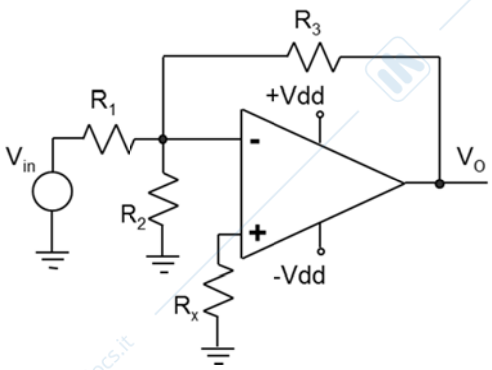
Fondamenti di Elettronica – Ing. AUTOMATICA - AA 2016/2017

Appello del 22 Febbraio 2018

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

Esercizio 1.

Si consideri il circuito in figura. L'A.O. e' ideale ove non specificato diversamente e satura alle tensioni di alimentazioni.



R_1=1 kΩ, R_2=1 kΩ, R_3=1 kΩ

a) Calcolare il guadagno ideale V_o/V_{in}.

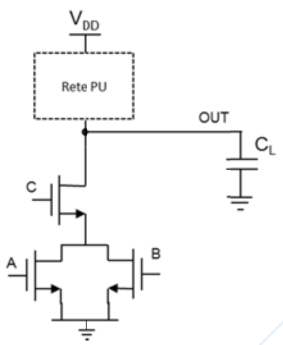
b) Determinare il valore di R_x che minimizzi l'effetto sulla tensione di uscita delle correnti di polarizzazione (I_{bias}) pari a 100nA entranti nell'A.O..

c) Si assuma ora per l'A.O. $A_0=10^4$ e GBWP=900 kHz e non si consideri R_x (R_x=0). Determinare il massimo valore di una capacita' C posta tra i morsetti +/- dell'A.O. che garantisca un margine di fase >=45gradi.

d) Si consideri ora che lo Slew Rate dell'A.O. sia 10 V/μs e che le alimentazioni +/-Vdd siano +/- 5V (trascurare Rx e C). Supponendo $A_0=10^4$ e GBWP=900 kHz, determinare la massima ampiezza A di un gradino positivo in ingresso che non comporti una distorsione del segnale in uscita.

Esercizio 2.

Si consideri la porta logica CMOS in figura.



k_n=1 mA/V², $V_{tn}=|V_{tp}|$=1 V, V_{DD}=5V, C_L=10 pF

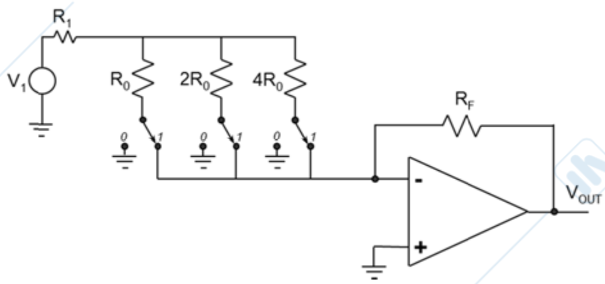
a) Determinare la funzione logica OUT=f(A,B,C) e disegnare la rete di PU. Motivare la risposta.

b) Dimensionare il parametro k_p dei transistori pMOS, supposti identici, in modo tale che i tempi di commutazione delle transizioni (000)→(111) e (111)→(000) siano uguali.

c) Considerare ora la transizione (000)→(101). Calcolare la derivata della tensione di uscita all'istante di inizio della commutazione $(dV_{out}/dt)|_{t=0^+}$.

Esercizio 3.

Si consideri il convertitore D/A in figura. L'A.O. e' ideale e R1=0 ove non specificato diversamente.



R_0=1 kΩ,. R_F=1 kΩ, V_1=(-5) V.

a) Calcolare il valore massimo e il valore minimo della tensione di uscita Vout e la minima variazione di Vout che puo' essere generata (risoluzione).

b) Definire la corrispondenza tra i 3 deviatori e il codice binario di ingresso ($S_2S_1S_0$). Determinare successivamente l'espressione che lega Vout a ($S_2S_1S_0$) e, in particolare, la tensione di uscita corrispondente al codice ($S_2S_1S_0$)=(110).

c) Calcolare il tempo che impiega la tensione di uscita del convertitore ad assestarsi entro 0.5 LSB dal valore a regime nella transizione dal codice 000 al codice 111. Si assuma per l'A.O. che $A_0=10^4$ e GBWP=1 MHz.

d) Assumendo ora che R1=100 Ω, calcolare la variazione della tensione di uscita (rispetto al caso ideale R1=0) quando il codice binario di ingresso e' (111). Confrontare tale variazione con la risoluzione (LSB) del convertitore.

Traccia di soluzione del TE 22 feb 2018

Esercizio 1
1a) guadagno ideale
Vo/Vin=-R3/R1=-1

1b) correnti di bias entranti
Vout= (R3*Ib-) - Rx*(1+R3/(R1//R2))*Ib+
Ponendo Ib+=Ib-=100nA e Vout=0 si ottiene Rx=R1//R2//R3==0.33 kOhm

1c) con l'aggiunta di C tra i morsetti si ha per il Gloop:
Gloop(s)=-A(s) * R12/(R12+R3) * 1/(1+s*C*R123), dove R12=R1//R2 e R123=R1//R2//R3
In assenza del polo di C, |Gloop| taglierebbe l'asse 0dB alla frequenza fT=GBWP* R12/(R12+R3)=GBWP/3=300kHz.
La frequenza fC del polo introdotta da C deve quindi soddisfare la condizione fC>=fT per garantire un margine di fase >=45gradi. Quindi:
fC=1/(2*p*R123*C)>=fT=GBWP/3, da cui C<=1/(2*p*R123*fT) = 1.6 nF (valore massimo tollerato di C)

1d) Slew Rate
In assenza di C si ha che il polo ad anello chiuso del circuito fp=GBWP/3=300 kHz, corrispondente ad una costante di tempo di τp=1/(2π*fp)=0.57µs. Considerando che il guadagno a bassa frequenza e' pari a quello ideale (-1) calcolato al punto 1a, si ha che la Vout in risposta al gradino positivo di ingresso ha l'espressione Vout=(-A)*(1-exp(t/τp)). La massima pendenza a t=0+ vale in modulo A/τp.
Per non avere distorsione da SR deve essere:
A/τp<SR -> A<SR*τp=10V/µs * 0.57 µs = 5.7 V.
Tale valore di A, tuttavia, produrrebbe una Vout a regime pari a (-5.7) V, al di fuori della alimentazione negativa (-5) V che limita quindi il massimo valore di A a 5V.

Esercizio 2
2a) funzione logica /Y=(A+B)*C oppure Y=/A*/B + /C (n.b. "/" equivale all'operatore not)

2b) valore di kp per avere transizioni (000) <-> (111) simmetriche
La transizione (000) →(111) e' un pull-down con kn_eq=(2/3)*kn
La transizione (111) → (000) e' un pull-up con kp_eq=(3/2)*kp
Per avere transizioni simmetriche (tempi uguali) deve essere:
kn_eq=kp_eq da cui kp=4/9*kn=0.44 mA/V^2

2c) transizione (000) -> (101)
In questo caso si tratta un pull-down attraverso gli nMOS A e C, con kn_eq=(1/2)*kn= 0.5 mA/V^2.
L'nMOS equivalente e' saturo a t=0+, per cui si puo' calcolare la corrente Id=kn_eq*(Vdd-Vt)^2=8 mA
Quindi, dalla legge della capacita', $(dV_{out}/dt)|_{t=0^+}$= Id/CL=0.8 V/ns

Esercizio 3
3a) La minima tensione Vout si ha quando i deviatori sono tutti sulla posizione "0", ovvero corrente nulla in terra virtuale e quindi Vout|MIN=0.
La massima tensione Vout si ha quando i deviatori sono tutti sulla posizione "1", che fa fluire la massima corrente in terra virtuale (somma di tutti e 3 i rami): Imax =V1*(1/R0 + 1/(2*R0)+1/(4*R0)), da cui Vout|MAX=(-RF)*Imax=8.75 V.
La minima variazione corrisponde all'attivazione del ramo 4*R0, che da Vout(001)=LSB=(-RF)*V1/(4*R0)=1.25 V.

3b) Vout in funzione di ($S_2S_1S_0$)
Il deviatore S_2 (MSB) corrisponde al ramo R0 (contribuisce maggiore corrente), il deviatore S_0 e' quello del ramo 4R0 (minore corrente). L'espressione generale e':
Vout($S_2S_1S_0$)= V1*(-RF)*((S_2)*1/R0 + (S_1)*1/(2*R0)+ (S_0)*1/(4*R0)). Per ($S_2S_1S_0$)=(110) si ha Vout(110)=7.5 V.

3c) settling time
Il problema e' equivalente allo studio della risposta ad un gradino di (-5V) in ingresso applicato a tutti i 3 rami al tempo t=0. Il circuito e' un classico ampl. invertente con resistenza di ingresso Req=R0//2R0//4R0=0.5714*R0 e resistenza di feedback RF, con guadagno ideale Vout/V1=-RF/Req=(-1.75).
Dallo studio di Gloop, si trova la frequenza del polo ad anello chiuso fp=GBWP*Req/(Req+RF)=364 kHz e quindi la costante di tempo, pari a τp=0.438µs. Dallo studio della risposta Vout(t) si impone 8.75V*exp(-t/τp)=0.5*LSB da cui t=2.54 τp=1.11µs.

3d) R1=100ohm
Nel caso R1=0: I(111) =V1*(1/R0 + 1/(2*R0)+1/(4*R0))=V1/Req=V1/(0.5714*R0), da cui Vout(111) = 8.75 V.
Nel caso R1=100ohm: Inew(111) =V1/(Req+R1), da cui Vout_new(111) =(-RF)*Inew(111)~7.45 V.
Quindi deltaVout=1.3 V, pari a 1.3/1.25=1.04 LSB (LSB=1.25 V, vedi punto 3a).