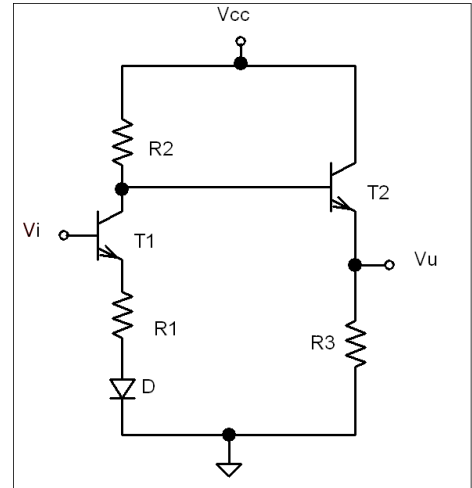


PROVA SCRITTA DI ELETTRONICA 1  
2 LUGLIO 2015

1) Nel circuito in figura, i transistori e il diodo possono essere descritti da un modello “a soglia”, con  $V_{\gamma}=0.75\text{ V}$  e  $V_{CE,sat}=0.2\text{ V}$ . Si determini la caratteristica statica di trasferimento  $V_u(V_i)$ , per  $0 < V_i < V_{CC}$ .



$V_{CC} = 5\text{ V}$ ,  $\beta_F=100$ ,  $R_1 = 1.5\text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 3.5\text{ k}\Omega$ ,  $R_3 = 1\text{ k}\Omega$ .

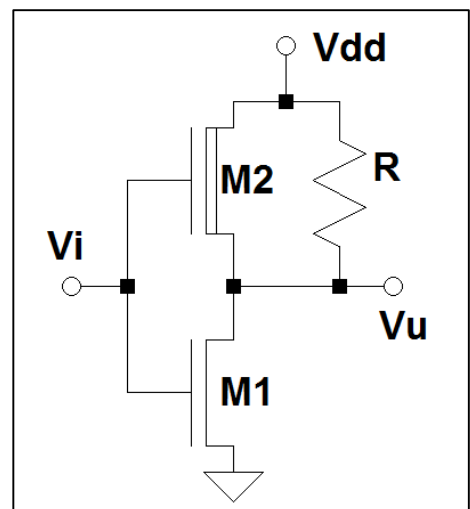
2) Nel circuito in figura, i transistori MOS sono caratterizzati dai coefficienti  $\beta_1$  e  $\beta_2$  e dalle tensioni di soglia  $V_{T1}$  e  $V_{T2}$ . Il transistorore M2 è del tipo “a svuotamento” ( $V_{T2} < 0$ ).

Si determini il valore della resistenza R in modo che l'escursione logica del circuito sia:

$$\Delta V = V_H - V_L = 3\text{ V}$$

Si determini quindi il valore della tensione di soglia logica  $V_{TL}$  del circuito.

$V_{dd} = 3.3\text{ V}$ ,  $V_{T1} = 0.4\text{ V}$ ,  $V_{T2} = -0.2\text{ V}$ ,  $\beta_1 = 2.5\text{ mA/V}^2$ ,  $\beta_2 = 300\text{ }\mu\text{A/V}^2$ .



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 ELETTRONICA 1 / FONDAMENTI DI ELETTRONICA A: svolgere gli esercizi 1 e 2 (tempo disponibile 2h e 30m).

- 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

## 2.7.2015 – Esercizio 1

Osservazioni preliminari:

- 1) T1 e D sono o contemporaneamente OFF o contemporaneamente ON;
- 2) T2 quando ON è in AD (collettore connesso a Vcc).

**Regione 1:**  $v_i < 2v_\gamma$ : T1 OFF, D OFF, T2 in AD (Hp da verificare).

$ir_2 = (v_{cc} - v_u - v_\gamma)/r_2$ $ie_2 = ir_3 = v_u/r_3$ Ma $ir_3/(\beta_f + 1) = ir_2$	Risolvendo si trova che: $v_u = 4.108 \text{ V}$ . Il valore di $V_u$ trovato verifica l'Hp di accensione di T2.
Si rimane in questa regione fintantoché T1 rimane off, sse $v_i < 2v_\gamma$ , sse $v_i < 1.5 \text{ V}$	
Regione 1: per $0 < v_i < 2v_\gamma$	

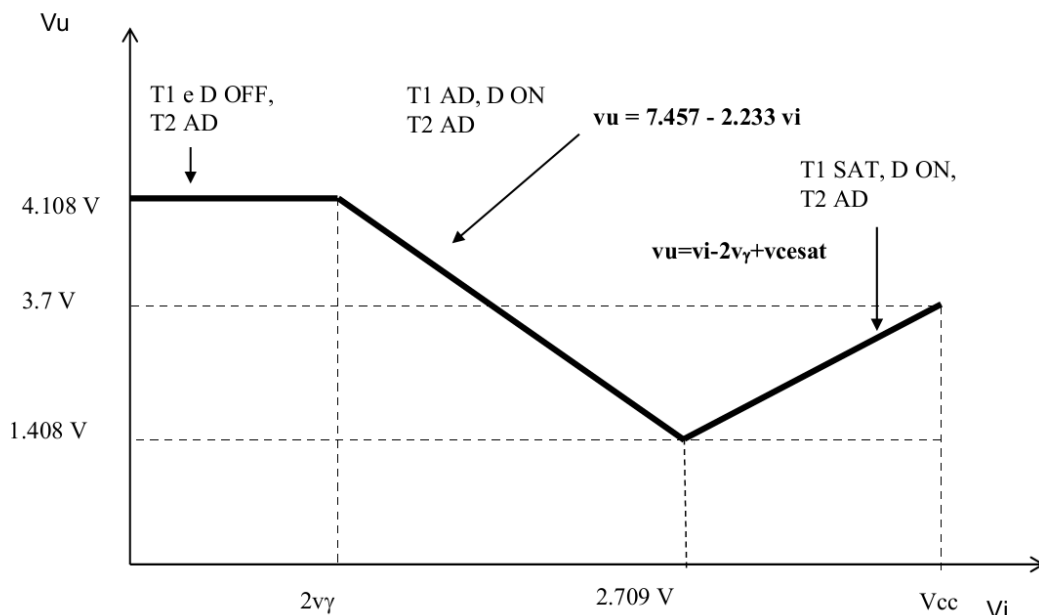
**Regione 2:** T1 ON in AD, D ON, T2 AD.

$ir_2 = (v_{cc} - v_u - v_\gamma)/r_2$ $ie_2 = ir_3 = v_u/r_3$ $ir_1 = (v_i - v_\gamma - v_\gamma)/r_1$ Ma $ir_1 * \beta_f / (\beta_f + 1) + v_u/r_3 / (\beta_f + 1) = ir_2$	Risolvendo si trova che: $v_u = 7.457 - 2.233 v_i$ Si rimane in questa regione fintantoché T1 va sat.
T1 va sat per $v_u + v_\gamma - (v_i - v_\gamma) = v_{cesat}$ Ma nel punto di passaggio tra reg.2 e reg.3 vale anche che	$v_u = 7.457 - 2.233 v_i$ Mettendo a sistema le equazioni si ricava che: $v_i = 2.709 \text{ V}$ e $v_u = 1.408 \text{ V}$
Regione 2: per $2v_\gamma < v_i < 2.709 \text{ V}$	

**Regione 3:** T1 SAT, D ON e T2 AD.

T1 va sat per $v_u + v_\gamma - (v_i - v_\gamma) = v_{cesat}$	Ovvero $v_u = v_i - 2v_\gamma + v_{cesat}$
Regione 3: per $2.709 \text{ V} < v_i < V_{cc}$	

Di seguito si riporta la caratteristica statica di trasferimento.



## 2.7.2015 – Esercizio 2

Conviene dapprima analizzare le regioni di funzionamento dei transistori. Si ha :

$$\left. \begin{array}{l} V_{GS1} = V_i \\ V_{DS1} = V_u \end{array} \right\} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} M_1 \text{ off: } V_i < V_{T1} \\ M_1 \text{ sat: } V_i < V_u + V_{T1} \rightarrow V_u > V_i - V_{T1} \\ M_1 \text{ lin: } V_u < V_i - V_{T1} \end{array} \right.$$

$$\left. \begin{array}{l} V_{GS2} = V_i - V_u \\ V_{DS2} = V_{dd} - V_u \end{array} \right\} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} M_2 \text{ off: } V_i - V_u < V_{T2} < 0 \rightarrow V_u > V_i + |V_{T2}| \\ M_2 \text{ sat: } V_i - V_u < V_{dd} - V_u + V_{T2} \rightarrow V_i < V_{dd} - |V_{T2}| \\ M_2 \text{ lin: } V_i > V_{dd} - |V_{T2}| \end{array} \right.$$

La situazione è riassunta nella figura a fianco.

Ipotizzando  $V_L < V_{T1}$  (\*), si ha, nella condizione di ingresso basso:

$$\left. \begin{array}{l} V_i = V_L < V_{T1} \rightarrow M_1 \text{ off} \rightarrow I_{D1} = 0 \\ I_{D1} = I_{D2} + I_R \end{array} \right\} \rightarrow I_{D2} + I_R = 0$$

che implica necessariamente  $M_2$  off. Infatti, ipotizzando per assurdo:

$$M_2 \text{ on} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} I_{D2} > 0 \xrightarrow{I_{D2}+I_R=0} I_R < 0 \\ V_{DS2} > 0 \xrightarrow{I_R=V_{DS2}/R} I_R > 0 \end{array} \right.$$

si giunge a una condizione contraddittoria. Quindi :

$$M_2 \text{ on} \rightarrow I_{D2} = 0 \xrightarrow{I_{D2}+I_R=0} I_R = 0 \xrightarrow{I_R=V_{DS2}/R} V_{DS2} = 0 \xrightarrow{V_{DS2}=V_{dd}-V_u} V_u = V_H = V_{dd}$$

e:

$$\Delta V = V_H - V_L \rightarrow V_L = \Delta V - V_H = 0.3 V$$

Poichè  $V_L < V_{T1}$ , l'ipotesi (\*) è soddisfatta e il punto di coordinate  $(V_L, V_H)$  cade nella regione \* in figura. È immediato verificare che il punto di coordinate  $(V_H, V_L)$  deve invece cadere nella regione \*\* in figura e soddisfa le condizioni di linearità di  $M_1$  e  $M_2$  espresse in precedenza:

$$\begin{aligned} V_u = V_L = 0.3V &< V_i - V_{T1} = V_H - V_{T1} = 2.9V \\ V_i = V_L = 3V &> V_{dd} - |V_{T2}| = 2.8V \end{aligned}$$

In queste condizioni:

$$\left. \begin{array}{l} I_{D1} = \beta_1 \left( (V_H - V_{T1})V_L - \frac{V_L^2}{2} \right) = 2.0625 \text{ mA} \\ I_{D2} = \beta_2 \left( (V_H - V_L - V_{T2})(V_{dd} - V_L) - \frac{(V_{dd} - V_L)^2}{2} \right) = 1.53 \text{ mA} \\ I_R = \frac{V_{dd} - V_L}{R} \\ I_{D1} = I_{D2} + I_R \end{array} \right\} \rightarrow R = \frac{V_{dd} - V_L}{I_{D1} - I_{D2}} = 5633.8 \Omega$$

La tensione di soglia logica del circuito è il valore per il quale  $V_i = V_u = V_{TL}$ . Il punto di coordinate  $(V_{TL}, V_{TL})$  si trova quindi sulla diagonale del primo quadrante del piano cartesiano  $(V_i, V_u)$ . Ipotizziamo che tale punto cada nella regione \*\*\* in figura, si ha:

$$\left. \begin{array}{l} M_1 \text{ sat} \rightarrow I_{D1} = \frac{\beta_1}{2} (V_{TL} - V_{T1})^2 \\ M_2 \text{ sat} \rightarrow I_{D2} = \frac{\beta_2}{2} (V_{TL} - V_{T1} - V_{T2})^2 \\ I_R = \frac{V_{dd} - V_{TL}}{R} \\ I_{D1} = I_{D2} + I_R \end{array} \right\} \rightarrow \begin{cases} V_{TL} = -0.32 V \\ V_{TL} = 0.978 V \end{cases}$$

La soluzione  $V_{TL} = -0.32 V$  è inaccettabile ( $V_{GS1} = V_i = V_{TL} < V_{T1}$ ), mentre la soluzione  $V_{TL} = 0.978 V$  soddisfa le ipotesi di saturazione di entrambi i transistori:

$$\begin{aligned} V_u = V_{TL} = 0.978V &> V_i - V_{T1} = V_{TL} - V_{T1} = 0.578V \\ V_i = V_{TL} = 0.978V &< V_{dd} - |V_{T2}| = 2.8V \end{aligned}$$

