns.

Si ha quindi:



Il tempo necessario ad arrivare a 3.5V-1LSB si trova imponendo:

$$3.5V - V_{ADC}(t) = 2V \cdot e^{-\frac{t}{\tau_c}} = 1LSB$$

Da cui si ricava t= 509ns.