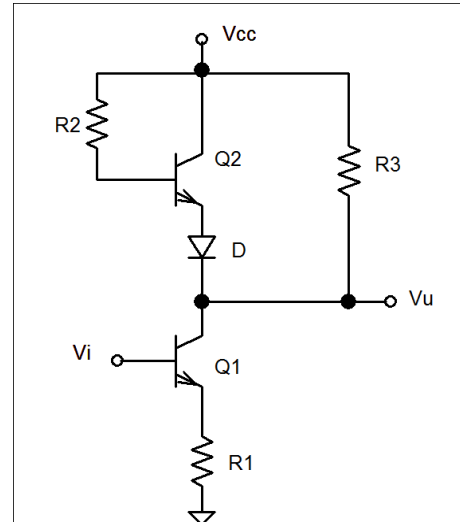


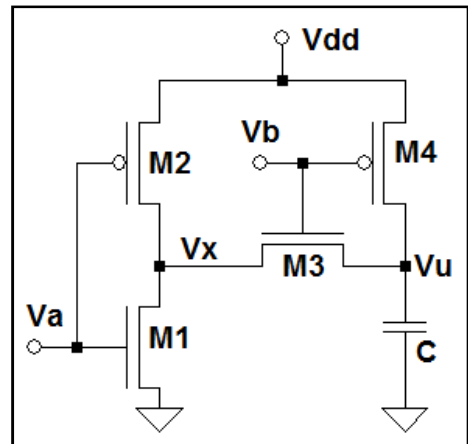
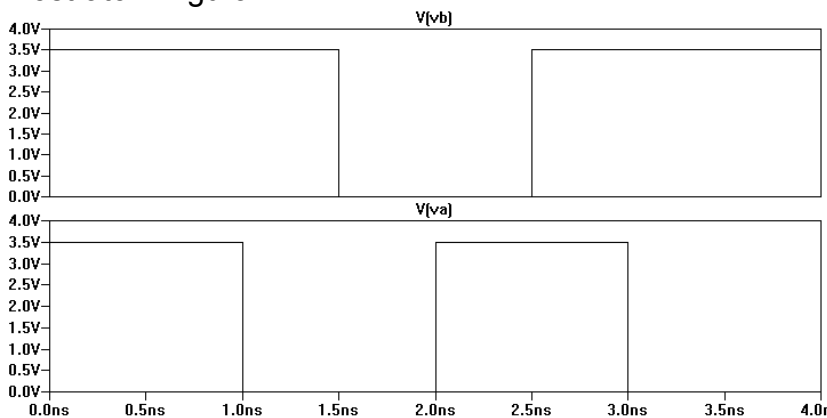
PROVA SCRITTA DI FONDAMENTI DI ELETTRONICA A
10 GIUGNO 2010

1) Nel circuito in figura, il diodo e i transistori bipolari 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 della rete.

$V_{CC} = 5.0 \text{ V}$, $\beta_F = 100$, $R_1 = 750 \Omega$, $R_2 = 5 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 1 \text{ k}\Omega$.



2) Nel circuito in figura, i transistori MOS sono caratterizzati dalle tensioni di soglia $V_{Tn} = -V_{Tp} = V_T$ e dai coefficienti $\beta_n = \beta_p$. I segnali di ingresso V_a e V_b abbiano l'andamento mostrato in figura.



Si determini il corrispondente andamento di V_u e si calcoli il tempo di propagazione $T_{p,HL}$.

$V_{dd} = 3.3 \text{ V}$, $V_T = 0.4 \text{ V}$, $\beta_n = \beta_p = 1 \text{ mA/V}^2$, $C = 50 \text{ fF}$.

10/6/2010 - Soluzione esercizio 1

Osservazione preliminare: Q2 quando on sempre in AD; inoltre Q2 e D sono o entrambi on o entrambi off.

Regione 1: $v_i < v_{\gamma}$. Q1 OFF e Q2 e D OFF. Allora $v_u = v_{cc}$.

Regione 2: $v_i > v_{\gamma}$. Suppongo Q1 ON in AD, Q2 e D OFF (da verificare validità dell'ipotesi).

$i_{r3} = (v_{cc} - v_u) / r_3$ $i_{c1} = \beta f / (\beta f + 1) * (v_i - v_{\gamma}) / r_1$ Ma $i_{r3} = i_{c1}$ Risolvendo si trova che: $v_u = 5.990 - 1.320 v_i$	Vediamo per quali valori la serie Q2 e D è off. La serie Q2 e D è off fintantoché $v_{cc} - v_u < 2 v_{\gamma}$, ovvero fintantoché $v_i < 1.886 V$. Quindi si rimane in questa regione fintantoché o A) Q1 va SAT, oppure B) la serie Q2 e D va ON
A) Q1 andrà sat quando $v_{ce}(Q1) = v_u - (v_i - v_{\gamma}) = v_{cesat}$, quindi sse $5.990 - 1.320 v_i - (v_i - v_{\gamma}) = v_{cesat}$, da cui si ricava $v_i = 2.819 V$	B) Il valore per il quale la serie Q2 e D rimane off è già stato calcolato sopra, e vale $v_i < 1.886 V$. Quindi si accende prima la serie Q2, D.
Si rimane in regione 2 per $v_{\gamma} < v_i < 1.886 V$.	

Regione 3: Q1 AD, Q2 AD e D on.

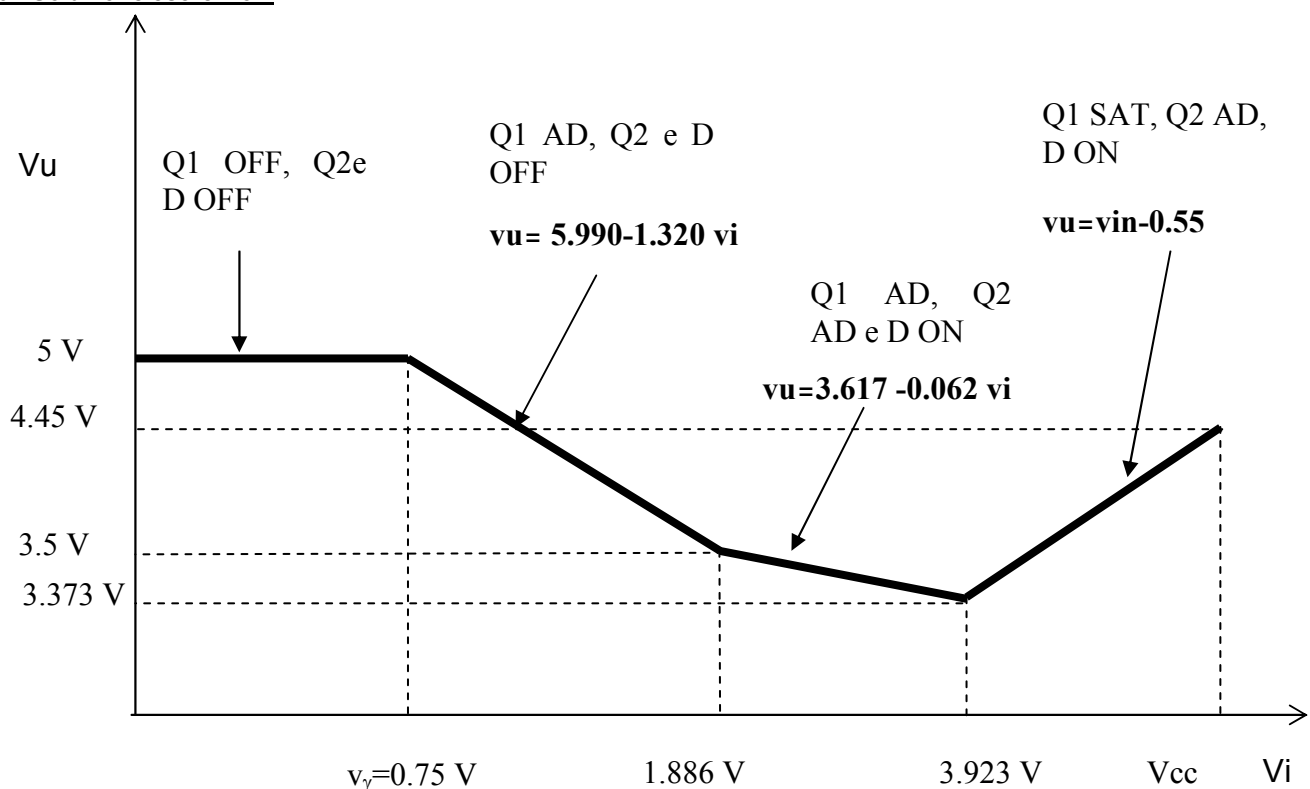
$i_{r3} = (v_{cc} - v_u) / r_3$ $i_{c1} = \beta f / (\beta f + 1) * (v_i - v_{\gamma}) / r_1$ $i_{b2} = (v_{cc} - v_u - 2 v_{\gamma}) / r_2$ $i_{e2} = (\beta f + 1) * i_{b2}$ Ma $i_{r3} + i_{e2} = i_{c1}$ Risolvendo si trova che: $v_u = 3.617 - 0.062 v_i$ Si rimane in questa regione fintantoché Q1 va SAT.	Calcoliamo il valore per il quale Q1 va sat: $i_{r3} = (v_{cc} - v_u) / r_3$ $v_u = v_i - v_{\gamma} + v_{cesat}$ $i_{c1} = \beta f / (\beta f + 1) * (v_i - v_{\gamma}) / r_1$ $i_{b2} = (v_{cc} - v_u - 2 v_{\gamma}) / r_2$ $i_{e2} = (\beta f + 1) * i_{b2}$ Ma $i_{r3} + i_{e2} = i_{c1}$ Da cui si ricava $v_i = 3.923 V$.
Si rimane in regione 3 per $1.886 V < v_i < 3.923 V$	

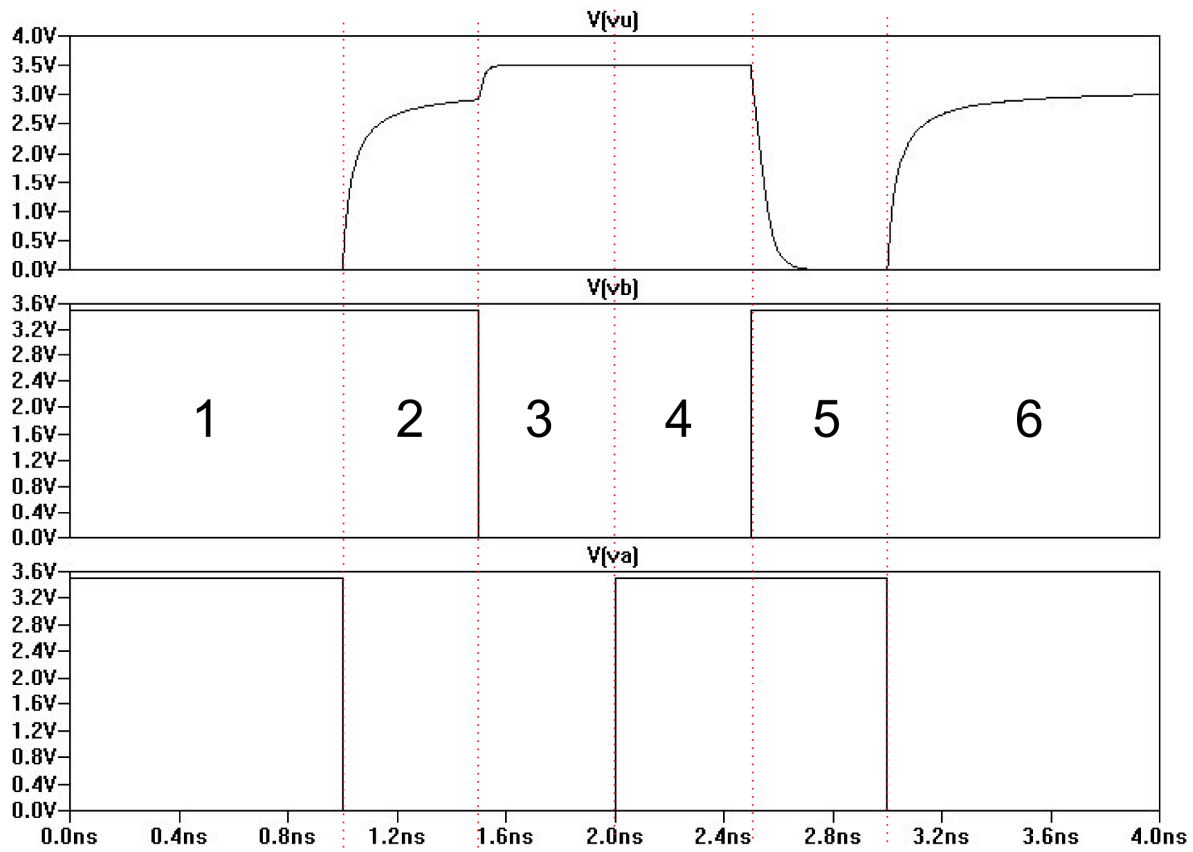
Regione 4: Q1 SAT, Q2 AD, D ON. $v_u = v_i - v_{\gamma} + v_{cesat} = v_i - 0.55 V$.

Si rimane in regione 4 per $3.923 V < v_i < V_{cc}$.

Di seguito si riporta la caratteristica statica di trasferimento.

10/6/2010 - Soluzione esercizio 1





Con riferimento alla figura soprastante:

- 1) $t < 1\text{ns}$: $V_a = V_b = V_{dd}$, M_1 on, M_2 off, M_3 on, M_4 off $\rightarrow V_x = 0, V_u = 0$
- 2) $1\text{ns} < t < 1.5\text{ns}$: $V_a = 0, V_b = V_{dd}$, M_1 off, M_2 on, M_3 on, M_4 off $\rightarrow V_x = V_{dd}, V_u = V_{dd} - V_T$
Il nodo V_u si carica attraverso un pull-up nMOS (escursione limitata a $V_{dd} - V_T$)
- 3) $1.5\text{ns} < t < 2\text{ns}$: $V_a = 0, V_b = 0$, M_1 off, M_2 on, M_3 off, M_4 on $\rightarrow V_x = V_{dd}, V_u = V_{dd}$
Il nodo V_u si carica attraverso un pull-up pMOS (escursione completa a V_{dd})
- 4) $2\text{ns} < t < 2.5\text{ns}$: $V_a = V_{dd}, V_b = 0$, M_1 on, M_2 off, M_3 off, M_4 on $\rightarrow V_x = 0, V_u = V_{dd}$
- 5) $2.5\text{ns} < t < 3\text{ns}$: $V_a = V_b = V_{dd}$, M_1 on, M_2 off, M_3 on, M_4 off $\rightarrow V_x = 0, V_u = 0$
Come (1)
- 6) $3\text{ns} < t < 4\text{ns}$: $V_a = 0, V_b = V_{dd}$, M_1 off, M_2 on, M_3 on, M_4 off $\rightarrow V_x = V_{dd}, V_u = V_{dd} - V_T$
Come(2)

L'unico transitorio di discesa dell'uscita si compie a 2.5ns , nella transizione fra (4) e (5). Il condensatore C , inizialmente carico con $V_u = V_{dd}$, si scarica attraverso M_1 e M_2 in serie, equivalenti a un unico transistoro con $\beta_{eq} = \frac{\beta_n}{2}$. Per calcolare il tempo di propagazione $t_{p,HL}$ è quindi possibile utilizzare la relazione generale:

$$t_{p,HL} = \frac{2C}{\beta_{eq}} \left\{ \frac{V_T}{(V_{DD} - V_T)^2} + \frac{1}{2(V_{DD} - V_T)} \ln \left(3 - 4 \frac{V_T}{V_{DD}} \right) \right\}$$

che, con i valori assegnati, porta a:

$$t_{p,HL} = 41.3 \text{ ps}$$