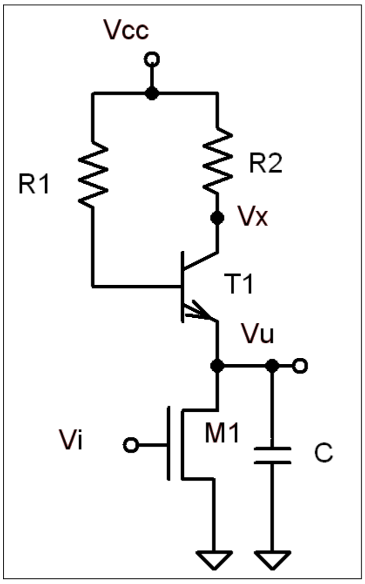
PROVA SCRITTA DI ELETTRONICA 1

10 SETTEMBRE 2015

1) Nel circuito in figura, il transistore MOS è caratterizzato dalla tensione di soglia V_T e dal coefficiente β_n. Il transistore BJT può essere descritto da un modello "a soglia", con V_γ=0.75 V, $V_{CE,sat}$=0.2V e β_f=100. Il segnale d'ingresso abbia il seguente andamento:



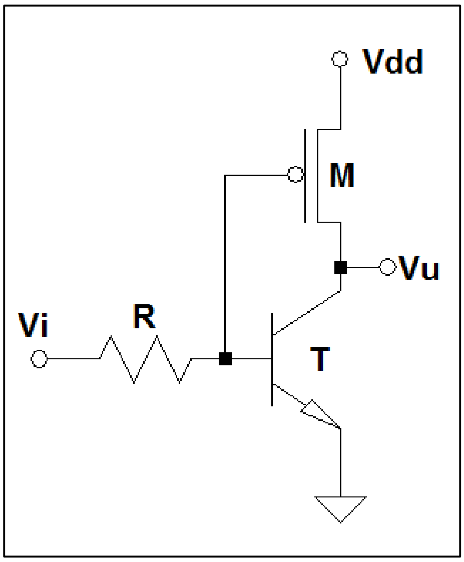
t<0: V_i= Vcc

t>0: V_i= 0

Si calcoli il ritardo di propagazione t_{pLH} del circuito (definito come il tempo necessario a V_u per compiere il 50% della propria escursione).

V_{cc} = 5 V, β_n = 5 mA/V^2, V_T = 0.5 V, R1 = 2.5 kΩ, R2 = 1 kΩ, C=15 nF.

2) Nel circuito in figura, il transistore pMOS è caratterizzato dal coefficiente β_p e dalla tensione di soglia V_{Tp}<0, con $|V_{Tp}|=V_T$. Il transistore bipolare è invece descritto da un modello a soglia, con V_γ=0.75 V, $V_{CE,sat}$=0.2 V e β_F=100.
Si determinino il valore della tensione di soglia logica V_{TL} e della potenza statica massima dissipata dal circuito.



V_{dd} = 3.5 V, V_T = 0.4 V, β_p = 1.6 mA/V^2, R = 25 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

10.9.2015 – Esercizio 1

1) Per t<0, Vi=Vdd, allora M1 è on e così il transistore T1. Suppongo M1 lin, sse vu<vdd-vt=3 V, e suppongo T1 sat, Hp entrambe da verificare.

id1lin = βn*((vdd - vt)*vu - 0.5*vu^2)
ib1 = (vcc - vu - vγ)/r1
ic1 = (vcc - vu - vcesat)/r2
Ma ib1 + ic1 = ie1 = id1lin
Risolvendo si trovano i seguenti due valori per vu: vu= 0.28 V oppure vu=9.27 V.
La soluzione accettabile è allora la prima,

vu=0.28 V, che verifica entrambe le hp fatte:

1) Vu<Vcc-Vt=4.5 V (hp M1 lin)
2) hp T1 sat:

- per vu = 0.28 V:
- βf*ib1=(vcc – vu-vγ)/r1*βf=0.159 A
- ic1 = (vcc - vu - vcesat)/r2= 0.00452 A
  e ic1< βf*ib1 è verificata.

2) Per t->∞ vi =0, quindi M1 è off, mentre T1 è off sulla soglia, per cui Vu(∞)=vcc-vγ=4.25 V.

Il segnale d'uscita varia da vu(0+)=0.28 V a vu(∞)=4.25 V. Il tp_{LH} è il tempo che il segnale d'uscita impiega per compiere il 50 % della sua escursione, quindi per passare da vu_{iniz}=0.28 V a vu_{final}=2.265 V.
Durante questo transitorio T1 potrebbe cambiare regione di funzionamento. Verifico fino a quale valori di vu T1 rimane sat.

ib1=(vcc-vu-vγ)/r1
ic1=(vcc-vu-vcesat)/r2

T1 rimane sat fintantoché:
ic1<βf*ib1
Ovvero fintantoché vu<4.235 V.

T è quindi saturo durante tutto l'intervallo da t=0 a t=tp_{LH}.

3) Calcolo di tp_{LH}: <u>Per 0.28 V<vu< 2.265 V</u>

ib1=(vcc-vu-vγ)/r1
ic1=(vcc-vu-vcesat)/r2
icap=Cdvu/dt

ma icap=ie1=ic1+ib1
$t_{pLH}=\int_{0.28}^{2.265}\frac{C}{iic1+ib1} = 6.503\ \mu s$;

10.9.2015 – Esercizio 2

Il circuito è un invertitore, la cui rete di pull-down è costituita dal transistore bipolare e la rete di pull-up è costituita dal transistore pMOS. Per quest'ultimo, si osserva :

$$V_{SGp} = V_{dd} - V_{BE} \quad (a)$$
$$V_{SDp} = V_{dd} - V_u \quad (b)$$

e quindi:

$$M_p \text{ OFF}: V_{dd} - V_{BE} < V_T \quad (c)$$
$$M_p \text{ LIN}: V_{dd} - V_{BE} > V_{dd} - V_u + V_T \rightarrow V_u > V_{BE} + V_T \quad (d)$$

Per T off, si ha:

$$\left.\begin{array}{c} \left.\begin{array}{c} I_B = 0 \\ I_R = I_B + I_{Gp} \\ I_{Gp} = 0 \end{array}\right\} \rightarrow I_R = 0 \\ I_R = \dfrac{V_i - V_{BE}}{R} \\ V_{BE} < V_\gamma \end{array}\right\} \rightarrow V_i < V_\gamma$$

e quindi :

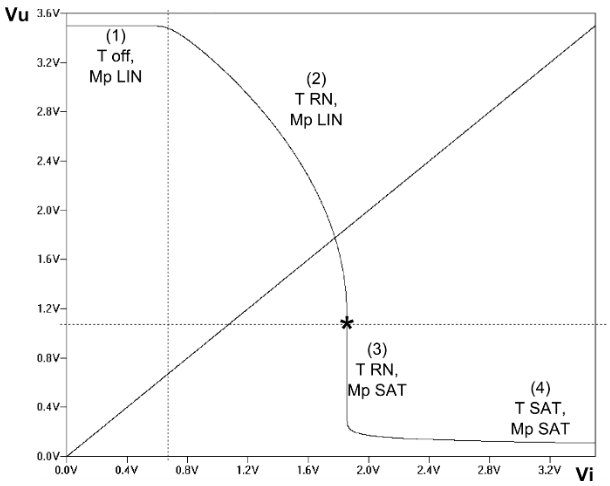
$$\left.\begin{array}{c} V_{SGp} = V_{dd} - V_{BE} > V_{dd} - V_\gamma > V_T \xrightarrow{(c)} M_p \text{ ON} \\ I_{Dp} = I_C = 0 \end{array}\right\} \xrightarrow{HP: M_pLIN} V_{SDp} = 0 \xrightarrow{(b)} V_u = V_{DD} \xrightarrow{(d)} HP\ OK\ (tratto\ 1)(e)$$

Per T on:

$$V_{BE} = V_\gamma \xrightarrow{(a)} V_{SGp} = V_{dd} - V_\gamma = 3.1\,V > V_T \xrightarrow{(c)} M_p \text{ ON} \xrightarrow{(d)} \begin{cases} V_u > V_\gamma + V_T = 1.15V : M_p \text{ LIN} \quad (f) \\ V_u < V_\gamma + V_T = 1.15V : M_p \text{ SAT} \quad (g) \end{cases}$$

Infine :

$$V_{CE} = V_u \rightarrow \begin{cases} T\ RN: V_u > V_{CE,sat} \\ T\ SAT: V_u = V_{CE,sat} \end{cases}$$



Le regioni di funzionamento sono quindi illustrate in figura. Nel tratto 3 si ha:

$$\left.\begin{array}{r} T\ RN \rightarrow I_C = \beta_F I_B = \beta_F \dfrac{V_i - V_\gamma}{R} \\ M_p \text{ SAT} \rightarrow I_{Dp} = \dfrac{\beta_p}{2}\left(V_{dd} - V_\gamma - V_T\right)^2 \end{array}\right\} \xrightarrow{I_{Dp}=I_C} V_i = 1.85\,V$$

In questa regione, la caratteristica assume quindi un andamento verticale.
I valori nominali rimangono quindi facilmente determinati (intersecando la caratteristica con la sua simmetrica rispetto alla diagonale): $V_H = V_{DD}, V_L = V_{CE,sat}$.
La tensione di soglia logica V_{TL} è definita come il valore della tensione di ingresso tale da causare un identico valore in uscita e può essere quindi calcolata intersecando la caratteristica statica con la diagonale ($V_i = V_u$). Il punto (*) ha coordinate ($V_i = 1.85\,V, V_u = 1.15\,V$) e giace quindi necessariamente al di sotto della diagonale. L'intersezione cercata interessa quindi il tratto di caratteristica 2:

$$\left.\begin{array}{r} T\ RN \rightarrow I_C = \beta_F I_B = \beta_F \frac{V_i - V_\gamma}{R} \\ M_p \text{ LIN} \rightarrow I_{Dp} = \beta_p\left(\left(V_{dd} - V_\gamma - V_T\right)(V_{DD} - V_u) - \frac{(V_{DD} - V_u)^2}{2}\right) \end{array}\right\} \xrightarrow{I_{Dp}=I_C,\ V_i = V_u = V_{TL}} \boldsymbol{V_{TL} = 1.77\,V}$$

(scartando una soluzione negativa, priva di significato fisico).

Nelle due condizioni statiche:

$$V_i = V_L = V_{CE,sat} < V_\gamma \xrightarrow{(e)} T\ OFF \rightarrow I_{Dp} = I_C = 0 \rightarrow P = V_{DD}\, I_{Dp} = 0$$
$$V_i = V_H = V_{DD} \rightarrow V_u = V_{CE,sat} \xrightarrow{(g)} M_p \text{ SAT} \rightarrow I_{Dp} = I_{Dp} = \frac{\beta_p}{2}\left(V_{dd} - V_\gamma - V_T\right)^2 \rightarrow P = V_{DD}\, I_{Dp} = 15.5\,mW$$

La massima potenza statica dissipata vale quindi: $\boldsymbol{P_{MAX} = 15.5\,mW}$