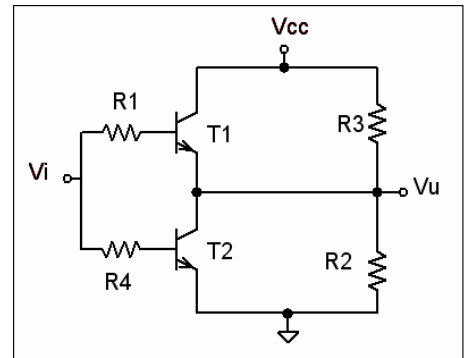


PROVA SCRITTA DI ELETTRONICA
7 SETTEMBRE 2007

1) Nel circuito in figura, i transistori possono essere descritti da un modello "a soglia" con $V_T = 0.75 \text{ V}$ e $V_{CE,sat} = 0.2 \text{ V}$.

- Determinare R_2 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 -8 .
- Si determini, per tale valore di R_2 , la caratteristica statica di trasferimento $V_u(V_i)$, per $0 < V_i < V_{cc}$.

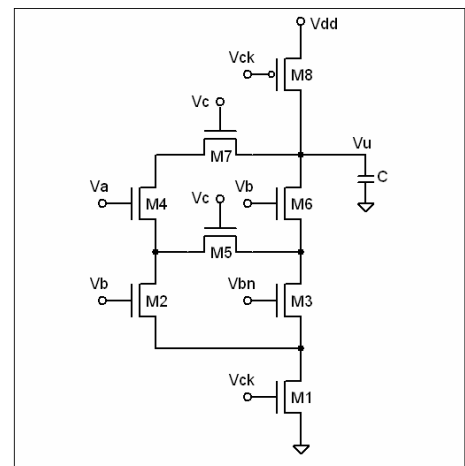


$V_{cc} = 5 \text{ V}$, $\beta_F = 100$, $R_1 = 7 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 500 \Omega$, $R_4 = 5 \text{ k}\Omega$.

2) Nel circuito dinamico in figura, i transistori MOS sono caratterizzati dalle tensioni di soglia $V_{Tn} = |V_{Tnp}| = V_T$ e dai coefficienti $\beta_1 = \beta_5 = \beta_7 = \beta_x$, $\beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = \beta_6 = \beta_y$ e β_8 . I segnali V_a , V_b e V_c possono assumere i valori 0 e V_{dd} , e possono variare solo durante le fasi di precarica ($V_{ck} = 0$). Il segnale V_{bn} è complementare di V_b .

Si determinino i valori di β_x e β_y , in maniera tale che:

- il tempo di propagazione $T_{p,HL}$ del segnale V_u di caso peggiore sia 1.8 volte maggiore dello stesso tempo valutato nel caso migliore;
- il tempo di propagazione $T_{p,HL}$ del segnale V_u , se diverso dal caso peggiore e dal caso migliore, sia pari a 15 ps.



$V_{dd} = 3.3 \text{ V}$, $V_T = 0.4 \text{ V}$, $C = 30 \text{ fF}$, $\beta_8 = 1 \text{ mA/V}^2$.

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

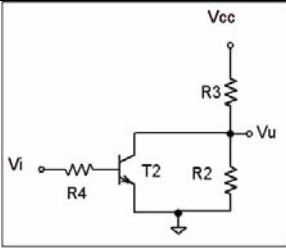
Osservazioni preliminari: T1 quando on è in AD.

Calcolo di R2:

Alla soglia logica $v_u = v_i = v_{lt}$, quindi T1 sarà off ($v_{be1} = 0$), e T2 sarà on in AD. Infatti:

- T2 non può essere off perché $v_u = v_{cc} \cdot r_2 / (r_2 + r_3)$, ovvero la pendenza della caratteristica d'uscita con T2 off sarebbe = 0, mentre deve essere pari a -8.;
- T2 non può essere sat perché se $v_u = v_{cesat}$, dovendo essere $v_i = v_u = v_{lt}$, T2 sarebbe off, e quindi si avrebbe un assurdo. Quindi T2 sarà on in AD.

Determinazione del guadagno di tensione A_v . Con T1 off il circuito da analizzare si riduce al seguente.

 <p> $i_{r3} = (v_{cc} - v_u) / r_3$ $i_{b2} = (v_i - v_{\gamma}) / r_4$ </p>	<p> $i_{r2} = v_u / r_2$ Ma $i_{r3} = \beta_f \cdot i_{b2} + i_{r2}$, da cui si ricava che: $v_u = \frac{(v_{\gamma} - v_i)}{r_4} \beta_f \frac{1}{1/r_2 + 1/r_3} + \frac{v_{cc}}{r_3}$ $A_v = dv_u / dv_i = \frac{-\beta_f}{r_4 (1/r_2 + 1/r_3)} = -8$ e quindi il valore di $r_2 = 2 \text{ k}\Omega$. </p>
---	--

Regione 1: $V_i < v_{\gamma}$, T1 off, T2 off, e v_u da calcolare col partitore resistivo: $v_u = v_{cc} \cdot r_2 / (r_2 + r_3) = 4V$.

Regione 2: T1 off e T2 on in AD ($v_i > v_{\gamma}$).

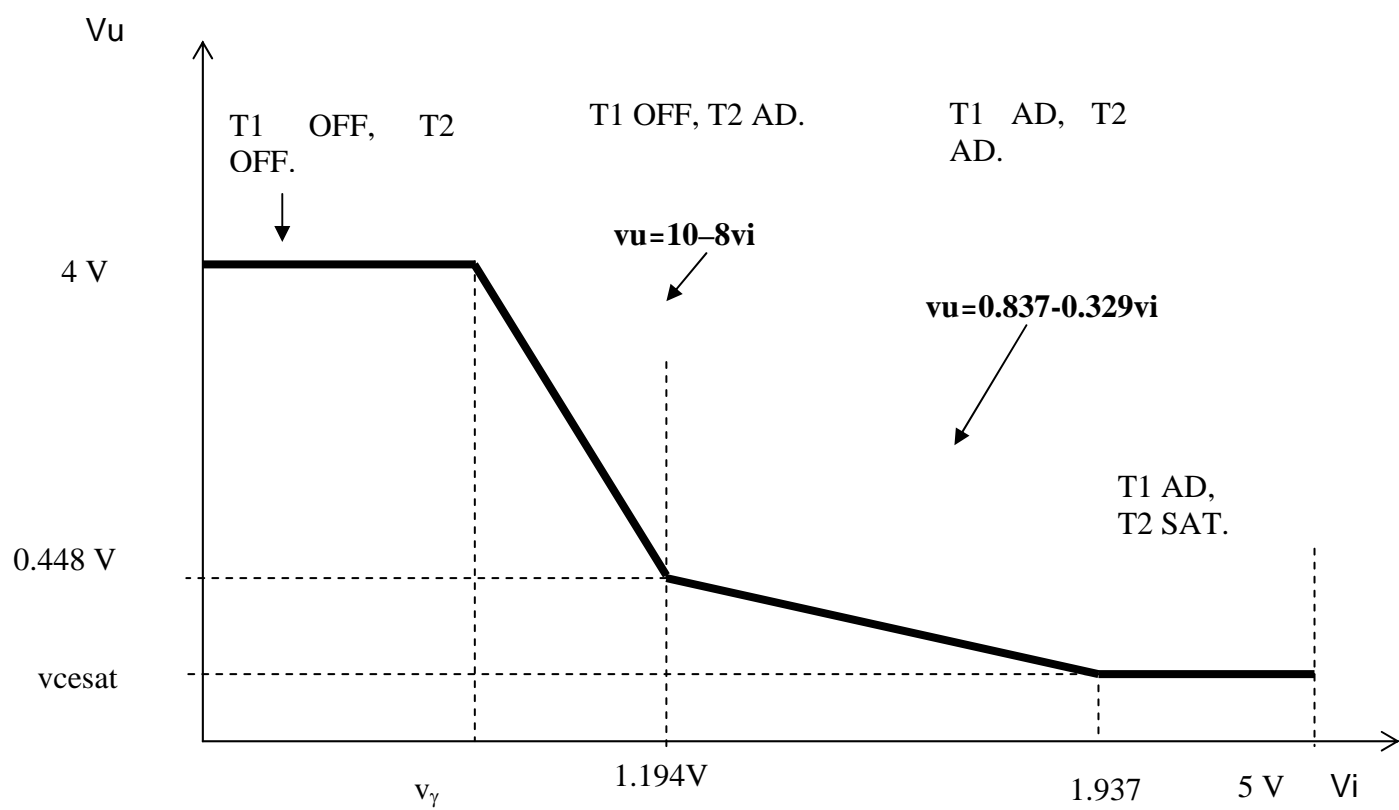
<p> $i_{b2} = (v_i - v_{\gamma}) / r_4$ $i_{r2} = v_u / r_2$ $i_{r3} = (v_{cc} - v_u) / r_3$ Ma $i_{r3} = \beta_f \cdot i_{b2} + i_{r2}$ </p>	<p> da cui si ricava che $v_u = 10 - 8v_i$. Si rimane in regione 2 fintantoché (A) T1 va in ad; (B) oppure T2 va sat. </p>
<p> (A) Quando T1 va in AD, $v_{be1} = v_{\gamma}$ $i_{r3} = (v_{cc} - v_u) / r_3$ $i_{b1} = (v_i - v_u - v_{\gamma}) / r_1$ $i_{e1} = i_{b1} \cdot (\beta_f + 1)$ $i_{b2} = (v_i - v_{\gamma}) / r_4$ $i_{c2} = i_{b2} \cdot \beta_f$ $i_{r2} = v_u / r_2$ </p>	<p> Ma $i_{r2} = i_{r3} + i_{e1} - i_{c2}$ e $v_u = 10 - 8v_i$ da cui si ricava che $v_i = 1.194 \text{ V}$ (B) Quando T2 va sat $v_u = v_{cesat}$, ma $v_u = 10 - 8v_i$, da cui si ricava che $v_i = 1.225 \text{ V}$. Delle condizioni succitate quella corretta è la (A), per cui si rimane in regione 2 fintantoché $v_i < 1.194 \text{ V}$. </p>
<p align="center">Regione 2 per $v_{\gamma} < v_i < 1.194 \text{ V}$.</p>	

Regione 3 : T1 on in AD, T2 on in AD.

<p> $i_{r3} = (v_{cc} - v_u) / r_3$ $i_{b1} = (v_i - v_u - v_{\gamma}) / r_1$ $i_{e1} = i_{b1} \cdot (\beta_f + 1)$ $i_{b2} = (v_i - v_{\gamma}) / r_4$ $i_{c2} = i_{b2} \cdot \beta_f$ $i_{r2} = v_u / r_2$ Ma $i_{r2} = i_{r3} + i_{e1} - i_{c2}$ </p>	<p> Risolvendo si trova che: $v_u = 0.837 - 0.329v_i$ Si rimane in questa regione fintantoché T2 va sat, sse $v_u = v_{cesat}$, ovvero sse $v_u = 0.837 - 0.329v_i = v_{cesat}$, da cui si ricava che $v_i = 1.937 \text{ V}$. </p>
<p align="center">Regione 3 per $1.194 < v_i < 1.937 \text{ V}$.</p>	

Regione 4: Per $v_i > 1.937 \text{ V}$ T1 AD, T2 sat, e $v_u = v_{cesat} = 0.2V$.

Di seguito si riporta la caratteristica statica di trasferimento.



La funzione logica della porta è descritta dalla Tabella seguente:

a	b	c	u
0	0	0	1
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	0 *
1	0	0	1
1	0	1	0 **
1	1	0	1
1	1	1	0 ***

esistono 3 condizioni in cui il full adder viene attivato; in ciascuna di queste il PD è comunque equivalente ad un unico MOS avente β_{eq} opportuno.

Caso *: PD: $M6-M5-M2-M1 \rightarrow \beta^* = \frac{1}{\frac{1}{\beta_6} + \frac{1}{\beta_5} + \frac{1}{\beta_2} + \frac{1}{\beta_1}} = \frac{1}{\frac{2}{\beta_x} + \frac{2}{\beta_y}}$

Caso **: PD: $M7-M4-M5-M3-M1 \rightarrow \beta^{**} = \frac{1}{\frac{3}{\beta_x} + \frac{2}{\beta_y}}$

Caso ***: PD: $(M7-M4) \parallel (M5-M6) - M2-M1$

$$\beta^{***} = \frac{1}{\frac{1}{\beta_1} + \frac{1}{\beta_2} + \frac{1}{\frac{1}{\frac{1}{\beta_7} + \frac{1}{\beta_4}} + \frac{1}{\frac{1}{\beta_5} + \frac{1}{\beta_6}}}} = \frac{1}{\frac{1}{\beta_x} + \frac{1}{\beta_y} + \frac{1}{2}} = \frac{1}{\frac{3/2}{\beta_x} + \frac{3/2}{\beta_y}}$$

Il tempo di propagazione vale:

$$t_p = \frac{2C}{\beta} \left\{ \frac{V_T}{(V_{DD} - V_T)^2} + \frac{1}{2(V_{DD} - V_T)} \log\left(3 - \frac{4V_T}{V_{DD}}\right) \right\} = \frac{\kappa}{\beta} \quad \text{con } \kappa = 1.24 \cdot 10^{-4} \left[\frac{s \cdot V^2}{A} \right]$$

è evidente che:

$$\beta^{**} < \beta^* < \beta^{***} \rightarrow \begin{cases} \text{caso peggiore: } \beta = \beta^{**}, t_{p, \text{pegg}} = \frac{\kappa}{\beta^{**}} \\ \text{caso intermedio: } \beta = \beta^*, t_{p, \text{int}} = \frac{\kappa}{\beta^*} \\ \text{caso migliore: } \beta = \beta^{***}, t_{p, \text{migli}} = \frac{\kappa}{\beta^{***}} \end{cases}$$

e quindi:

$$\begin{cases} \kappa/\beta^* = 15 \text{ ps} \\ \kappa/\beta^{**} = 1.8 \cdot \frac{\kappa}{\beta^{***}} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} 2\kappa \left(\frac{1}{\beta_x} + \frac{1}{\beta_y} \right) = 15 \text{ ps} \\ \frac{3}{\beta_x} + \frac{2}{\beta_y} = 1.8 \cdot \frac{3}{2} \left(\frac{1}{\beta_x} + \frac{1}{\beta_y} \right) \end{cases} \Rightarrow \dots \rightarrow$$

$$\rightarrow \beta_x = 2.36 \text{ mA/V}^2 \quad t_{p, \text{pegg}} = 20.2 \text{ ps}$$

$$\beta_y = 5.51 \text{ mA/V}^2 \quad t_{p, \text{migli}} = 1.12 \text{ ps}$$