Traccia soluzione

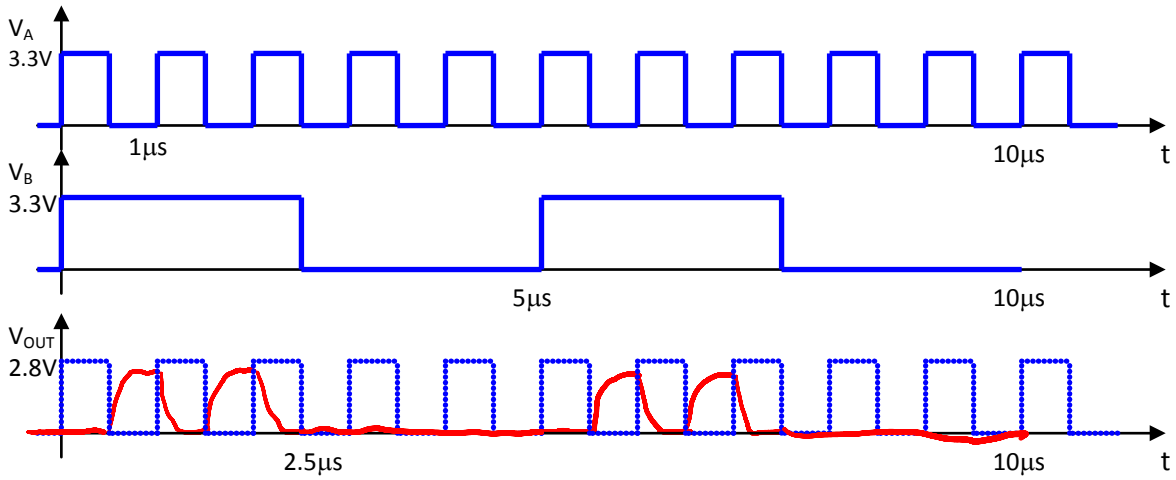
Es. A

1)

V_A	V_B	V_{OUT}
0V	0V	0V
0V	3.3V	2.8V
3.3V	0V	0V
3.3V	3.3V	0V

2) Inizialmente il condensatore è carico a 2.8V. Quando avviene la transizione il condensatore è scaricato a 0V dalla serie di M2 e M3. Il transistore equivalente (k_{eq}=1.43 mA/V^2) opera durante tutto il transitorio in regime ohmico ed è approssimabile con una resistenza $R_{eq}=2.8V/I_{D,sat}$ = 250Ω con $I_{D,sat}$= 11.2mA (corrente inizialmente portata dal transistore equivalente). Imponendo che la scarica esponenziale con $\tau=R_{eq}\cdot C$= 2.5ns raggiunga $V_{DD}/2$ partendo da 2.8V si trova il tempo richiesto: $t_{Vdd/2} \approx -\tau\cdot\ln(1.65/2.8)$ = 1.3ns

3)



Il condensatore viene caricato e scaricato tra 0V e 2.8V due volte ogni 5µs portando a un consumo di potenza di:

$$P_d = V_{DD} \cdot C \cdot 2.8V \cdot \frac{2}{5\mu s} = 37\mu W$$

4) La tensione di uscita è inizialmente a 2.8V. A seguito della transizione il transistore M_3 si spegne ed è modellizzabile da una resistenza R_p che collega C all'inverter. Dato che le resistenze R_p di perdita di M_1 e M_3 sono molto maggiori della resistenza di canale di M_2 (89Ω) il transitorio di scarica è approssimabile con un andamento esponenziale da 2.8V a 0V con costante di tempo $\tau= R_p\cdot C$ = 0.1s.

ESB

a) $V_G\big|_{PMOS} = V_{CC} - I_{G1} \cdot R_1 = 3{,}8V$ $\quad V_{SG} = 1{,}2V \rightarrow I_{PMOS} = 320\,\mu A \rightarrow V_{ov}\big|_{PMOS} = 0{,}4V$

$V_{OUT1} = V_{DD} + \frac{I_{PMOS} \cdot R_2}{4} = -1V$ $\quad \rightarrow g_{mP} = 1{,}6\,mS$

$I_{NMOS} = I_{G2} = K_n (V_{OUT1} - V_S - V_{Tn})^2 \rightarrow V_S = \pm\sqrt{\frac{I_{G2}}{K_n}} + V_{OUT1} - V_{Tn}$ $\quad -1.5$ $\quad -2{,}5$

$\pm 0{,}5$

$V_{OUT2} = V_{CC} - I_{G2} \cdot R_{C1} = 2V$

$V_{GS}\big|_{NMOS} = V_{OUT1} - V_S = 1{,}5V \rightarrow V_{ov}\big|_{NMOS} = 0{,}5V$ $\quad g_{mn} = 0{,}6\,mS$

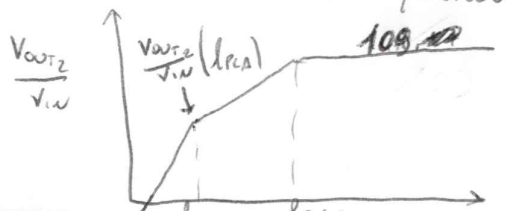
b) $\frac{V_{OUT1}}{V_{IN}}$ è indipendente da C_B $\quad \frac{V_{OUT1}}{V_{IN}}\Big|_{MF} = -g_{mP} \cdot R_2 = -20 = \frac{V_{OUT1}}{V_{IN}}\Big|_{HF}$

c) $\frac{V_{OUT2}}{V_{IN}}\Big|_{MF} = g_{mP} \cdot R_2 \cdot \emptyset = \emptyset$ $\quad \frac{V_{OUT2}}{V_{IN}}\Big|_{HF} = g_{mP} \cdot R_2 \cdot \frac{g_{mn}}{1 + g_{mn} \cdot R_3} \cdot R_4 = 109$

D) Il guadagno $\frac{V_{OUT2}}{V_{IN}}$ ha uno zero nell'origine, un polo $f_{P_{C4}} = \frac{1}{2\pi C_4 \cdot R_1} = 15{,}92\,Hz$

Un secondo polo alla frequenza $f_{P_{C_B}} = \frac{1}{2\pi C_B \left(\frac{1}{g_{mn}} + R_3\right)} = 8{,}7\,kHz$

e uno secondo zero quando $\frac{1}{sC_B} + R_3 = \infty$ quindi per $s = 0$



$\frac{V_{OUT2}}{V_{IN}}(f_{PC4}) = \frac{V_{OUT2}}{V_{IN}}(f_{PCB}) \cdot \frac{f_{PC4}}{f_{PCB}} = 0{,}2$

Svolgendo i conti:

$$= \frac{R_1}{\frac{1}{SC_A} + R_1} \cdot h_{mp} \cdot R_2 \cdot \frac{h_{mn}}{1 + h_{mn}\left(R_3 + \frac{1}{SC_B}\right)} \cdot R_4 = \frac{R_1 \cdot SC_A}{1 + SC_A R_1} \cdot h_{mp} \cdot R_2 \cdot \frac{h_{mn} \cdot R_4 \cdot SC_B}{SC_B + h_{mn} \cdot R_3 \cdot SC_B + h_{mn}}$$

$$= \frac{R_1 \cdot SC_A}{1 + SC_A R_1} \cdot h_{mp} R_2 \cdot \frac{h_{mn} \cdot R_4 \cdot SC_B}{h_{mn}\left(1 + SC_B\left(\frac{1}{h_{mn}} + R_3\right)\right)} \xrightarrow{HF} \frac{R_4 \cdot SC_A}{SC_A \cdot R_1} \cdot h_{mp} \cdot R_2 \cdot \frac{R_4 SC_B}{SC_B\left(\frac{1}{h_{mn}} + R_3\right)}$$

$$= h_{mp} \cdot R_2 \cdot \frac{h_{mn} \cdot R_4}{(1 + h_{mn} R_3)}$$

Es C

a) $V_{ADC} = I_1 \cdot R_1 \left(1 + \frac{R_E}{R_2}\right) + I_2 \cdot R_E \Big|_{I_1 = I_2} = I_1 \left(R_1 + \frac{R_E}{R_2} \cdot R_1 + R_E\right) \Big|_{R_0 = R_2} = I_1 \left(\frac{R_0}{2} + \frac{R_E}{2} + R_E\right)$

$R_0 = R_2 = R_1 \cdot 2$

$V_{ADC} = I_1 \left(\frac{R_0}{2} + 1{,}5 R_E\right) = I_1 \left(\frac{R_0}{2} + R_0 \cdot 1{,}5 + \alpha E \cdot 1{,}5\right) = I_1 \cdot (2R_0 + 1{,}5 \cdot \alpha E)$

Per $E = 0$ $\quad V_{ADC} = I_1 \cdot 2R_0 = 1V$

$V_{ADC}\Big|_{max} = 5V = I_1 (2R_0 + 1{,}5\, \alpha\, E_{max}) \rightarrow E_{max} = \frac{\overbrace{5V}^{V_{ADC}|_{max}} - \overbrace{I_1 \cdot 2R_0}^{1V}}{\underbrace{1{,}5\, \alpha}_{0{,}015}} = 266{,}67\, eV$

$LSB\Big|_{V_{alt}} = \frac{V_{DD}}{2^n} = \frac{5}{2^{10}} = 4{,}88\, mV \qquad d V_{ADC} = 1{,}5\, \alpha\, dE$

$LSB\Big|_{V_{alt}} = 1{,}5\, \alpha\, LSB\Big|_{eV} \rightarrow LSB\Big|_{eV} = 0{,}325\, eV$

b) $V_\varepsilon\Big|_{V_{all}} = V_{all}\left(1 + \frac{R_E}{R_2}\right)$ errore massimo per E_{max} $\rightarrow V_\varepsilon\Big|_{V_{all}} = 20{,}03\, mV \rightarrow 4{,}1\, LSB$

$R_E\Big|_{max} = 1002{,}67\, \Omega$

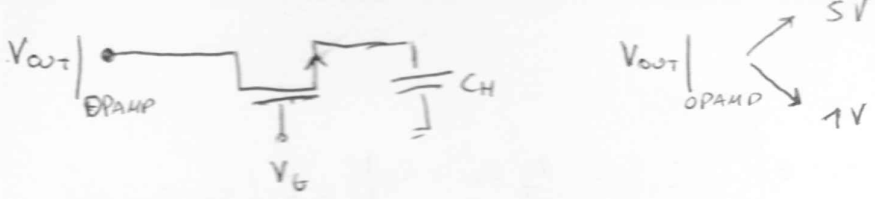
$V_\varepsilon\Big|_{I_B} = I_B^+ R_1 \left(1 + \frac{R_E}{R_2}\right) - I_B^- R_E = I_B \left(R_1 + R_E \cdot \frac{R_1}{R_2} - R_E\right) = I_B \left(R_1 - 0{,}5 R_E\right)$

$= I_B \left(R_1 - \frac{R_0}{2} - \alpha E \cdot 0{,}5\right) = I_B \left(-\alpha E \cdot 0{,}5\right)$

errore massimo per E_{max}

$V_\varepsilon\Big|_{I_B} = I_B \cdot \alpha E \cdot 0{,}5 = 2{,}73 \times 10^{-5}\, LSB$ $\quad 0{,}13\, \mu V$

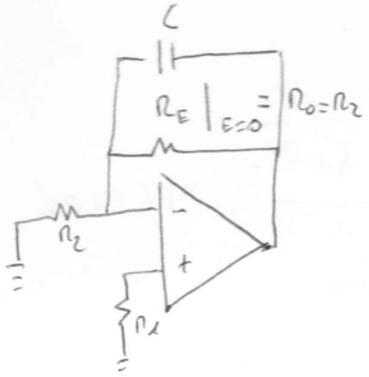
C)



$$V_{Gmax} \geq V_{OUT}\Big|_{OPAMP\,max} + V_T + 200mV = 5{,}8V$$

$$V_{Gmin} \leq V_{OUT}\Big|_{OPAMP\,min} + V_T - 200mV = 1{,}4V$$

D)

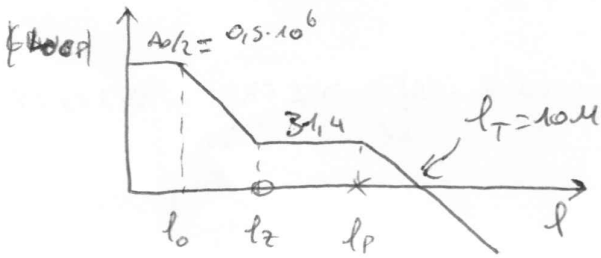


$$G_{LOOP}(s) = -\frac{A_0}{2} \cdot \frac{(1+sCR_0)}{(1+sC\frac{R_0}{2})} \cdot \frac{1}{(1+s\tau_0)}$$

$f_z = 159{,}23\ kHz$

$f_p = 318{,}47\ kHz$

$f_0 = \frac{GBWP}{A_0} = 10\ Hz$



Attraversando con pendenza $-20dB/dec \rightarrow$ STABILE