

PROVA SCRITTA DI FONDAMENTI DI ELETTRONICA A
23 SETTEMBRE 2008

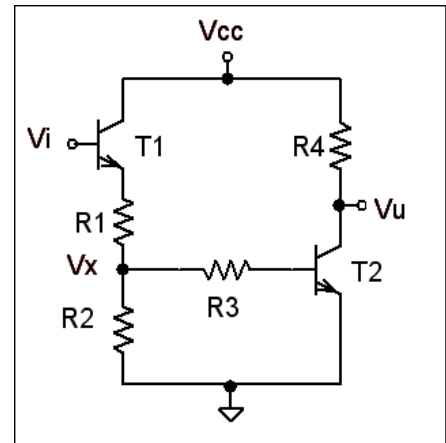
- 1) Nel circuito in figura, i transistori possono essere descritti da un modello "a soglia" con $V_T = 0.75 \text{ V}$ e $V_{CE,sat} = 0.2 \text{ V}$. Sia il segnale d'ingresso V_i variabile nell'intervallo $0 < V_i < V_{CC}$.

Determinare le resistenze R_2 ed R_3 in modo tale che:

- la pendenza (A_v) della caratteristica statica di trasferimento $V_u(V_i)$ in corrispondenza della tensione di soglia logica sia pari a -4.5 ;
- il margine d'immunità ai disturbi relativo al caso basso $N_{ML} = 1.675 \text{ V}$.

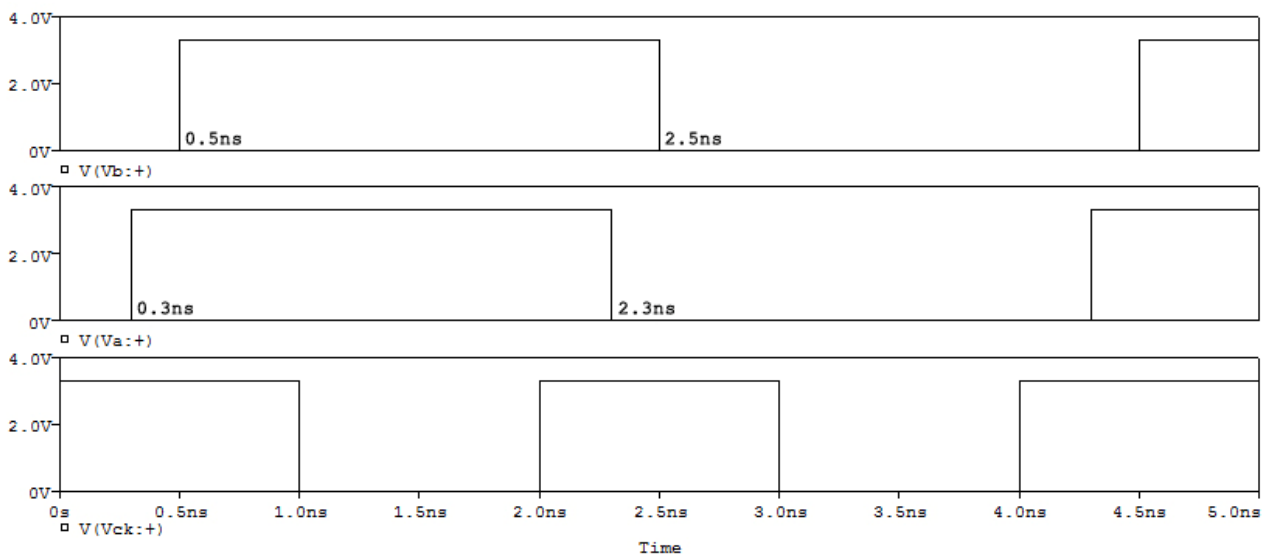
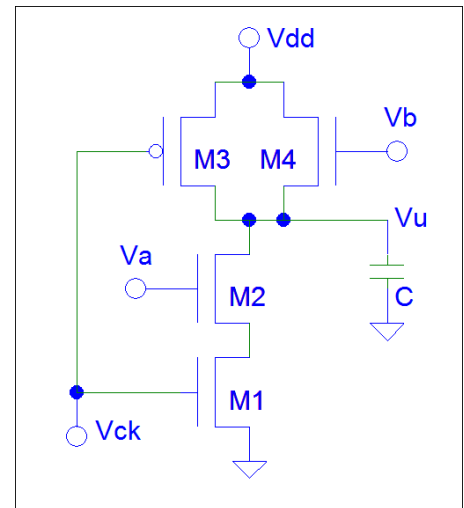
Si determinino, infine, i margini d'immunità NM_H e NM della rete.

$$V_{CC} = 5 \text{ V}, \beta_F = 100, R_1 = 500 \, \Omega, R_4 = 1 \text{ k}\Omega.$$



- 2) Nel circuito in figura, i transistori MOS sono caratterizzati dalle tensioni di soglia V_{Tn} e V_{Tp} e dai coefficienti β_n e β_p . I segnali di ingresso abbiano l'andamento periodico mostrato in figura, con periodo di 4 ns . Si determini l'andamento del segnale V_u , trascurando i tempi di propagazione (assumendo cioè ogni transistoro come istantaneo) e calcolando i valori di regime in corrispondenza di ciascuna transizione.

Si calcoli quindi la potenza dinamica media complessivamente dissipata per effetto delle correnti di "corto circuito" (non considerando cioè la potenza dinamica associata alla carica e scarica del condensatore C).



$$V_{dd} = 3.3 \text{ V}, V_{Tn} = 0.45 \text{ V}, V_{Tp} = -0.5 \text{ V}, \beta_n = 0.8 \text{ mA/V}^2, \beta_p = 0.4 \text{ mA/V}^2.$$

Esame di ELETTRONICA AB (mod. B): svolgere l'esercizio 1 (tempo disponibile 1h 15m).

Esame di ELETTRONICA DEI SISTEMI DIGITALI A: l'esercizio 2 (tempo disponibile 1h 15m).

Esame di FONDAMENTI DI ELETTRONICA A: svolgere gli esercizi 1 e 2 (tempo disponibile 2h).

• 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

Compito del 23-09-2008 - Esercizio #1

Osservazioni preliminari: T1 quando on è in AD; inoltre T2 è schiavo di T1, ovvero T2 è ON se T1 è ON (non vale il viceversa).

Calcolo del guadagno di tensione

Alla soglia logica deve essere $v_u = v_i = v_{lt}$, quindi T1 sarà on, e T2 sarà on in AD. Infatti:

- a) Se T1 fosse off (quindi $v_i < v_\gamma$), anche T2 sarebbe off, quindi sarebbe $v_u = v_{cc}$, il che è assurdo. Quindi T1 deve essere in AD. Anche T2 deve essere ON e in AD, poiché se T2 fosse sat, $v_u = v_{cesat}$, ma se alla soglia logica deve essere $v_u = v_i = v_{lt}$, T1 dovrebbe essere off il che è assurdo. Alla soglia logica entrambi i transistori sono in AD. Calcolo del guadagno di tensione. Si può allora calcolare il guadagno di tensione A_v alla soglia logica che deve essere pari a -4.5.

$i_{e1} = (v_i - v_\gamma - v_x) / R_1$	Risolvendo si trova che:
$i_{r2} = v_x / R_2$	
$i_{b2} = (v_x - v_\gamma) / R_3$	$V_u = (5 R_1 R_3 + 75 R_1 R_4 + R_2 (5 R_1 + 5 R_3 + 150 R_4 - 100 R_4 v_i)) / (R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3)$, dove R_1 e R_4 sono date.
$i_{c2} = (v_{cc} - v_u) / R_4$	
Ma	
$i_{e1} = i_{b2} + i_{r2}$	Il guadagno nel tratto T1AD e T2 AD è costante e vale -4.5 per v_i in variabile in questo intervallo.
$i_{b2} \beta_f = i_{c2}$	
	Si può allora ricavare la prima relazione tra R_2 e R_3 .
	$A_v = dv_u/dv_i = -100 R_4 R_2 / (R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3) = -200 R_2 / (R_2 + R_3 + 0.002 R_2 R_3) = -4.5$

Regione 1: $v_i < v_\gamma$, T1 off, T2 off, e $v_u = v_{cc}$.

Regione 2: T1 on ($v_i > v_\gamma$) e T2 off ($v_x < v_\gamma$). In queste condizioni $v_u = v_{cc}$.

Si rimane in regione 2 fintantoché T2 non va on, quando cioè $v_x = v_\gamma$.

Regione 3: Per v_i tale che $v_x > v_\gamma$, T2 si accende e passa in AD. Con entrambi i transistori in AD la caratteristica $v_u(v_i)$ è una retta con pendenza $A_v = -4.5$. Quindi il primo punto angoloso (V_{ILMAX} , V_{OHMIN}) corrisponde al punto di transizione dalla regione 2 alla regione 3. Quindi $V_{OHMIN} = V_{cc} = 5V$. V_{ILMAX} corrisponde a quel valore di V_i per il quale $v_x = v_\gamma$.

$i_{e1} = (v_i - v_\gamma - v_x) / R_1$	V_{OLMAX} è il valore basso dell'uscita che si ha con il transistore T2 saturo, e vale v_{cesat} .
$i_{r2} = v_x / R_2$	
Ma $i_{e1} = i_{r2}$ e	
$v_x = v_\gamma$	$N_{ML} = V_{ILMAX} - V_{OLMAX} = 2v_\gamma + v_\gamma R_1 / R_2 - v_{cesat} = 1.675$ da cui si ricava che $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$.
da cui si ricava che	
$V_i = V_{ILMAX} = 2 v_\gamma + v_\gamma R_1 / R_2$	
Nota $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$, sostituendone il valore nell'espressione prima calcolata del guadagno	$A_v = -200 R_2 / (R_2 + R_3 + 0.002 R_2 R_3) = -4.5$ si ricava $R_3 = 14481.5 \Omega$

Resta da calcolare V_{IHMIN} . V_{IHMIN} corrisponde al valore dell'ingresso per il quale T2 va sat, con T1 in AD.

$i_{e1} = (v_i - v_\gamma - v_x) / R_1$	$N_{MH} = V_{OHMIN} - V_{IHMIN} = 5 - 2.942 = 2.058V$
$i_{r2} = v_x / R_2$	
$v_u = v_{cesat}$	$NM = \min[N_{MH}, N_{ML}] = 1.675V$
$i_{b2} = (v_x - v_\gamma) / R_3$	
$i_{c2} = (v_{cc} - v_{cesat}) / R_4$	
Ma $i_{e1} + i_{b2} = i_{r2}$ e $i_{b2} \beta_f = i_{c2}$	
da cui si ricava che $V_i = V_{IHMIN} = 2.942 V$	

Esercizio 2:

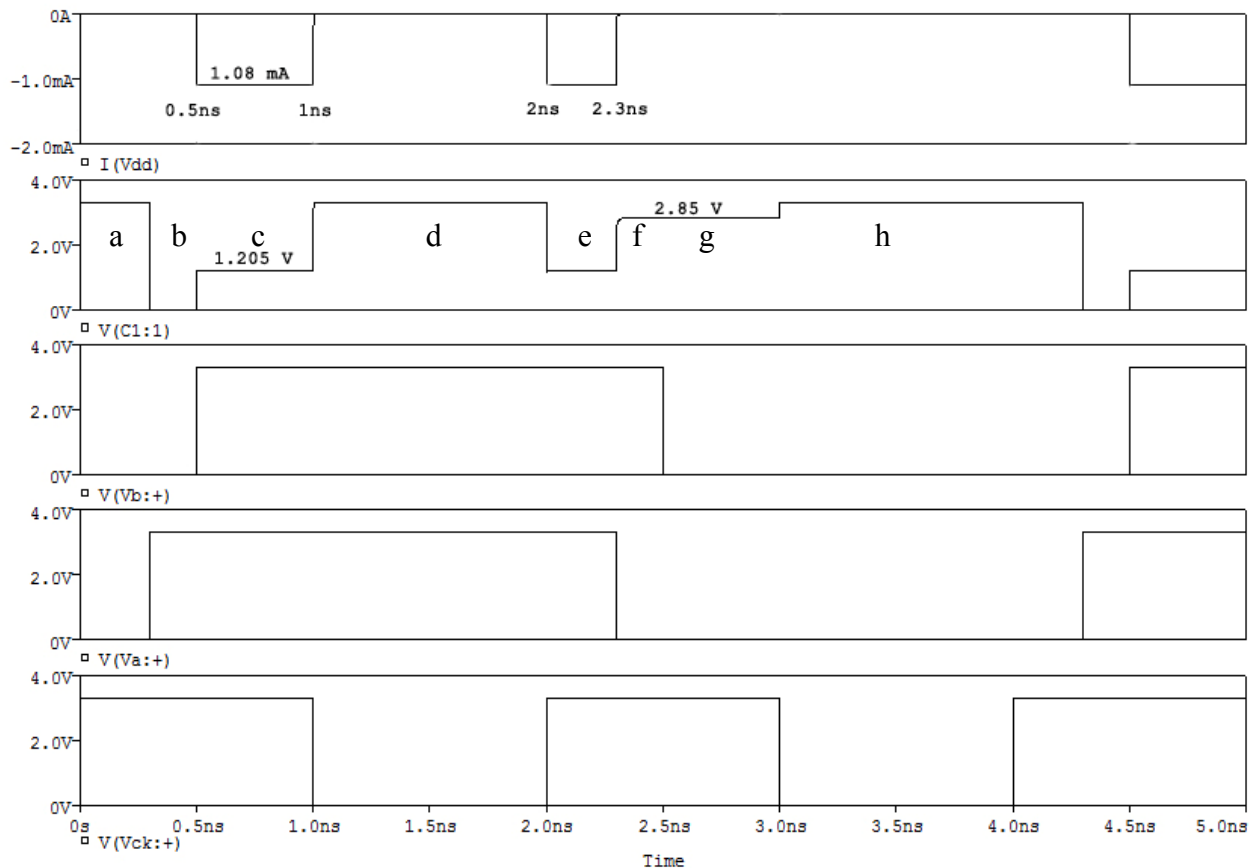
Il circuito è un invertitore dinamico in logica PE controllato dal segnale V_a , sulla cui uscita è disposta una rete aggiuntiva di pull-up controllata dal segnale V_b .

E' quindi possibile distinguere i casi seguenti:

- $V_{ck} = V_{dd}$, $V_a = 0$, $V_b = 0 \rightarrow$ pull-up OFF, pull-down OFF \rightarrow uscita in alta impedenza $\rightarrow V_u = V_{dd}$ (fase precedente di precarica)
- $V_{ck} = V_{dd}$, $V_a = V_{dd}$, $V_b = 0 \rightarrow$ pull-up OFF, pull-down ON $\rightarrow V_u = 0$ (al termine del transitorio)
- $V_{ck} = V_{dd}$, $V_a = V_{dd}$, $V_b = V_{dd} \rightarrow$ pull-up ON, pull-down ON $\rightarrow V_u$ dipende dal rapporto fra i fattori di forma delle reti di PU (M4) e PD (M1,M2). M4 lavora certamente in saturazione ($V_{GS} = V_{DS} = V_{dd} - V_u$).
Ipotesizzo che la rete di PD lavori in regione lineare

$$\left. \begin{aligned} I_{PU} &= \frac{\beta_n (V_{dd} - V_u - V_{Tn})^2}{2} \\ I_{PD} &= \beta_{1,2} \left((V_{dd} - V_{Tn}) V_u - \frac{V_u^2}{2} \right) \\ \beta_{1,2} &= \frac{\beta_n}{2} \end{aligned} \right\} \xrightarrow{I_{PD}=I_{PU}} \begin{cases} V_u = 1.205 \text{ V} \rightarrow \text{Ipotesi OK} \\ V_u = 4.49 \text{ V} \rightarrow \text{Ipotesi KO} \end{cases}$$

- $V_{ck} = 0$, $V_a = V_{dd}$, $V_b = V_{dd} \rightarrow$ pull-up ON, pull-down OFF $\rightarrow V_u = V_{dd}$ (nMOS e pMOS in parallelo)
- $V_{ck} = V_{dd}$, $V_a = V_{dd}$, $V_b = V_{dd} \rightarrow$ situazione identica a (c) $\rightarrow V_u = 1.205 \text{ V}$
- $V_{ck} = V_{dd}$, $V_a = 0$, $V_b = V_{dd} \rightarrow$ pull-up ON (M4), pull-down OFF $\rightarrow V_u = V_{dd} - V_{Tn} = 2.85 \text{ V}$ (nMOS di pull-up \rightarrow valore "debole")
- $V_{ck} = V_{dd}$, $V_a = 0$, $V_b = 0 \rightarrow$ pull-up OFF, pull-down OFF \rightarrow uscita in alta impedenza $\rightarrow V_u = 2.85 \text{ V}$
- $V_{ck} = 0$, $V_a = 0$, $V_b = 0 \rightarrow$ pull-up ON, pull-down OFF $\rightarrow V_u = V_{dd}$ (fase di precarica)



Calcolo della potenza media: la corrente erogata dal generatore è non nulla solo negli intervalli (c) ed (e). In questi intervalli, la corrente è costante e vale:

$$I_{DD} = I_{PD} = I_{PU} = \frac{\beta_n (V_{dd} - 1.205 \text{ V} - V_{Tn})^2}{2} = 1.08 \text{ mA}$$

E quindi la potenza media vale:

$$P_{DD} = \frac{1}{T} \int_T I_{DD} V_{DD} dt = \frac{V_{DD}}{T} \left(\int_{0.5 \text{ ns}}^{1 \text{ ns}} 1.08 \cdot 10^{-3} dt + \int_{2 \text{ ns}}^{2.3 \text{ ns}} 1.08 \cdot 10^{-3} dt \right) = 0.71 \text{ mW}$$