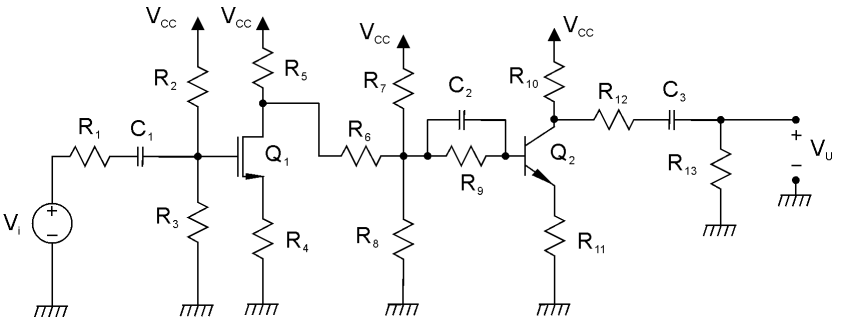
ELETTRONICA DIGITALE

Corso di Laurea in Ingegneria Informatica

Prova scritta del 12 gennaio 2017

Esercizio A

R_1 = 100 Ω	R_{10} = 3 kΩ
R_2 = 100 kΩ	R_{11} = 3.5 kΩ
R_4 = 500 Ω	R_{12} = 50 Ω
R_5 = 4 kΩ	R_{13} = 50 kΩ
R_6 = 2 kΩ	C_1 = 1 nF
R_7 = 35 kΩ	C_2 = 500 nF
R_8 = 10 kΩ	C_3= 4.7 nF
R_9 = 29 kΩ	V_{CC} = 18 V



Q_1 è un transistore MOS a canale n resistivo, con la corrente di drain in saturazione data da $I_D=k(V_{GS}-V_T)^2$ con k = 0.5 mA/V^2 e V_T = 1 V; Q_2è un transistore BJT BC109B resistivo con h_{re} = h_{oe}= 0.
Con riferimento al circuito in figura:

1) Calcolare il valore della resistenza R_3 in modo che, in condizioni di riposo, la tensione sul collettore di Q_2 sia 12 V. Determinare, inoltre, il punto di riposo dei due transistori e verificare la saturazione di Q_1. (R: R_3 = 26393 Ω)
2) Determinare l'espressione e il valore di V_U/Vi alle frequenze per le quali C_1, C_2, e C_3 possono essere considerati dei corto circuiti. (R: V_U/Vi = 1.74)
3) (**Solo per 12 CFU**) Determinare la funzione di trasferimento V_U/V_i e tracciarne il diagramma di Bode quotato asintotico del modulo. (R: f_{z1}=0 Hz; f_{p1}=7585 Hz; f_{z2}=10.97 Hz; f_{p2}=11.27 Hz; f_{z3}= 0 Hz; f_{p3}=638 Hz;)

Esercizio B

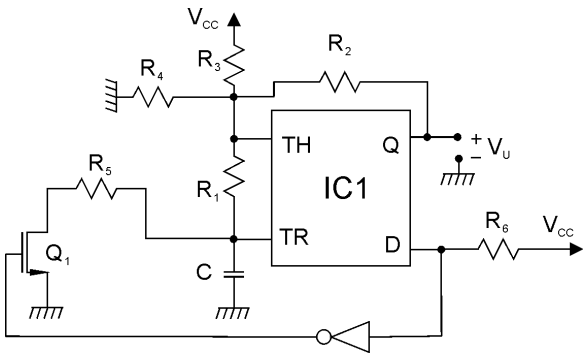
Progettare una porta logica in tecnologia CMOS, utilizzando la tecnica della pull-up network e della pull-down network, che implementi la funzione logica:

$$Y = \overline{\overline{A}D}\left(\overline{B}C+\overline{C}E\right)+\overline{(C+D)}\left(\overline{B}+\overline{E}\right)+AC\left(B+E\right)$$

Determinare il numero dei transistori necessari e disegnarne lo schema completo. Dimensionare inoltre il rapporto (W/L) di tutti i transistori, assumendo, per l'inverter di base, W/L pari a 2 per il MOS a canale *n* e pari a 5 per quello a canale *p*. Si specifichino i dettagli della procedura di dimensionamento dei transistori.

Esercizio C

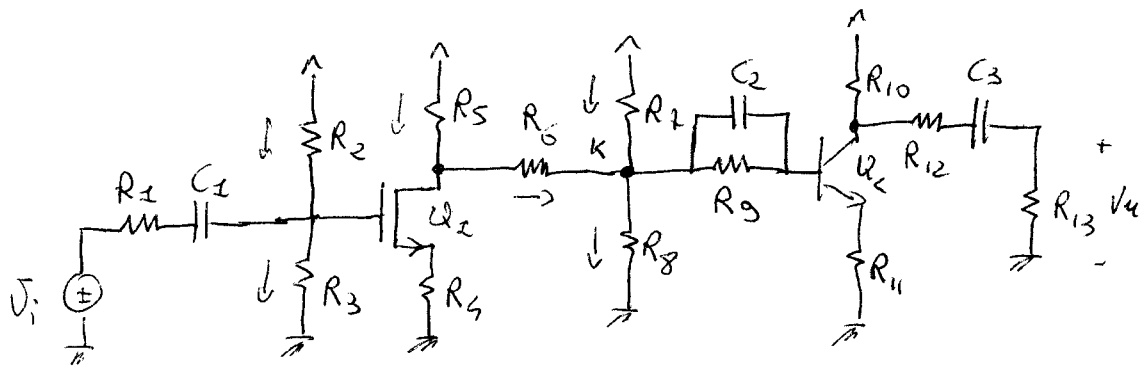
R_1 =400 Ω	R_5 = 600 Ω
R_2 = 1 kΩ	R_6 = 2 kΩ
R_3 = 1 kΩ	C = 470 nF
R_4 = 2.5 kΩ	V_{CC} = 6 V



Il circuito IC_1 è un NE555 alimentato a V_{CC} = 6 V; Q_1 ha una R_{on} = 0 e V_T = 1V; l'inverter è ideale. Determinare la frequenza del segnale di uscita del multivibratore in figura. (R: f = 3516 Hz)

APPELLO 12/01/2017

ESERCIZIO A



$R_1 = 100\ \Omega$
$R_2 = 100\ k\Omega$
$R_4 = 500\ \Omega$
$R_5 = 4\ k\Omega$
$R_6 = 2\ k\Omega$
$R_7 = 35\ k\Omega$
$R_8 = 10\ k\Omega$
$R_9 = 29\ k\Omega$
$R_{10} = 3\ k\Omega$
$R_{11} = 3.5\ k\Omega$
$R_{12} = 50\ \Omega$
$R_{13} = 50\ k\Omega$
$C_1 = 1\ nF$
$C_2 = 500\ nF$
$C_3 = 4.7\ nF$
$V_{CC} = 18\ V$
$K = 0.5\ mA/V^2$

1) Det. R_3 per $V_C = 12\ V$

$$I_{10} = \frac{V_{CC} - V_C}{R_{10}} = \frac{18-12}{3000} = 2\ mA$$

hp: $I_B \ll I_C \Rightarrow i_E \simeq i_C$

$V_E = R_{13}\, i_E = 7\ V$

$V_{CE} = V_C - V_E = 5\ V$

$\Rightarrow$ Siamo nel pt di lavoro $I_C = 2\ mA$ $V_{CE} = 5\ V$

$\Rightarrow h_{FE} = 290$ $h_{ie} = 4800\ \Omega$ $h_{fe} = 300$

$$I_B = \frac{I_C}{h_{FE}} = 6.896\ \mu A \quad (\ll I_C \Rightarrow \text{hp verificata})$$

Q_2: $I_C = 2\ mA$, $V_{CE} = 5\ V$, $I_B = 6.896\ \mu A$, $h_{ie} = 4800\ \Omega$, $h_{fe} = 300$

$V_B = V_E + V_\gamma = 7.7\ V$

$V_K = V_B + R_9 I_B = 7.9\ V$

$$I_7 = \frac{V_{CC} - V_K}{R_7} = 288.57\ \mu A$$

$$I_8 = \frac{V_K}{R_8} = 790\ \mu A$$

$I_6 = I_8 + I_B - I_7 = 508.32\ \mu A$

$V_D = V_K + R_6 I_6 = 8.9166\ V$

$$I_5 = \frac{V_{CC} - V_D}{R_5} = 2.271\ mA$$

$I_D = I_5 - I_6 = 1.7625\ mA$

hp: SAT.

$$V_{GS} = V_T + \sqrt{\frac{I_D}{K}} = 2.8775\ V$$

$V_S = R_4 I_D = 0.88125$

$V_{DS} = V_D - V_S = 8.03535\ V \quad (> (V_{GS} - V_T)$ hp. verificata)

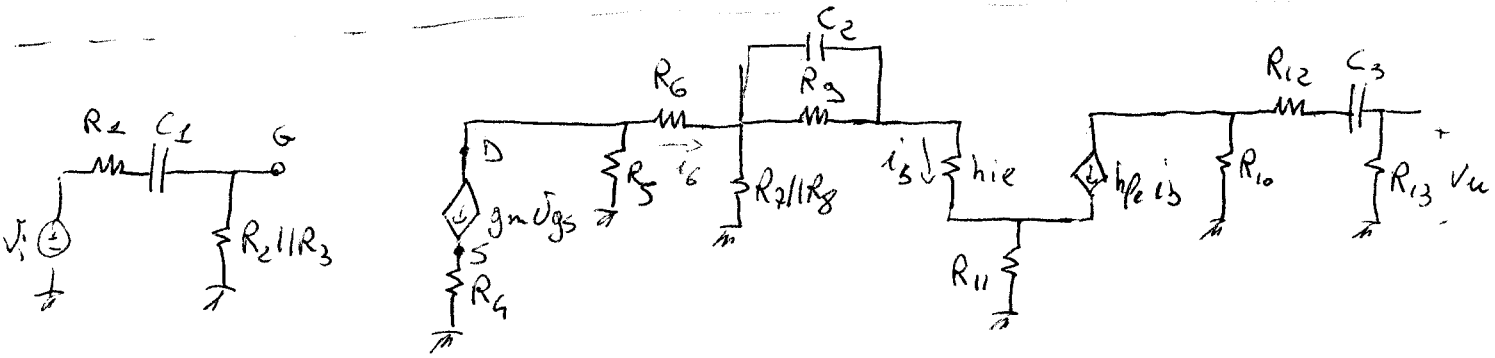
$g_m = 2K(V_{GS} - V_T) = 1.8775 \times 10^{-3}\ A/V$

Q_1: $I_D = 1.7625\ mA$, $V_{DS} = 8.03535\ V$, $V_{GS} = 2.8775\ V$, $g_m = 1.8775 \times 10^{-3}\ \frac{A}{V}$

$= V_{GS} + V_S = 3.75875\ V$

$I_2 = \frac{V_{CC} - V_G}{R_2} = 142.41\ \mu A$

$R_3 = \frac{V_G}{R_3} = 26393.4\ \Omega$



·) A_{CB}

$$V_u = (-h_{fe} i_b)\ \frac{R_{10}}{R_{10} + R_{12} + R_{13}} \cdot R_{13}$$

$$i_b = i_6\ \frac{R_7 // R_8}{(R_7 // R_8) + h_{ie} + R_{11}(h_{fe}+1)}$$

$$i_6 = (-g_m V_{gs})\ \frac{R_5}{R_5 + R_6 + R_7 // R_8 // [h_{ie} + R_{11}(h_{fe}+1)]}$$

$$V_s = (g_m V_{gs})\ R_4$$

$$V_{gs} = V_g - g_m V_{gs} R_4 = \frac{V_g}{1 + g_m R_4}$$

$$V_g = V_i\ \frac{R_2 // R_3}{R_1 + R_2 // R_3}$$

$$A_{CB} = \frac{V_u}{V_i} = (-h_{fe})\ \frac{R_{10} R_{13}}{R_{10} + R_{12} + R_{13}}\ \frac{R_7 // R_8}{(R_7 // R_8) + h_{ie} + R_{11}(h_{fe}+1)}\ (-g_m)\ \frac{R_5}{R_5 + R_6 + R_7 // R_8 // [h_{ie} + R_{11}(h_{fe}+1)]}$$

$$\cdot\ \frac{1}{1 + g_m R_4}\ \cdot\ \frac{R_2 // R_3}{R_1 + R_2 // R_3} = +1.7388 \quad (A_{CB} = 4.8\ dB)$$

(2828.52; 7.2957 x 10^-3; 0.2915; 0.5158; 0.995)

C_1: $f_{z1} = \phi$ Hz

$$f_{p1} = \frac{1}{2\pi C_1 R_{V1}} = 7585.33 \text{ Hz}$$

$$R_{V1} = R_1 + R_2 \| R_3 = 20381.9\ \Omega$$

C_2: $f_{z2} = \frac{1}{2\pi C_2 R_9} = 10.976$ Hz

$$f_{p2} = \frac{1}{2\pi C_2 R_{V2}} = 11.276 \text{ Hz}$$

$$R_{V2} = R_9 \| \left\{ (R_5 + R_6) \| R_7 \| R_8 + \left[h_{ie} + R_{11}(h_{fe}+1) \right] \right\} = 28228.9\ \Omega$$

C_3: $f_{z3} = \phi$ Hz

$$f_{p3} = \frac{1}{2\pi C_3 R_{V3}} = 638.32 \text{ Hz}$$

$$R_{V3} = R_{10} + R_{12} + R_{13} = 53050\ \Omega$$

ESERCIZIO B

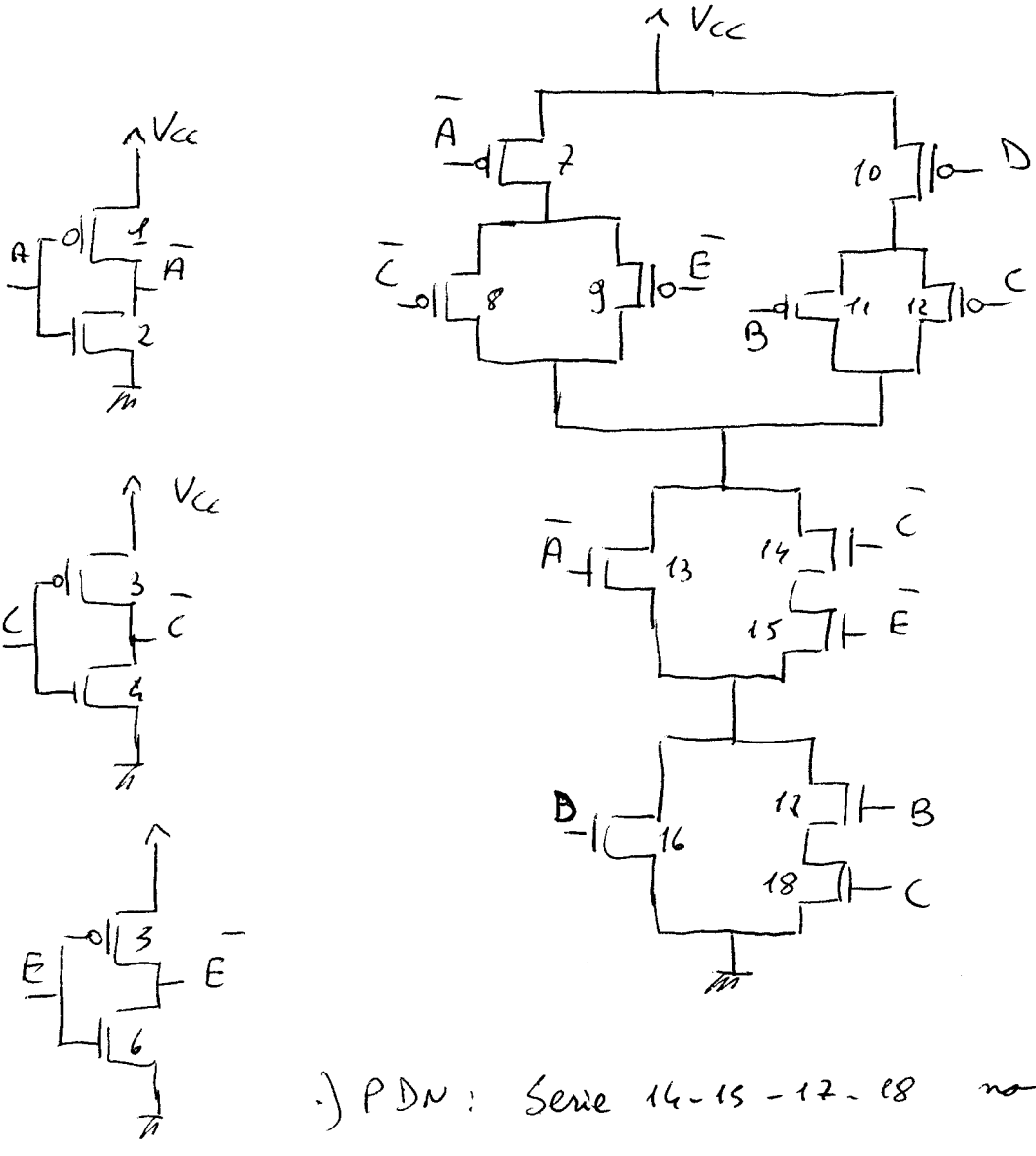
$$Y = \overline{\bar{A}D(\bar{B}C + \bar{C}E) + (\overline{C+D})(\bar{B}+\bar{E}) + AC(B+E)} =$$

$$= (A+\bar{D})(\bar{B}C + \bar{C}E) + C\bar{D}(\bar{B}+\bar{E}) + ABC + ACE =$$

$$= A\bar{B}C + A\bar{C}E + \bar{B}C\bar{D} + \bar{C}\bar{D}E + \bar{B}\bar{C}\bar{D} + \bar{C}\bar{D}\bar{E} + ABC + ACE =$$

$$= AC + AE + \bar{B}\bar{D} + \bar{C}\bar{D} =$$

$$= A(C+E) + \bar{D}(\bar{B}+\bar{C}) \qquad N_{MOS} = 18$$



$$\left(\frac{W}{L}\right)_{1,3,5} = p = 5$$

$$\left(\frac{W}{L}\right)_{2,4,6} = n = 2$$

$$\left(\frac{W}{L}\right)_{7,8,9} = 2p = 10$$

$$\frac{1}{x} + \frac{1}{x} = \frac{1}{p} \Rightarrow x = 2p$$

$$\left(\frac{W}{L}\right)_{10,11,12} = 2p = 10$$

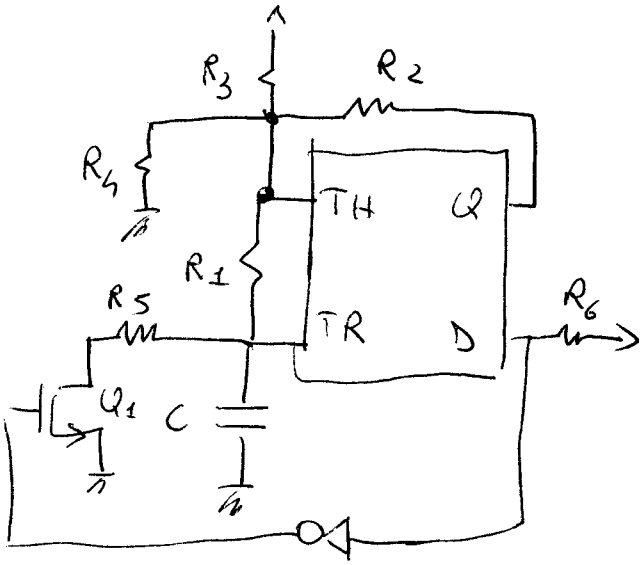
·) PDN: Serie 14 - 15 - 12 - 18 non è possibile

Serie 14 - 15 - 16 $\quad \frac{1}{x} + \frac{1}{x} + \frac{1}{x} = n \Rightarrow x = 3n = 6$

13 - 17 - 18

$$\left(\frac{W}{L}\right)_{13,14,15,16,17,18} = 3n = 6$$

ESERCIZIO C



$R_1 = 400\ \Omega$

$R_2 = 1\ k\Omega$

$R_3 = 1\ k\Omega$

$R_4 = 2.5\ k\Omega$

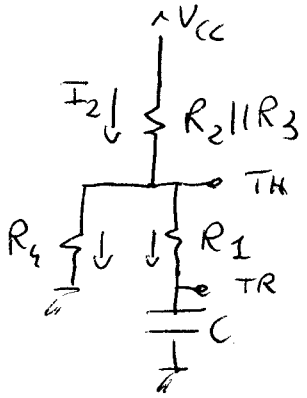
$R_5 = 600\ \Omega$

$R_6 = 2\ k\Omega$

$C = 470\ nF$

$V_{cc} = 6\ V$

1) $Q = 1$, $D = HI$ $\Rightarrow$ Q_1 OFF



$V_{i1} = \frac{1}{3} V_{cc} = 2\ V$

$V_{f1} = V_{cc} \frac{R_4}{R_4 + R_2 \| R_3} = 5\ V$

$V_{TH} = \frac{2}{3} V_{cc} = 4\ V$

$I_2 = \frac{V_{cc} - V_{TH}}{R_2 \| R_3} = 4\ mA$

$I_4 = \frac{V_{TH}}{R_4} = 1.6\ mA$

$I_1 = I_2 - I_4 = 2.4\ mA$

$V_{corr1} = V_{TH} - R_1 I_1 = 3.04\ V$

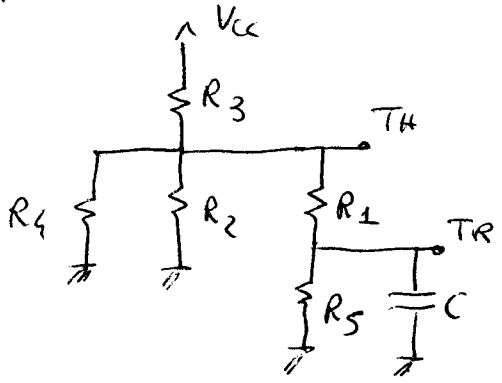
$V_{i1} < V_{corr1} < V_{f1}$

$R_{V1} = R_1 + R_2 \| R_3 \| R_4 = 816.\bar{6}\ \Omega$

$\tau_1 = C_1 R_{V1} = 3.838\bar{3} \times 10^{-4}\ s$

$T_1 = \tau_1 \ln\left(\frac{V_{i1} - V_{f1}}{V_{corr1} - V_{f1}}\right) = 1.633855 \times 10^{-4}\ s$

$Q = \phi$
$D = \phi$
$\Rightarrow Q_1$ ON



$V_{i2} = V_{cont1} = 3.04\,V$

$V_{cont2} = V_{i1} = 2\,V$

$$V_{f2} = \frac{V_{cc}\left[R_2 \| R_4 \| (R_1+R_5)\right]}{R_3 + \left[R_2 \| R_4 \| (R_1+R_5)\right]} \cdot \frac{R_5}{R_1+R_5} =$$

$$= 1.0588\,V$$

Rmas $V_{i2} > V_{cont2} > V_{f2}$

$$R_{V2} = R_5 \| \left[R_1 + R_2 \| R_3 \| R_4 \right] = 345.88\,\Omega$$

$$\tau_2 = C R_{V2} = 1.6256 \times 10^{-4}\,s$$

$$T_2 = \tau_2 \ln\left(\frac{V_i - V_f}{V_{cor} - V_f}\right) = 1.20997 \times 10^{-4}\,s$$

$$T = T_1 + T_2 = 2.8438 \times 10^{-4}\,s$$

$$f = \frac{1}{T} = 3516.387\,Hz$$