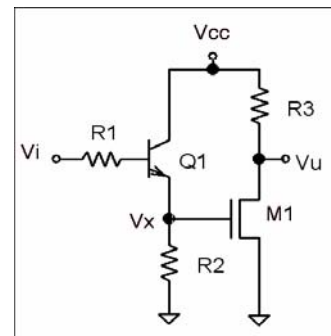


PROVA SCRITTA DI FONDAMENTI DI ELETTRONICA A
4 LUGLIO 2006

1) Nel circuito in figura, il transistor bipolare può essere descritto da un modello "a soglia" con $V_{\gamma}=0.75\text{ V}$ e $V_{CE,sat}=0.2\text{ V}$, mentre il transistor MOS è caratterizzato dalla tensione di soglia V_{Tn} e dal coefficiente β_n . Si determini il margine d'immunità ai disturbi N_M della rete.



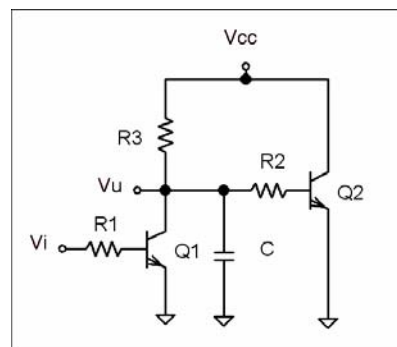
$V_{cc} = 5\text{ V}$, $V_{Tn} = 0.55\text{ V}$, $\beta_n = 1\text{ mA/V}^2$, $\beta_F=100$, $R_1 = 1\text{ k}\Omega$, $R_2 = 2\text{ k}\Omega$, $R_3 = 15\text{ k}\Omega$.

2) Nel circuito in figura, i transistori possono essere descritti da un modello "a soglia", con $V_{\gamma}=0.75\text{ V}$ e $V_{CE,sat}=0.2\text{ V}$. Il segnale d'ingresso abbia il seguente andamento:

$$t < 0: V_i = 0$$

$$t > 0: V_i = V_{cc}$$

Si calcoli il tempo di propagazione $t_{p,HL}$ relativo al segnale di uscita V_u .



$V_{cc} = 5\text{ V}$, $\beta_F=100$, $R_1 = 10\text{ k}\Omega$, $R_2 = 5\text{ k}\Omega$, $R_3 = 1\text{ k}\Omega$, $C=100\text{ nF}$.

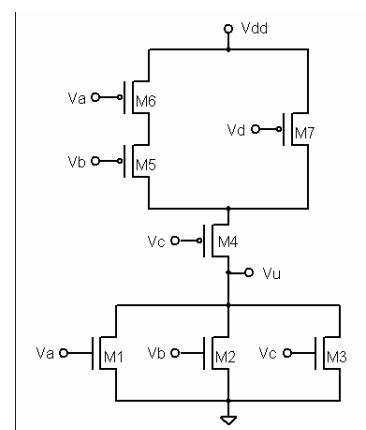
3) Nel circuito in figura, i transistori MOS sono caratterizzati dalla tensione di soglia $V_{Tn}=V_{Tp}=V_T$ e dai coefficienti β_n e β_p .

Si determinino β_n e β_p in modo che:

- associando il valore logico "1" ai valori di tensione alti e il valore logico "0" a quelli bassi, la funzione logica realizzata dal circuito sia

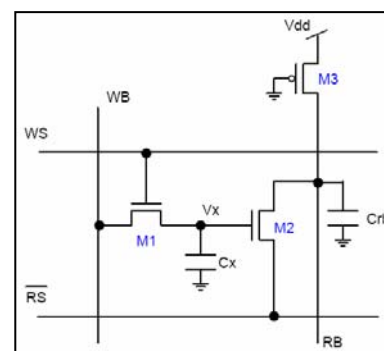
$$U = (a+b)d + c;$$

- il valore alto della tensione di uscita sia, in condizioni statiche di caso peggiore, pari a 3.2 V;
- la potenza statica dissipata dal circuito sia, in condizioni di caso peggiore, pari a 3mW.



$V_{dd} = 3.5\text{ V}$, $V_T = 0.55\text{ V}$.

4) Il circuito in figura rappresenta una cella di memoria RAM dinamica. Le linee $WS = \overline{RS}$ sono le abilitazioni in scrittura e lettura: la scrittura avviene per $WS = \overline{RS} = V_{DD}$ e la lettura per $WS = \overline{RS} = 0\text{ V}$. Si determinino i valori di V_x nella fase di scrittura e V_{RB} nella fase di lettura, in condizioni stazionarie, nel caso di valori (rispettivamente scritti o letti) sia alti che bassi.



$V_{dd} = 3.3\text{ V}$, $V_{Tn}=|V_{Tp}|=V_T = 0.7\text{ V}$, $\beta_1=\beta_2=600\text{ }\mu\text{A/V}^2$, $\beta_3=140\text{ }\mu\text{A/V}^2$.

Esame di ELETTRONICA AB (mod. B): svolgere gli esercizi 1 e 2.

Esame di ELETTRONICA DEI SISTEMI DIGITALI A: svolgere gli esercizi 3 e 4

Esame di FONDAMENTI DI ELETTRONICA A: svolgere almeno uno fra gli esercizi 1 e 2 e almeno uno fra gli esercizi 3 e 4.

- Indicare su ciascun foglio nome, cognome, data e numero di matricola
- Non usare penne o matite rosse
- L'elaborato deve essere contenuto in un unico foglio (4 facciate) protocollo

- Esercizio #1

Osservazione preliminari: il transistor Q1 quando ON è sempre in A.D.

Regione 1: Q1 off, allora $v_x=0$, allora M1 off, allora $v_u=v_{cc}$. Si rimane in regione 1 fintanto che Q1 non va on, ovvero per $v_i=v_\gamma$.

Regione 2: Q1 AD, con $v_x < v_{tn}$, quindi M1 ancora off. $\rightarrow v_u=v_{cc}$.

Osservo che la relazione $i_e=(\beta_f+1)i_b$ dove $i_e=v_x/r_2$ e $i_b=(v_i-(v_x+v_\gamma))/r_1$ equivale a trovare una relazione tra v_x e v_i che vale sia quando il MOS è ON che OFF, ovvero che :

$$v_x = (v_i - v_\gamma) / (1 + r_1/r_2 / (\beta_f + 1)) = -0.746 + 0.995 v_i \quad (\text{eq.1})$$

Regione 3: Q1 AD e M1 on. M1 andrà on quando $v_x > v_{tn} = 0.55V$, che sostituendo $v_x = 0.55V$ nella eq.1, equivale a $v_i > 1.303 V$.

M1 ON sse $v_x > v_{tn}$, e sarà sat sse $v_x < v_u + v_{tn}$, mentre lin se $v_x > v_u + v_{tn}$. Suppongo inizialmente M1 sat, ovvero $v_u > 0.995 v_i - 1.296$. Cerco il punto a pendenza -1 nella regione 3.

$$v_x = -0.746 + 0.995 v_i \text{ (già dimostrata)}$$

$$i_{r3} = (v_{cc} - v_u) / r_3$$

$$i_{dM1sat} = \beta_n / 2 * (v_x - v_{tn})^2$$

Cerco i punti a $d v_u / d v_i = -1$

$$d(i_{dM1sat}) / d v_i = \beta_n / 2 * 2 * (v_x - v_{tn}) * 0.995$$

$$d(i_{r3}) / d v_i = -1 / r_3 * -1$$

$$\text{Ma } i_{dM1sat} = i_{r3}$$

$$\text{e } d(i_{dM1sat}) / d v_i = d(i_{r3}) / d v_i$$

da cui si ricava che $v_u = 4.966 V$ e ,

$$v_i = 1.37 V.$$

Tale coppia di valori soddisfa le HP fatte sulla regione di funzionamento di M1 $v_u (=4.966 V) > 0.995 v_i - 1.296 (=0.067 V)$,

$$\text{Quindi: } V_{OHMIN} = 4.966 V, V_{ILMAX} = 1.37 V.$$

Regione 4: Q1 AD e M1 on e lin (M1 lin se $v_u < 0.995 v_i - 1.296$. Cerco il secondo punto a pendenza -1.

$$v_x = -0.746 + 0.995 v_i \text{ (già dimostrata)}$$

$$i_{r3} = (v_{cc} - v_u) / r_3$$

$$i_{dM1lin} = \beta_n * ((v_x - v_{tn}) * v_u - 1/2 * v_u^2)$$

Cerco i punti a $d v_u / d v_i = -1$

$$d(i_{dM1lin}) / d v_i = \beta_n (v_u * 0.995 - (v_x - v_{tn}) + v_u)$$

$$d(i_{r3}) / d v_i = -1 / r_3 * -1$$

$$\text{Ma } i_{dM1lin} = i_{r3}$$

$$\text{e } d(i_{dM1lin}) / d v_i = d(i_{r3}) / d v_i$$

da cui si ricavano le seguenti coppie di valori (v_i, v_u):

$$(v_i = 0.289 V, v_u = -0.472 V) \text{ e }$$

$$(v_i = 2.182 V, v_u = 0.472 V).$$

Delle due soluzioni quella accettabile è la seconda, quindi:

$$V_{IHMIN} = 2.182 V, \text{ e } V_{OLMAX} = 0.472 V.$$

Tale coppia di valori soddisfa l'Hp su M1 lin, $v_u (=0.472) < 0.995 v_i - 1.296 (=0.875 V)$,

da cui si ricava che:

$$NM_H = 4.966 V - 2.182 V = 2.784 V \text{ e }$$

$$NM_L = 1.37 V - 0.472 V = 0.898 V = NM$$

- Esercizio #2

Osservazione preliminare: Q2 quando on sempre in AD.

1) $t < 0$, $v_i = 0$, suppongo Q1 off e Q2 on in AD. Q1 sarà off fintantoché $v_i < v_\gamma$.

$i_{r3} = (v_{cc} - v_u)/r_3$	Ma
$i_{b2} = (v_u - v_\gamma)/r_2$	$i_{r3} = i_{b2}$, da cui si ricava che $v_u = 4.292 \text{ V}$, quindi Q2 on .

2) Per $t \rightarrow \infty$, $v_i = v_{cc}$, quindi suppongo Q1 on e sat, allora Q2 off. Allora $v_u = v_{cesat}$. Verifico le Hp fatte.

$v_u = v_{cesat}$	$i_{b1} = 0.425 \text{ mA}$
$v_i = v_{cc}$	$i_{c1} = 4.8 \text{ mA}$
$i_{b1} = (v_i - v_\gamma)/r_1$	$i_{c1} (= 4.8 \text{ mA}) < \beta_f * i_{b1} (= 42.5 \text{ mA})$ è verificata,
$i_{c1} = (v_{cc} - v_u)/r_3$	quindi Q1 è sat.

Il ritardo di propagazione è il tempo necessario al segnale d'uscita v_u per compiere l'escursione $4.292 \text{ V} \rightarrow (4.292 + 0.2)/2 \text{ V} = 2.246 \text{ V}$ con $v_i = v_{cc}$.

3) $t = 0^+$, $v_i = v_{cc}$, quindi Q1 on in AD e Q2 on in AD. La tensione ai capi del condensatore non cambia rispetto all'istante $t = 0^-$. Inizialmente Q1 sarà in AD e Q2 pure, poi Q2 andrà off per $v_u = v_\gamma$ ($i_{b2} = 0$), e poi Q1 andrà sat. Durante la transizione $v_u: 4.292 \rightarrow 2.246$ Q1 e Q2 saranno quindi entrambi in AD.

$v_i = v_{cc}$	$t_{pHL} = \int_{4.292}^{2.246} \frac{C}{i_{r3} - \beta_f * i_{b1} - i_{b2}} dv_u$
$i_{r3} = (v_{cc} - v_u)/r_3$	ovvero $t_{pHL} = 4.959 \mu\text{s}$.
$i_{b1} = (v_i - v_\gamma)/r_1$	
$i_{b2} = (v_u - v_\gamma)/r_2$	
$i_{r3} - \beta_f * i_{b1} - i_{b2} = C * dv_u/dt$	

soluz es 3

vdd=3.5;
vt=0.55;
vux=3.2;
pd=0.003;

il circuito non è un FCMOS; nelle condizioni seguenti sono accesi sia pull-up che pull-down:

c=d=0 a=1 b=1 (1)
c=d=0 a=0 b=1 (2)
c=d=0 a=1 b=0 (3)

La funzione logica richiesta prevede, in queste condizioni, uscita alta. Quindi, sia per quanto riguarda la potenza statica dissipata che la minima tensione di uscita alta, la condizione di caso peggiore è la condizione che prevede il pull-down più efficiente, cioè la (1), cui corrispondono 2 nMOS in parallelo accesi.

In queste condizioni, M1,M2,M4,M7 sono ON, M3,M5,M6 sono OFF, e quindi:

$$\beta_{eq,PD} = 2\beta_n$$
$$\beta_{eq,PU} = \beta_p/2$$

vgsn=vdd, vdsn=3.2 V, nMOS sat
vsgp=vdd, vsdp=0.3 V, pMOS lin

$$idn = \beta_{eq,PD} / 2 (vdd - vt)^2 = 8.7025 \beta_n$$
$$idp = \beta_{eq,PU} ((vdd - vt)(vdd - vux) - (vdd - vux)^2 / 2) = 0.42 \beta_p$$

Imponendo il vincolo sulla potenza dissipata:

$$idn = pd / vdd$$

si ricava:

$$\beta_n = 98.5 \mu A/V^2$$

e quindi, imponendo $idn = idp$,

$$\beta_p = 2.04 mA/V^2$$

es 4

Fase di SCRITTURA: $WS = \overline{RS} = V_{DD}$

M1 on e M2 OFF ($V_{GS} < V_T$)

Caso $WB=0$: in condizioni stazionarie $V_x = 0$

Caso $WB = V_{DD}$: M1 si comporta come un pass transistor pertanto $V_x = V_{DD} - V_T$

Fase di LETTURA: $WS = \overline{RS} = 0$

M1 OFF

Se $V_x = 0$ allora M2 OFF e $V_{RB} = V_{DD}$

Se $V_x = V_{DD} - V_T$ M2 on e V_{RB} dipende dal dimensionamento di M3 e M2

Regione di funzionamento di M2 e M3:

M2: se $V_{ds} < V_{gs} - V_t = V_{dd} - V_t - V_t = 1.9 \text{ V} \Rightarrow V_{ds} = V_{RB}$ supponiamo M2 in LIN

M3: $V_{sd} = V_{dd} - V_{RB} > V_{sg} - V_t = V_{dd} - V_t = 2.6 \text{ V} \Rightarrow$ supponiamo M3 p.o

$$\beta_2 \left((V_{dd} - 2V_t)(0.5) - \frac{(0.5)^2}{2} \right) = \frac{\beta_3}{2} (V_{dd} - V_t)^2$$

al termine del transitorio $V_{RB} = 0.49 \text{ V}$

verifichiamo le ipotesi

M2: $V_{ds} = V_{RB} = 0.49 \text{ V} < V_{gs} - V_t = V_{dd} - V_t - V_t = 1.9 \text{ V}$ allora M2 è effettivamente in LIN

M3: $V_{sd} = V_{dd} - V_{RB} = 2.81 > V_{sg} - V_t = V_{dd} - V_t = 2.6 \text{ V}$ allora M3 effettivamente in P.O.