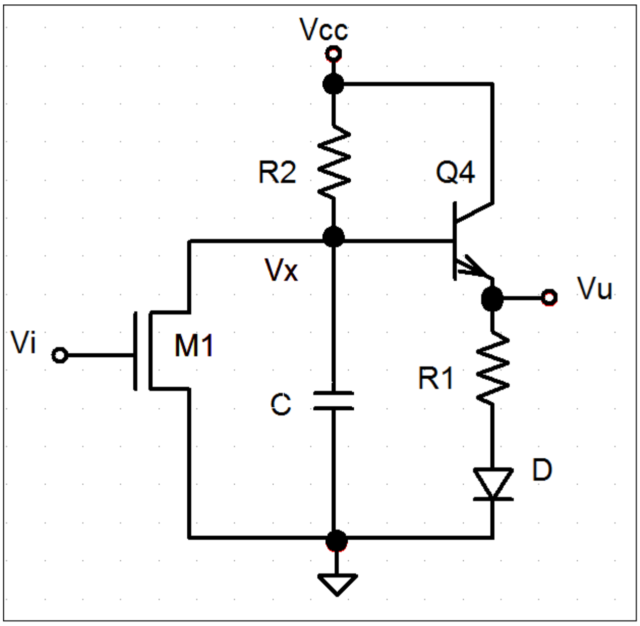
PROVA SCRITTA DI ELETTRONICA 1
23 FEBBRAIO 2017

1) Nel circuito in figura, il transistore bipolare può essere descritto da un modello "a soglia", con $V_\gamma$=0.75 V e $V_{CE,sat}$=0.2 V, mentre il transistore MOS è caratterizzato dalla tensione di soglia $V_{Tn}$ e dal coefficiente $\beta_n$. Il segnale d'ingresso abbia il seguente andamento:

t<0: $V_i$= Vcc

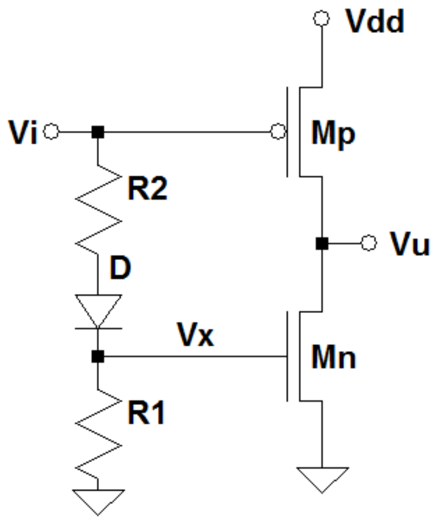
t>0: $V_i$= 0




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

$V_{cc}$ = 5 V, $\beta_F$=100, $V_{Tn}$ = 0.35 V, $\beta_n$ = 5 mA/V$^2$, $R_1$ = 5 kΩ, $R_2$ = 25 kΩ, C=1 pF.

2) Nel circuito in figura, i transistori MOS sono caratterizzati dalla tensione di soglia $V_{Tn}$=|$V_{Tp}$|=$V_T$ e dai coefficienti $\beta_n$ e $\beta_p$, mentre il diodo D può essere descritto da un modello a soglia, con $V_\gamma$=0.75.
Si calcoli il margine di immunità ai disturbi della rete.




$V_{dd}$ = 3.3 V, $\beta_n$=1.2 mA/V$^2$, $\beta_p$=0.8 mA/V$^2$, $V_T$ = 0.4 V, $R_1$ = 2.5 kΩ, $R_2$ = 1.5 kΩ.

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

Soluzione Esercizio #1 - Compito del 23-02-2017

Osservazioni preliminari: Q1 quando ON è in AD, inoltre Q1 e D devono essere contemporaneamente OFF o ON.

1)t<0, vi=Vcc, allora M1 ON e LIN (da verificare). Suppongo Q1 off e D off (da verificare).

| | |
|---|---|
| ir2=(vcc-vx)/r2<br>id1=βn*((vcc-vtn)*vx-0.5*vx^2)<br><br>Ma ir2=id1 | Risolvendo si ricavano i seguenti valori:<br>vx=0.0086 V, vx=9.3074 V.<br>La soluzione accettabile è vx =**0.0086 V**, che soddisfa la Hp di spegnimento di Q1 e D, e di linearità di M1 (vcc>vx+vtn=0.3586 V). Allora Vu = 0V |

2) Per t -> ∞, vi=0, quindi M1 OFF. Suppongo Q1 on in AD, e D on (da verificare).

| | |
|---|---|
| In queste condizioni vx = vu+$v_\gamma$<br><br>ir2=(vcc-( vu+$v_\gamma$))/r2<br>ie2=(vu - $v_\gamma$)/r1<br><br>Ma ir2*($\beta_f$+1)=ie2 | Risolvendo si ricava:<br>**vu=4.085 V**, che soddisfa la Hp fatte.<br>La vx corrispondente vale vx = vu+ $v_\gamma$=4.835 V < Vcc. |

Il ritardo di propagazione è il tempo necessario al segnale d'uscita vu per compiere l'escursione 0V -> (0+**4.085**)/2 V=2.0425 V, con vi=0.

3) t=0+, vi=0, la tensione ai capi del condensatore non cambia rispetto all'istante t=0-, ovvero vx(0+)=vx(0-)=0.0086 V.

A) Inizialmente Q1 e D sono entrambi OFF, e tali rimangono fintantoché vx non raggiunge il valore 2vg. Durante questo intervallo vu = 0 V, ma anche questo intervallo temporale va conteggiato nel calcolo del ritardo di propagazione.

B) Per vx> 2$v_\gamma$, Q1 e D vanno on, e vu = vx-$v_\gamma$

Il calcolo del transitorio andrà quindi diviso in due parti.

| | |
|---|---|
| A) Conviene ragionare in termini di vx, che cresce da vx(0-)=0.0086 V a vx=2$v_\gamma$=1.5 V<br><br>ir2=(vcc-vx)/r2<br>icap=Cdvx/dt<br><br>Ma icap=ir2<br>$tp_{,LH1}=\int_{0.0086}^{1.5} \frac{Cdvx}{ir2}$=8.874 ns | B) Dal momento in cui Q1 e D vanno on, allora vx=vu+ $v_\gamma$. vu: 0 -> 2.0425 V<br><br>ir2=(vcc-( vu+ $v_\gamma$))/r2<br>ib2=(vu- $v_\gamma$)/r1/(βf+1)<br>icap= C dvx/dt=C d(vu+ $v_\gamma$)/dt=Cdvu/dt<br><br>Ma icap=ir2-ib2<br>$tp_{,LH2}=\int_{0}^{2.0425} \frac{Cdvu}{ir2-ib2}$=13.2 ns |

**$t_{p,LH}$= $t_{p,LH1}$+ $t_{p,LH2}$=22.074 ns.**

### 23.2.2017 – Esercizio 2

Il circuito è simile ad un invertitore CMOS, nel quale tuttavia gli ingressi dei transistori di pull-up e pull-down non coincidono necessariamente. Infatti, se il diodo D è ON ($V_i > V_\gamma$), si ha:

$$\left.\begin{aligned} I_{R1} &= \frac{V_x}{R_1} \\ I_{R2} &= \frac{V_i - (V_x + V_\gamma)}{R_2} \end{aligned}\right\} \xrightarrow{I_{R1}=I_{R2}} V_x = \frac{R_1}{R_1 + R_2}\left(V_i - V_\gamma\right) = 0.625\left(V_i - V_\gamma\right)(*)$$

Si ha quindi:

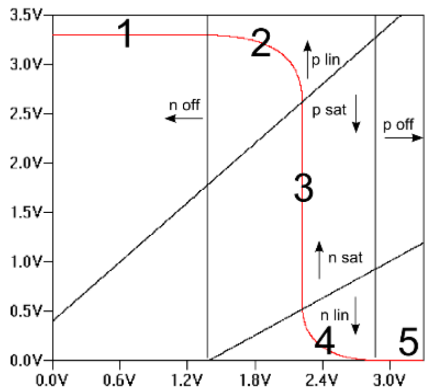
$$M_n \text{ off } \to V_{GSn} = V_x < V_T \xrightarrow{(*)} V_i < 1.39\,V$$

$$M_n \text{ sat } \to V_{GSn} = V_x < V_{DSn} + V_T = V_u + V_T \xrightarrow{(*)} V_u > 0.625\,V_i - 0.86875$$

$$M_p \text{ off } \to V_{SGp} = V_{dd} - V_i < V_T \to V_i > 2.9\,V$$

$$M_P \text{ sat } \to V_{SGp} = V_{dd} - V_i < V_{SDp} + V_T = V_{dd} - V_u + V_T \to V_u < V_i + V_T$$

Le diverse regioni di funzionamento sono quindi evidenziate nella figura a fianco, analoga a quanto ricavato per l'invertitore CMOS. Con considerazioni identiche a tale caso, risulta immediato riconoscere che i punti di interesse $(V_{iLMAX}, V_{oHmin})$ e $(V_{iHmin}, V_{oLMAX})$ cadono rispettivamente nelle regioni 2 ($M_n$ SAT, $M_p$ LIN) e 4 ($M_n$ LIN, $M_p$ SAT).




Calcolo di $(V_{iLMAX}, V_{oHmin})$, con ($M_n$ SAT, $M_p$ LIN):

$$I_{Dn,sat} = \frac{\beta_n}{2}(V_x - V_T)^2 \xrightarrow{(*)} \frac{dI_{Dn,sat}}{dV_i} = 0.625\,\beta_n\left(0.625\left(V_i - V_\gamma\right) - V_T\right)$$

$$I_{Dp,lin} = \beta_p\left((V_{dd} - V_i - V_T)(V_{dd} - V_u) - \frac{(V_{dd} - V_u)^2}{2}\right) \xrightarrow{\frac{dV_u}{dV_i}=-1} \frac{dI_{Dp,lin}}{dV_i} = \beta_p(2V_u - V_{dd} - V_i - V_T)$$

$$\left.\begin{aligned} I_{Dn,sat} &= I_{Dp,lin} \\ \frac{dI_{Dn,sat}}{dV_i} &= \frac{dI_{Dp,lin}}{dV_i} \end{aligned}\right\} \to \begin{cases} V_{iLMAX} = 2.086\,V \\ V_{oHmin} = 3.099\,V \end{cases}$$

Calcolo di $(V_{iHmin}, V_{oLMAX})$, con ($M_n$ LIN, $M_p$ SAT):

$$I_{Dn,lin} = \beta_n\left((V_x - V_T)V_u - \frac{{V_u}^2}{2}\right) \xrightarrow{(*),\frac{dV_u}{dV_i}=-1} \frac{dI_{Dn,lin}}{dV_i} = \beta_n\left(1.625V_u - \left(0.625\left(V_i - V_\gamma\right) - V_T\right)\right)$$

$$I_{Dp,sat} = \frac{\beta_p}{2}(V_{dd} - V_i - V_T)^2 \to \frac{dI_{Dp,sat}}{dV_i} = \beta_p(V_i + V_T - V_{dd})$$

$$\left.\begin{aligned} I_{Dn,lin} &= I_{Dp,sat} \\ \frac{dI_{Dn,lin}}{dV_i} &= \frac{dI_{Dp,sat}}{dV_i} \end{aligned}\right\} \to \begin{cases} V_{iHmin} = 2.381\,V \\ V_{oLMAX} = 0.168\,V \end{cases}$$

Da cui di ricavano i margini:

$$\left.\begin{aligned} N_{ML} &= V_{iLMAX} - V_{oLMAX} = 1.921\,V \\ N_{MH} &= V_{oHmin} - V_{iHmin} = 0.718\,V \end{aligned}\right\} \to N_M = min\{N_{ML}, N_{MH}\} = 0.718\,V$$