

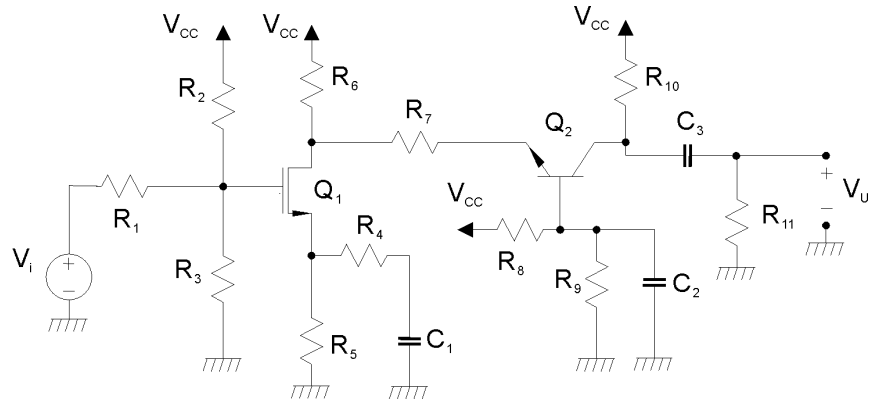
ELETTRONICA DIGITALE

Corso di Laurea in Ingegneria Informatica

Prova scritta del 09 gennaio 2014

Esercizio A

$R_1 = 10 \text{ k}\Omega$	$R_8 = 740 \text{ k}\Omega$
$R_2 = 10 \text{ k}\Omega$	$R_{10} = 3 \text{ k}\Omega$
$R_3 = 10 \text{ k}\Omega$	$R_{11} = 30 \text{ k}\Omega$
$R_4 = 250 \Omega$	$C_1 = 1 \mu\text{F}$
$R_5 = 750 \Omega$	$C_2 = 100 \text{ nF}$
$R_6 = 6 \text{ k}\Omega$	$C_3 = 4.7 \text{ nF}$
$R_7 = 500 \Omega$	$V_{CC} = 18 \text{ V}$



Q_1 è un transistor MOS a canale n resistivo, con la corrente di drain in saturazione data da $I_{DS} = k(V_{GS} - V_T)^2$ con $k = 1 \text{ mA/V}^2$ e $V_T = 1 \text{ V}$. Q_2 è un transistor BJT BC109B resistivo con $h_{re} = h_{oe} = 0$.

Con riferimento all'amplificatore in figura:

- 1) Calcolare il valore delle resistenze R_9 in modo che, in condizioni di riposo, la tensione sul collettore di Q_2 sia $V_C = 12 \text{ V}$. Determinare, inoltre il punto di riposo dei due transistori e verificare la saturazione di Q_1 . (R: $R_9 = 1096496.35 \Omega$)
- 2) Determinare il guadagno V_U/V_i alle frequenze per le quali C_1 , C_2 e C_3 possono essere considerati dei corto circuiti. (R: $V_U/V_i = -1.907$)
- 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: $f_{z1} = 159.15 \text{ Hz}$; $f_{p1} = 363.78 \text{ Hz}$; $f_{z2} = 3.602 \text{ Hz}$; $f_{p2} = 4.4137 \text{ Hz}$; $f_{z3} = 0 \text{ Hz}$; $f_{p3} = 1026.144 \text{ Hz}$)

Esercizio B

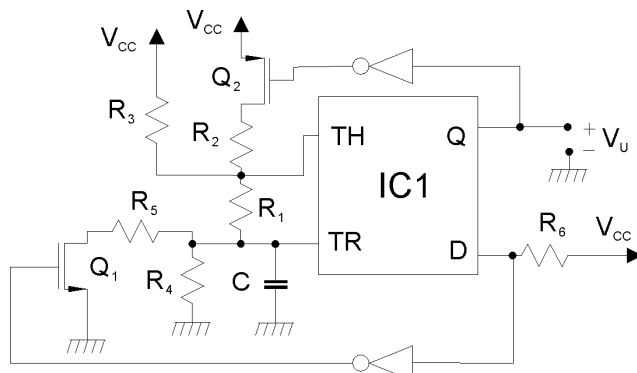
Progettare una porta logica in tecnologia CMOS, utilizzando la tecnica della pull-up network e della pull-down network, che implementi la funzione logica:

$$Y = \overline{AB}(\overline{CD} + \overline{DE}) + D(\overline{C} + \overline{BE} + \overline{AE})$$

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.

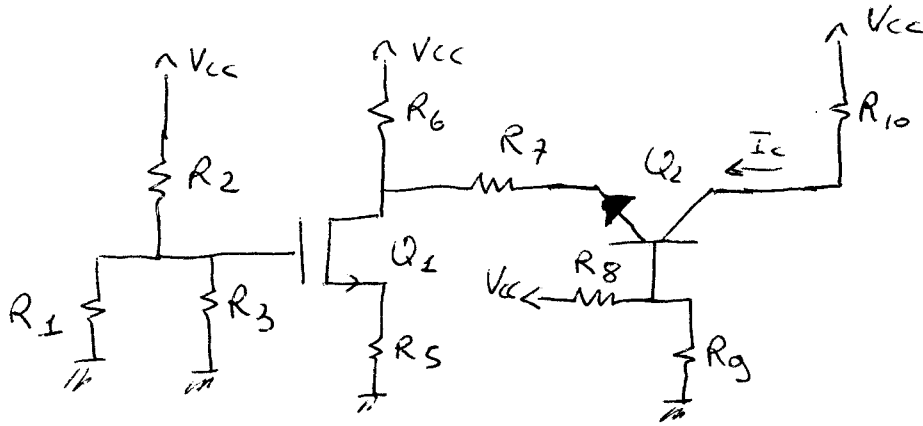
Esercizio C

$R_1 = 500 \Omega$	$R_5 = 500 \Omega$
$R_2 = 1 \text{ k}\Omega$	$R_6 = 1 \text{ k}\Omega$
$R_3 = 3 \text{ k}\Omega$	$C = 100 \text{ nF}$
$R_4 = 10 \text{ k}\Omega$	$V_{CC} = 5 \text{ V}$



Il circuito IC1 è un NE555 alimentato a $V_{CC} = 5 \text{ V}$, Q_1 ha una $R_{on} = 0$ e $V_T = 1 \text{ V}$, Q_2 ha una $R_{on} = 0$ e $V_T = -1 \text{ V}$ e gli inverter sono ideali. Determinare la frequenza del segnale di uscita del multivibratore in figura. (R: $f = 23612.07 \text{ Hz}$)

ESERCIZIO A



$V_{cc} = 18V$
 $R_1 = 10K\Omega$
 $R_2 = 10K\Omega$
 $R_3 = 10K\Omega$
 $R_4 = 250\Omega$
 $R_5 = 750\Omega$
 $R_6 = 6K\Omega$
 $R_7 = 500\Omega$
 $R_8 = 740K\Omega$
 $R_{10} = 3K\Omega$

1) DET. R_9 per $V_c = 12V$

$$I_c = \frac{V_{cc} - V_c}{R_{10}} = 2mA \approx I_E = I_f$$

$$V_G = V_{cc} \frac{R_2 \parallel R_3}{R_2 + (R_1 \parallel R_3)} = 18 \frac{10 \times 10^3}{10 + 315 \times 10^3} = 6V$$

$$I_{DS} = K (V_G - V_S - V_T)^2 = K (6 - R_5 I_{DS} - 1)^2 = K (5 - R_5 I_{DS})^2$$

$$\frac{I_{DS}}{K} = 25 + R_5^2 I_{DS}^2 - 10 R_5 I_{DS}$$

$$R_5^2 I_{DS}^2 - (10 R_5 + \frac{1}{K}) I_{DS} + 25 = 0$$

$$562500 I_{DS}^2 - 8500 I_{DS} + 25 = 0$$

$$I_{DS} = \frac{8500 \pm \sqrt{(8500)^2 - 4 \times 562500 \times 25}}{2 \times 562500} = \frac{8500 \pm 4000}{2 \times 562500} = \begin{cases} 11.1mA \\ 4mA \end{cases}$$

La soluzione $I_{DS} = 11.1mA$ non è accettabile in quanto si avrebbe $V_S = R_5 I_{DS} = 8.325V$ e quindi $V_{GS} < 0 < V_T$ e il MOS non sarebbe in conduzione

$$\Rightarrow I_{DS} = 4mA$$

$$V_S = 3V$$

$$V_{GS} = 6 - 3 = 3V$$

$$I_6 = -I_f + I_{DS} = -2 \times 10^{-3} + 4 \times 10^{-3} = 2 \times 10^{-3} = 2mA$$

$$V_D = V_{cc} - R_6 I_6 = 18 - 12 = 6V$$

$$V_{DS} = 6 - 3 = 3V > V_{GS} - V_T = 2V$$

Per il transistor Q_1 si ha, perché

$$I_{OS} = 4 \text{ mA}$$

$$V_{GS} = 3 \text{ V}$$

$$V_{DS} = 3 \text{ V}$$

$$\left. \begin{array}{l} I_{OS} = 4 \text{ mA} \\ V_{GS} = 3 \text{ V} \\ V_{DS} = 3 \text{ V} \end{array} \right\} \Rightarrow \underline{g_m = 2 \text{ m}(V_{GS} - V_T) = 4 \times 10^{-3} \text{ A/V}}$$

$$V_E = V_D + R_2 I_T = 6 + 500 \times 2 \times 10^{-3} = 7 \text{ V}$$

$$V_{CE} = 12 - 7 = 5 \text{ V}$$

Per il transistor Q_2 si ha, perché

$$I_C = 2 \text{ mA}$$

$$V_{CE} = 5 \text{ V}$$

$$\left. \begin{array}{l} I_C = 2 \text{ mA} \\ V_{CE} = 5 \text{ V} \end{array} \right\} \Rightarrow \beta_F = h_{FE} = 290$$

$$\left\{ \begin{array}{l} h_{ie} = 4800 \Omega \\ h_{fe} = 300 \end{array} \right.$$

$$I_B = \frac{I_C}{h_{FE}} = 6.896 \mu\text{A}$$

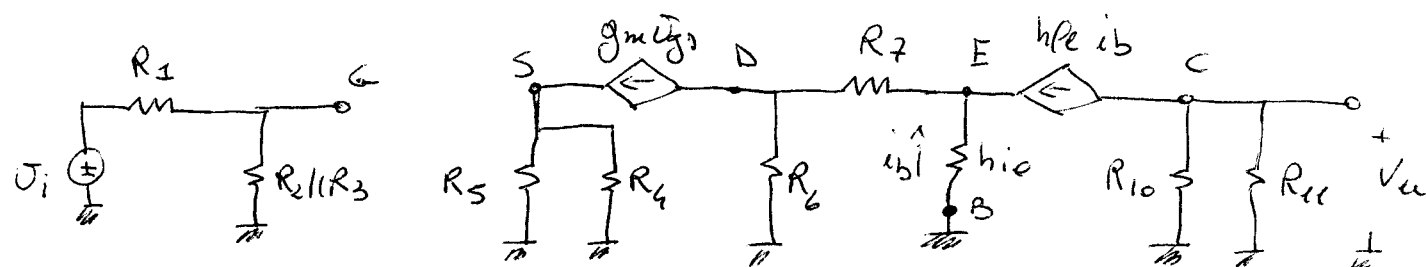
$$V_B = V_E + V_{BE} = 7.7 \text{ V}$$

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_B}{R_B} = 13.919 \mu\text{A}$$

$$I_B = I_B - I_B = 7.022 \mu\text{A}$$

$$\underline{R_B = \frac{V_B}{I_B} = 1096496.35 \Omega}$$

2) Determinare A_{CB}



$$V_u = -(R_{10} \parallel R_{11}) h_{fe} i_b$$

$$(h_{fe} + 1) i_b = g_m V_{gs} \frac{R_6}{R_6 + R_7 + \frac{h_{ie}}{h_{fe} + 1}}$$

$$i_b = g_m V_{gs} \frac{R_6}{h_{ie} + (R_6 + R_7)(h_{fe} + 1)}$$

$$V_{gs} = (g_m V_{gs})(R_4 \parallel R_5)$$

$$g = U_i \frac{R_2 \parallel R_3}{R_1 + R_2 \parallel R_3}$$

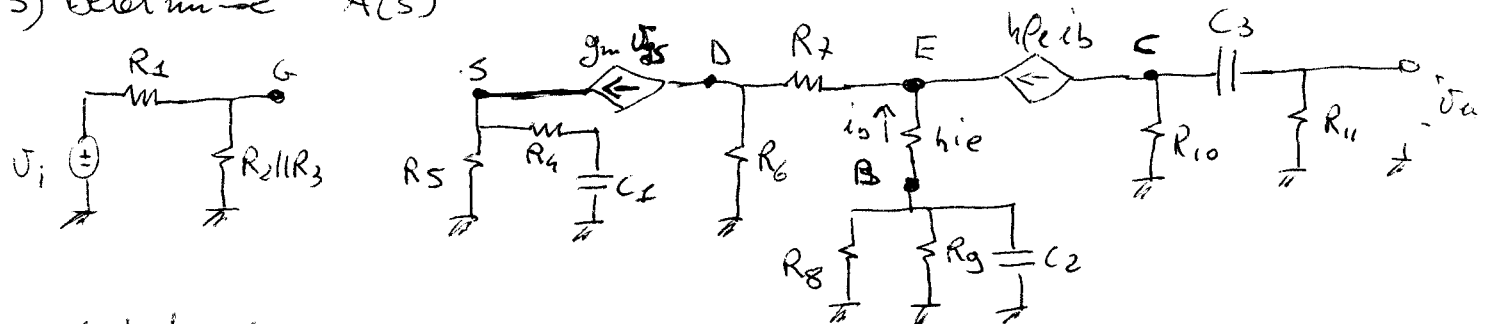
$$U_{gs} = U_i \frac{R_2 \parallel R_3}{R_1 + R_2 \parallel R_3} - g_m U_{gs} (R_4 \parallel R_5)$$

$$U_{gs} = U_i \frac{R_2 \parallel R_3}{R_1 + R_2 \parallel R_3} \frac{1}{1 + g_m (R_4 \parallel R_5)}$$

$$A_{CB} = \frac{U_o}{U_i} = - (R_{10} \parallel R_{11}) h_{fe} g_m \left(\frac{R_6}{h_{ie} + (R_6 + R_7)(h_{fe} + 1)} \right) \frac{R_2 \parallel R_3}{R_1 + R_2 \parallel R_3} \cdot \frac{1}{1 + g_m (R_4 \parallel R_5)}$$

$$= -1.907 \quad (|A_{CB}|_{dB} = 5.607 \text{ dB})$$

3) Determinare $A(s)$



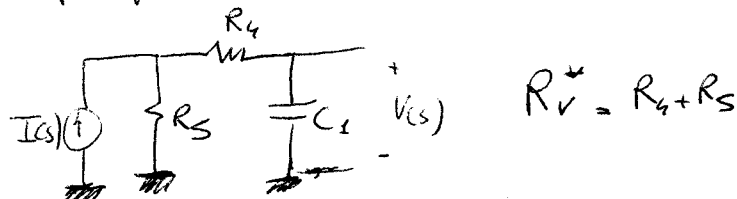
Contributo C_1

$$R_{Vc1} = R_4 + (R_5 \parallel \frac{1}{g_m}) = 437.5 \Omega$$

$$f_{p1} = \frac{1}{2\pi C_1 R_{Vc1}} = 363.78 \text{ Hz}$$

Per lo zero, dobbiamo trovare per quale s l'impedenza $Z = R_5 \parallel (R_4 + \frac{1}{C_1 s}) \rightarrow \infty$
ovvero il polo della rete

$$R_{Vc1} = R_4 + R_5$$



$$R_{Vc1} = R_4 + R_5$$

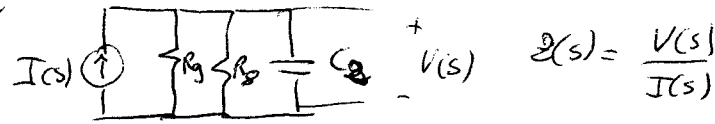
$$f_{z1} = \frac{1}{2\pi C_1 (R_4 + R_5)} = 159.15 \text{ Hz}$$

Contributo di C_2

$$R_{Vc2} = R_9 \parallel R_8 \parallel [h_{ie} + (R_6 + R_7)(h_{fe} + 1)] = 360592.57 \Omega$$

$$f_{p2} = \frac{1}{2\pi C_2 R_{Vc2}} = 4.4137 \text{ Hz}$$

Per lo zero, dobbiamo trovare s per il quale $z(s) = R_8 || R_9 || \frac{1}{C_2 s} \rightarrow \infty$
ovvero il polo della rete



$$f_{z2} = \frac{1}{2\pi C_2 (R_8 || R_9)} = 3.602 \text{ Hz}$$

Contributo di C_3

$$R_{VC3} = R_{10} + R_{11} = 33 \text{ k}\Omega$$

$$f_{p3} = \frac{1}{2\pi C_3 R_{VC3}} = 1026.144 \text{ Hz}$$

$$f_{z3} = \emptyset$$

RIASSUNTO

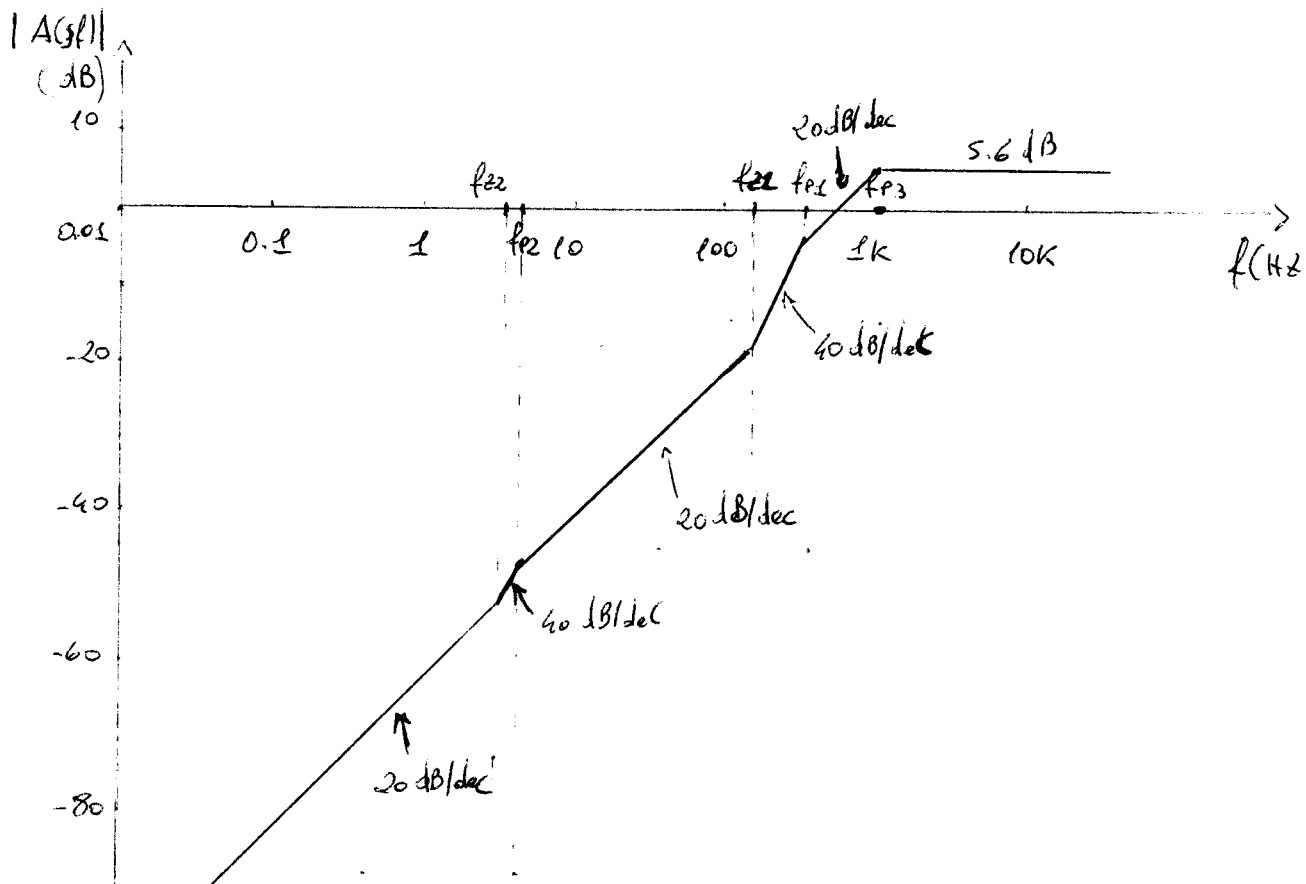
$$A_{CB} = -1.307 \quad (|A_{CB}(s)|_{dB} = 5.607 \text{ dB})$$

$$f_{z1} = 159.15 \text{ Hz} \quad (\omega_{z1} = 1000 \frac{\text{rad}}{\text{s}}) \quad f_{p1} = 363.78 \text{ Hz} \quad (\omega_{p1} = 2285.71 \frac{\text{rad}}{\text{s}})$$

$$f_{z2} = 3.602 \text{ Hz} \quad (\omega_{z2} = 22.63 \frac{\text{rad}}{\text{s}}) \quad f_{p2} = 4.4132 \text{ Hz} \quad (\omega_{p2} = 27.73 \frac{\text{rad}}{\text{s}})$$

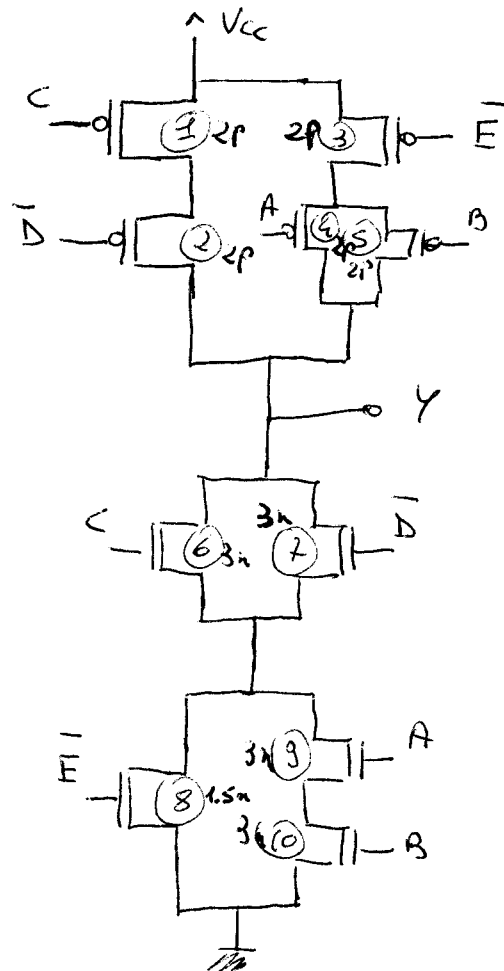
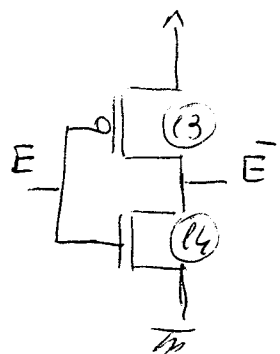
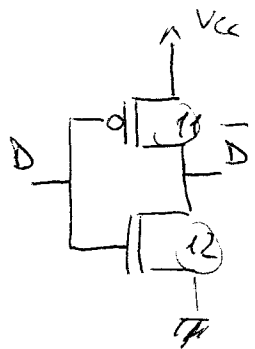
$$f_{z3} = \emptyset \quad f_{p3} = 1026.144 \text{ Hz} \quad (\omega_{p3} = 6447.45 \frac{\text{rad}}{\text{s}})$$

$$A(s) = A_{CB} \frac{s(s + \omega_{z1})(s + \omega_{z2})}{(s + \omega_{p1})(s + \omega_{p2})(s + \omega_{p3})}$$



$$\begin{aligned}
 Y &= \overline{A}B(\overline{C}D + \overline{D}E) + D(\overline{C} + \overline{B}E + \overline{A}E) = \\
 &= (\overline{A} + \overline{B})(\overline{C}D + \overline{D}E) + D(\overline{C} + \overline{B}E + \overline{A}E) = \\
 &= \overline{A}\overline{C}D + \overline{A}\overline{D}E + \overline{B}\overline{C}D + \overline{B}\overline{D}E + \overline{D}\overline{C} + \overline{B}DE + \overline{A}DE = \\
 &= \overline{C}D + \overline{B}E + \overline{A}E = \overline{C}D + E(\overline{A} + \overline{B})
 \end{aligned}$$

14 MOSFET



$$Q_{11}, Q_{13} : P = 5$$

$$Q_{12}, Q_{14} : n = 2$$

$$PUN : Q_3 - Q_5 : 2P = 10$$

$$Q_3 - Q_4 : 2P = 10$$

$$Q_1 - Q_2 : 2P = 10$$

$$PDN : Q_2, Q_9, Q_{10} : 3n = 6$$

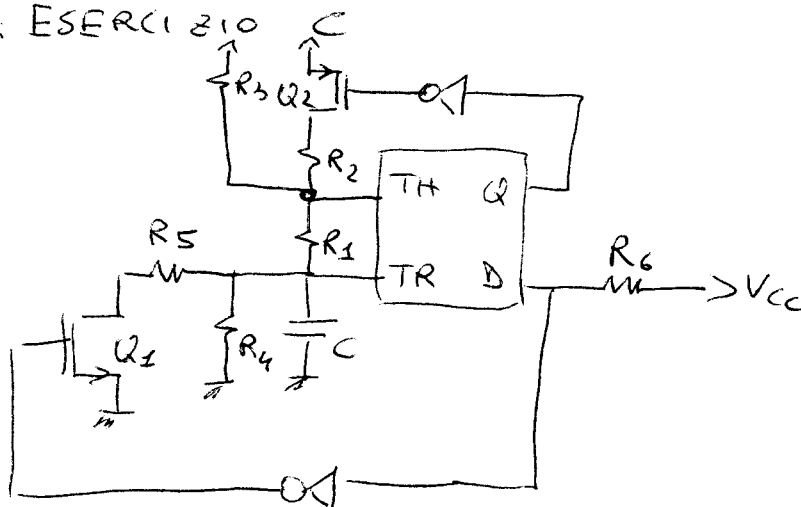
$$Q_6, Q_9, Q_{10} : 3n = 6$$

$$Q_6 - Q_8 \text{ oppure } Q_2 - Q_8$$

$$\frac{1}{X_8} + \frac{1}{3n} = \frac{1}{n}$$

$$\frac{1}{X_8} = \frac{2}{3}n \Rightarrow \left(\frac{W}{L}\right)_8 = 1.5n = 13$$

ESERCIZIO



$$R_1 = 2K\Omega$$

$$R_2 = 1K\Omega$$

$$R_3 = 3K\Omega$$

$$R_4 = 10K\Omega$$

$$R_5 = 500\Omega$$

$$R_6 = 1K\Omega$$

$$C = 10nF$$

$$V_{cc} = 5V$$

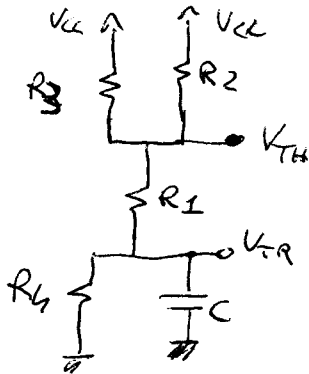
$$Q_1 : R_{on} = \phi \quad V_T = 1V$$

$$Q_2 : R_{on} = \phi \quad V_T = -1V$$

1° caso: Q_1 e Q_2 poggianti su V_{CC}

$$\begin{cases} Q = 1 \Rightarrow V_{G2} = \phi V \Rightarrow V_{GS2} = -5V \Rightarrow Q_2 \text{ ON} \\ D \text{ poggiate} \Rightarrow V_{G1} = \phi V \Rightarrow V_{GS1} = \phi V (< V_T) \Rightarrow Q_1 \text{ OFF} \end{cases}$$

Il circuito diventa



$$V_{IN1} = \frac{V_{CC}}{3} = 1.6 \bar{V}$$

$$V_{AN1} = V_{CC} \frac{R_4}{R_4 + R_1 + R_2 \parallel R_3} = \cancel{5.0225V} \approx 4.4 \bar{V}$$

Per $V_{TH} = \frac{2}{3} V_{CC}$ allora

$$I_{R1} = \frac{V_{CC} - V_{TH}}{R_2 \parallel R_3} = 2.2 \text{ mA}$$

$$V_{CON1} = V_{TH} - R_1 I_{R1} = 2.2 \bar{V}$$

$$V_{IN1} < V_{CON1} < V_{FIN1} \Rightarrow \text{CONDUTA} [1.6\bar{V} > 2.2\bar{V} > 4.4\bar{V} \text{ OK}]$$

$$R_{VC1} = R_4 \parallel (R_1 + R_2 \parallel R_3) = 1111.1 \bar{\Omega}$$

$$\tau_1 = C R_{VC1} = 0.1 \text{ ms}$$

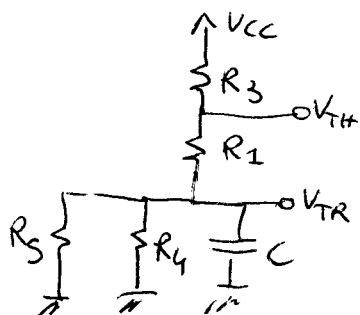
$$T_1 = \tau_1 \ln \frac{V_{IN1} - V_{FIN1}}{V_{CON1} - V_{FIN1}} = 2.479 \times 10^{-5} \text{ s} = 24.79 \mu\text{s}$$

2° caso

$$Q = \phi \Rightarrow V_{G2} = 5V \Rightarrow V_{GS2} = \phi V > V_{T2} \Rightarrow Q_2 \text{ OFF}$$

$$D = \phi \Rightarrow V_{G1} = 5V \Rightarrow V_{GS1} = 5V > V_{T1} \Rightarrow Q_1 \text{ ON}$$

Il circuito diventa



$$\begin{cases} V_{IN2} = V_{CON2} = 2.2 \bar{V} \\ V_{FIN2} = V_{CC} \frac{R_4 \parallel R_5}{(R_4 \parallel R_5) + R_1 + R_3} = 0.5988 \bar{V} \\ V_{CON2} = \frac{1}{3} V_{CC} = 1.6 \bar{V} \end{cases} \left\{ \begin{array}{l} V_{IN2} > V_{CON2} > V_{FIN2} \\ 2.2\bar{V} > 1.6\bar{V} > 0.5988\bar{V} \\ \text{OK} \end{array} \right.$$

$$R_{VC2} = R_5 \parallel R_4 \parallel (R_1 + R_3) = 419.16 \bar{\Omega}$$

$$\tau_2 = C R_{VC2} = 4.19 \times 10^{-5} \text{ s} = 41.9 \mu\text{s}$$

$$T_2 = \tau_2 \ln \frac{V_{IN2} - V_{FIN2}}{V_{CON2} - V_{FIN2}} = 1.75575 \times 10^{-5} \text{ s} = 17.557 \mu\text{s}$$

$$T = T_1 + T_2 = 4.235 \times 10^{-5} \text{ s} \Rightarrow f = \frac{1}{T} = 23612.065 \text{ Hz}$$