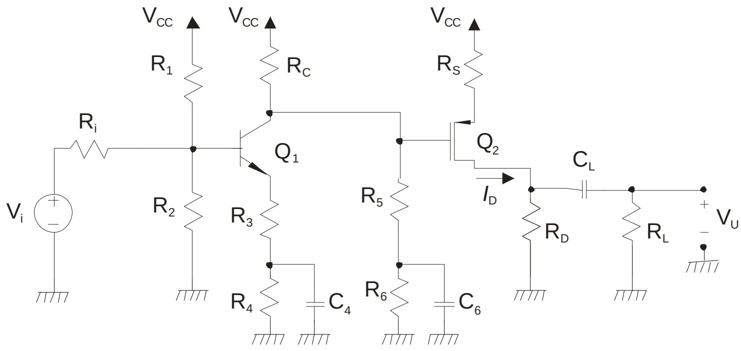
ELETTRONICA DIGITALE

Corso di Laurea in Ingegneria Informatica

Prova scritta del 25 giugno 2012

Esercizio A

R_i =3.4 kΩ	R_S = 1 kΩ
R_1 = 6.65 k Ω	R_D = 1.5 kΩ
R_C = 1.8 kΩ	R_L = 3 kΩ
R_3 = 100 Ω	C_4= 47 μF
R_4 = 400 Ω	C_6= 200 nF
R_5 = 900 Ω	C_L = 3.5 nF
R_6 = 1100 Ω	V_{CC} = 15 V



Q_1 è un transistore BJT BC109B resistivo con $h_{re} = h_{oe} = 0$. Q_2 è un transistore MOS a canale p resistivo, con la corrente di drain in saturazione data da $I_D = k(V_{GS} - V_T)^2$ con k = 0.25 mA/V^2 e V_T = -1 V.
Con riferimento al circuito in figura:

1) Calcolare il valore della resistenza R_2 in modo che, in condizioni di riposo, la tensione di drain di Q_2 sia 6 V. Determinare, inoltre, il punto di riposo dei due transistori e verificare la saturazione di Q_2. (R: R_2 = 1138.57 Ω)
2) Determinare V_U/Vi alle frequenze per le quali C_4, C_6 e C_L possono essere considerati dei corto circuiti. (R: V_U/Vi = 0.748)
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_{z4} = 8.4657 Hz; f_{p4} = 37.052 Hz; f_{z6} = 1607.63 Hz; f_{p6} = 1018.16 Hz; f_{zL} = 0 Hz f_{pL} = 10105 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:

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

con in totale, non più di 10 transistori e disegnarne lo schema completo. Dimensionare inoltre il rapporto (W/L) di tutti i 10 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 =1 kΩ

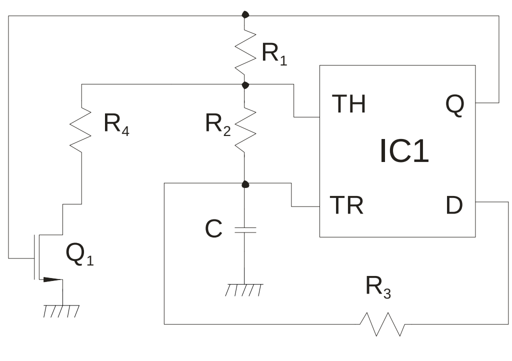
R_2 = 1 k Ω

R_3 = 2 kΩ

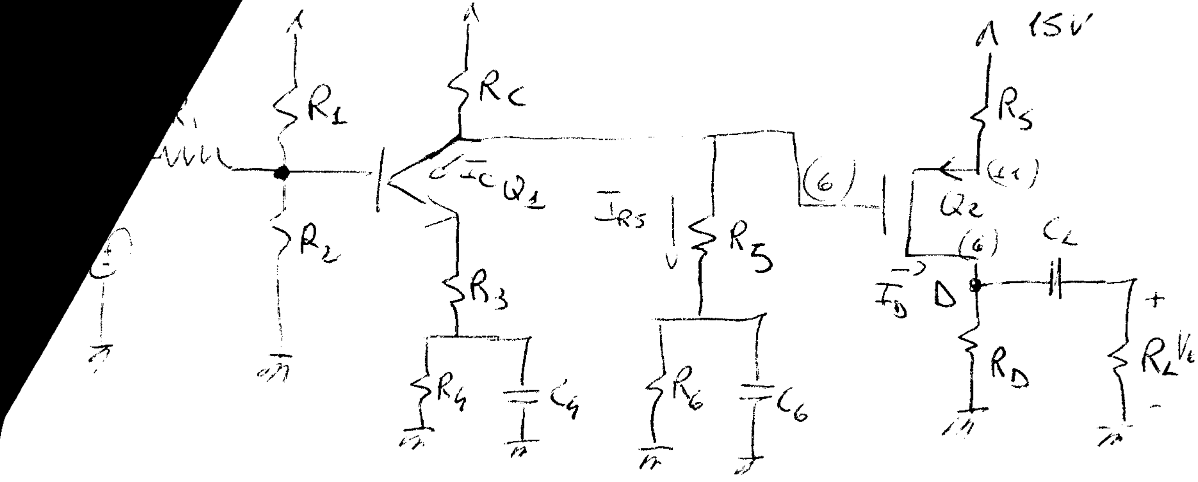
R_4 = 9 k Ω

C = 1 μF

V_{CC} = 5 V



Il circuito IC_1 è un NE555 alimentato a V_{CC} = 5V, Q_1 ha una R_{on} = 0 e V_T = 1 V. Determinare la frequenza del segnale di uscita del multivibratore in figura. (R: f = 2142.28 Hz)



$R_i = 3.4\ K\Omega$

$R_1 = 6.65\ K\Omega$

$R_C = 1.8\ K\Omega$

$R_3 = 100\ \Omega$

$R_4 = 400\ \Omega$

$R_5 = 900\ \Omega$

$R_6 = 1100\ \Omega$

$R_S = 1\ K\Omega$

$R_D = 1.5\ K\Omega$

$V_{cc} = 15V$

$V_T = -1V$

$K = 0.25\ \frac{mA}{V}$

$R_L = 3\ K\Omega$

$C_4 = 47\mu A$

$C_6 = 200\ nF$

$C_L = 3.5\ nF$

·) Determina R_2 per $V_D = 6V$

$I_D = \frac{V_D}{R_D} = \frac{6}{1.5K} = 4\ mA = I_{RS}$

$V_S = V_{cc} - R_S I_{RS} = 15 - 4 = 11V$

$I_D = K(V_{GS} - V_T)^2 \Rightarrow (V_{GS} - V_T) = -\sqrt{\frac{I_D}{K}} = -4V$

$\Rightarrow V_{GS} = (-4) + V_T = -5V$

$\Rightarrow V_G = V_{GS} + V_S = -5V + 11V = 6V$

$\Rightarrow V_{DS} = V_D - V_S = 6 - 11 = -5V$

$V_{DS} = -5V \leq (V_{GS} - V_T) = -4V$

$I_{R5} = \frac{V_G}{R_5 + R_6} = \frac{6V}{2K\Omega} = 3\ mA$

$Q_2 = \begin{cases} V_{DS} = -5V \\ V_{GS} = -5V \\ I_D = 4\ mA \end{cases}$

$I_{RC} = \frac{V_{cc} - V_G}{R_C} = \frac{15 - 6}{1.8K} = 5\ mA$

$I_C = I_{RC} - I_{R5} = 2\ mA \simeq I_E$

$V_C = V_G = 6V$

$Q_1 = \begin{cases} I_C = 2\ mA \\ V_{CE} = 5V \\ I_B = 6.896\ \mu A \end{cases} \Rightarrow \beta_F = 290$

$V_E = (R_3 + R_4) I_E = 500 \times 2mA = 1V$

$\Rightarrow V_{CE} = 5V$

$V_B = V_E + V_\gamma = 1.7V$

$I_{R1} = \frac{V_{cc} - V_B}{R_1} = \frac{15 - 1.7}{6.65K} = 2\ mA$

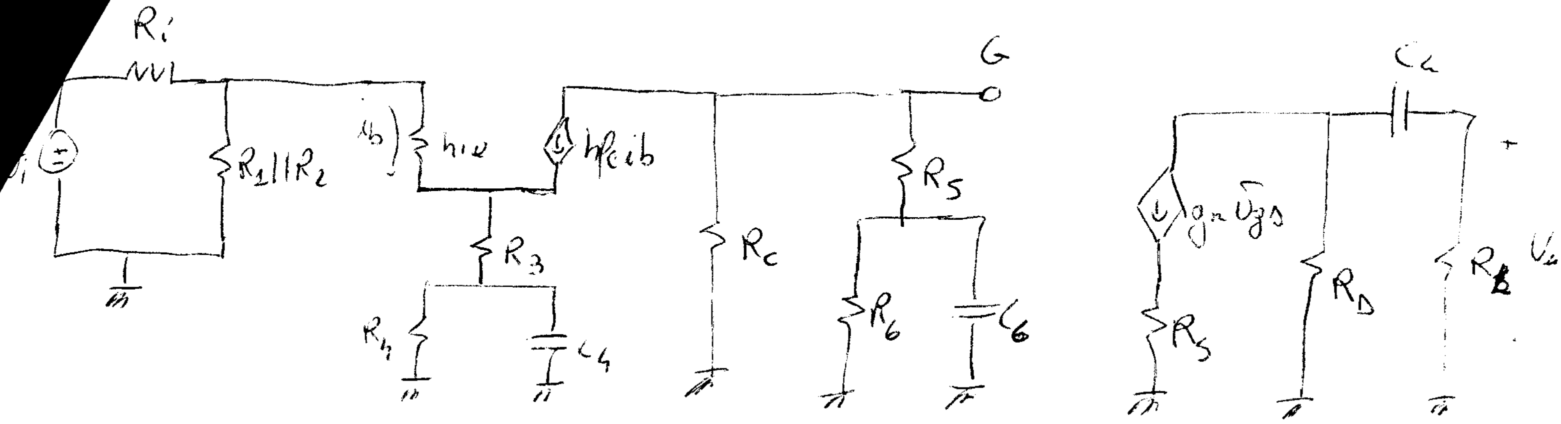
$I_{Ri} = \frac{V_B}{R_i} = \frac{1.7}{3.4K} = 0.5\ mA$

$I_{R2} = I_{R1} - I_{Ri} - I_B = 1.493\ mA \Rightarrow R_2 = \frac{V_B}{I_{R2}} = 1138.57\ \Omega$

$\ldots = 300$

$\ldots h_{ie} = 4.8K\Omega$

$Q_2 = g_m = 2K\,|V_{GS} - V_T| = 2\,\frac{mA}{V}$



) Determinare A_{CB} (C_4, C_6, C_L corto circuiti)

$V_u = -\,g_m v_{gs}\, R_D \| R_L$

$v_s = R_s\, g_m v_{gs} = \cancel{R_s\, g_m (v_g - v_s)}$

$v_{gs} = v_g - R_s g_m v_{gs} \Rightarrow v_{gs} = \dfrac{v_g}{1 + g_m R_s}$

$v_g = (-\,h_{fe}\, i_b)(R_C \| R_5)$

$i_b = \dfrac{v_i}{R_i + \left\{ R_1 \| R_2 \,\|\, [h_{ie} + R_3(h_{fe}+1)] \right\}} \cdot \dfrac{R_1 \| R_2}{(R_1 \| R_2) + h_{ie} + R_3(h_{fe}+1)}$

$$A_{CB} = \frac{V_u}{V_i} = +\underbrace{\underbrace{\frac{g_m (R_D \| R_L)}{1 + g_m R_s}}_{\frac{2}{3} = 0,\bar{6}}\; h_{fe}(R_C \| R_5)}_{120000} \cdot \underbrace{\frac{1}{R_i + \left\{ R_1 \| R_2 \,\|\, [h_{ie} + R_3(h_{fe}+1)] \right\}}}_{2.30 \times 10^{-4}} \cdot \underbrace{\frac{R_1 \| R_2}{(R_1 \| R_2) + h_{ie} + R_3(h_{fe}+1)}}_{2.71 \times 10^{-2}}$$

$= 0{,}748 \quad (-\,2.52\ dB)$

$\to V_u/V_i$

$$R_{VC_4} = R_4 \| \left\{ R_3 + \left[\frac{(R_i \| R_1 \| R_2) + h_{ie}}{h_{fe}+1} \right] \right\} = 31.393\ \Omega$$

$$f_{PC_4} = \frac{1}{2\pi C_4 R_{VC_4}} = 37.052\ Hz$$

$$f_{ZC_4} = \frac{1}{2\pi C_4 R_4} = 8.4657\ Hz$$

Calcolo del plateau A_p

$$A_p = A_{CB} \frac{f_{Z6}}{f_{PL}} = 0.119\ (-18.489\ldots$$

$\boxed{C_6}$: $R_{VC_6} = R_6 \| (R_5 + R_C) = 781.58\ \Omega$

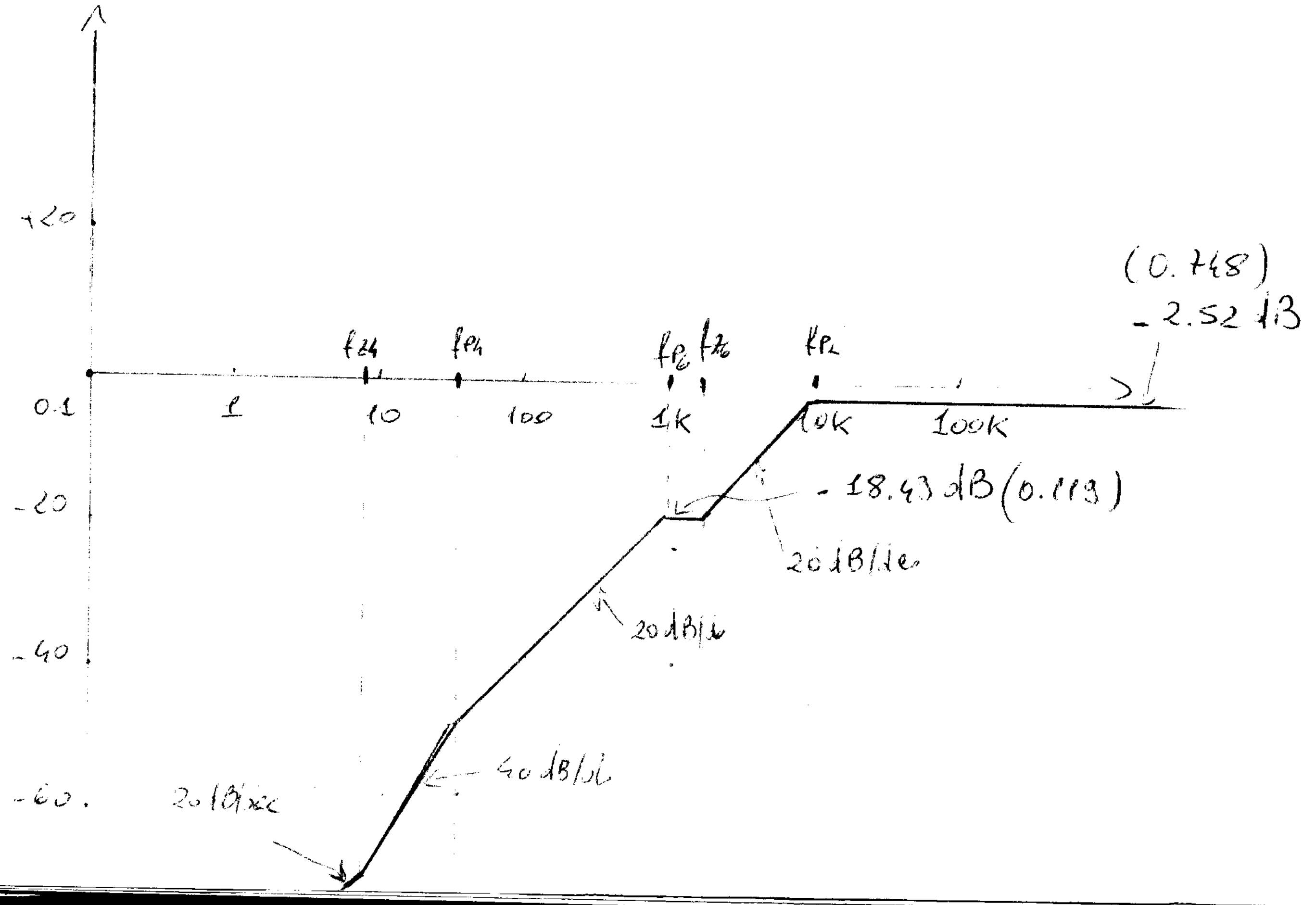
$$f_{PC_6} = \frac{1}{2\pi C_6 R_{VC_6}} = 1018.16\ Hz$$

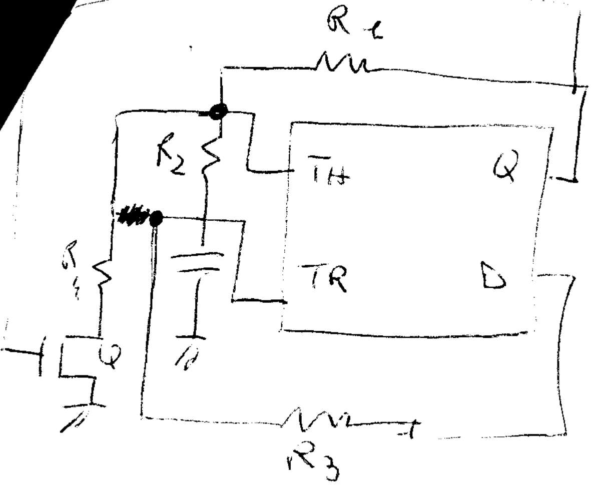
$$f_{ZC_6} = \frac{1}{2\pi C_6 (R_5 \| R_6)} = 1607.63\ Hz$$

$\boxed{C_L}$: $R_{VCL} = R_D + R_L = 4.5\ k\Omega$

$$f_{PCL} = \frac{1}{2\pi C_L R_{VCL}} = 10105\ Hz$$

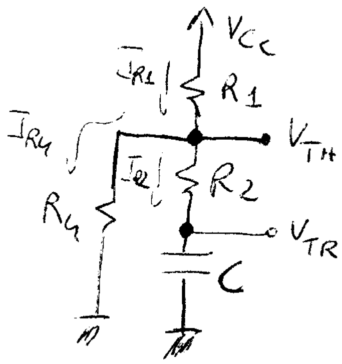
$f_{ZCL} = \phi$





$R_1 = 1K\Omega$ $R_3 = 1K\Omega$
$R_4 = 9K\Omega$
$R_L = 1K\Omega$
$C = 1\mu F$

1) $Q = 1$ $V_{TR} = \frac{1}{3}V_{cc}$ $\bar{Q} = \phi$ $\Rightarrow$ D OPEN Q ON



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

$V_C(t) = V_f + (V_i - V_f)e^{-\frac{t}{\tau_1}}$

$V_i = \frac{1}{3}V_{cc}$

$V_f = V_{cc}\frac{R_4}{R_1+R_4} = 0.9\,V_{cc}$

$V_{comm} = \frac{2}{3}V_{cc} - R_2 I_{R2}$

$I_{R1} = \frac{V_{cc} - \frac{2}{3}V_{cc}}{R_1} = \frac{\frac{1}{3}V_{cc}}{1K\Omega} = 1.\bar{6}\ mA$ $\left(\frac{5}{3}\times10^{-3}A\right)$

$I_{R4} = \frac{2/3\,V_{cc}}{R_4} = \frac{2}{3}\,5\,\frac{1}{9}\,10^{-3} = 3.704\times10^{-4}\ A$

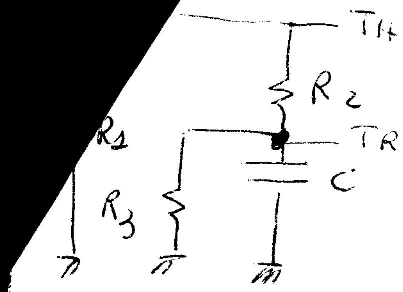
$I_{R2} = I_{R1} - I_{R4} = 1.296\ mA$

$V_{comm} = \underbrace{\frac{2}{3}V_{cc}}_{3.3V} - R_2 I_{R2} = 2.037\ V$

$V_{comm} = V_f + (V_i - V_f)e^{-\frac{t}{\tau_1}}$ $\Rightarrow$ $T_1 = \tau_1 \overbrace{\ln\left[\frac{V_i - V_f}{V_{comm} - V_f}\right]}^{0.140074} =$

$\left.\begin{array}{l} R_{VC} = R_2 + (R_1 \| R_4) = 1900\ \Omega \\ C = 1\mu F \end{array}\right\} \Rightarrow T_1 = 2.664\times10^{-4}\ s$

D ON   Q OFF



$$V_i = V_{CORR} = 2.037\ V$$

$$V_f = \phi$$

$$V_{CORR} = \frac{1}{3} V_{CC}$$

$$R_x = R_3 \parallel (R_2 + R_1) = 1000\ \Omega$$

$$T_2 = \tau \ln\left[\frac{V_i - V_f}{V_{corr} - V_f}\right] = 2.0065 \times 10^{-4}$$

$$T = T_1 + T_2 = 4.6679 \times 10^{-4}$$

$$f = 2142.2788\ Hz$$

$$\bar A \left[\overline{BC} + D(\overline{AC})\right] + D\left[\bar A B + (\overline{B+C})\right] =$$

$$= \bar A(\bar B + \bar C + D\bar A + D\bar C) + D(A + \bar B + \bar B \bar C) =$$

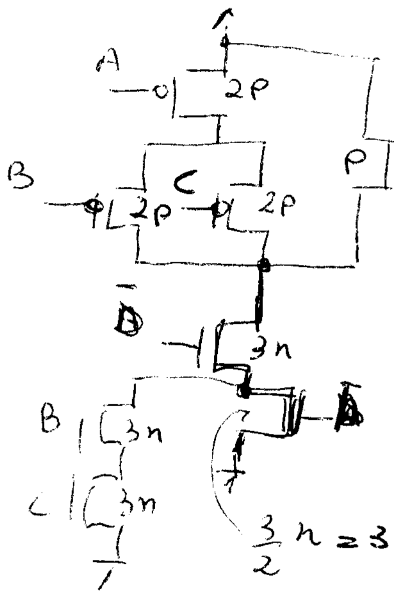
$$= \bar A \bar B + \bar A \bar C + \bar A D + \bar A D \bar C + DA$$

$$= \bar A(\bar B + \bar C + D\bar A) + D(A + \bar B) =$$

$$= \bar A \bar B + \bar A \bar C + \bar A D + DA + D\bar B =$$

$$= \bar A \bar B + \bar A \bar C + D + D\bar B =$$

$$= \bar A \bar B + \bar A \bar C + D = \bar A(\bar B + \bar C) + D$$



$$\frac{1}{3n} + \frac{1}{x} = \frac{1}{n}$$

$$\frac{1}{x} = \frac{1}{n} - \frac{1}{3n} = \frac{3-1}{3n} = \frac{2}{3n}$$

$$\Rightarrow x = \frac{3}{2} n$$