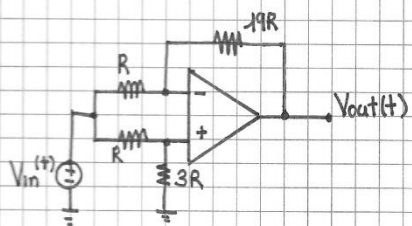


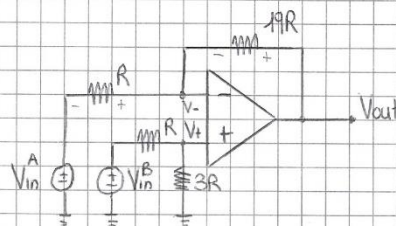
ESERCIZI

ES.1 14/09/2018



può diventare

$\Rightarrow$



a) Determina la funzione di trasferimento

$\frac{V_{out}}{V_{in}}$? $V_{out} = d_1 V_{in}^B - d_2 V_{in}^A$ è un sottrattore

Uso PSE

(B) $V_{in}^A \rightarrow CC$. Configurazione non invertente

$$\begin{cases} \frac{V_-}{R} = \frac{V_{out} - V_-}{19R} \\ V_+ = V_- \\ V_+ = \frac{3R V_{in}^B}{3R + R} = \frac{3}{4} V_{in}^B \end{cases} \Rightarrow V_{out} = 15 V_{in}^B \quad d_1 = 15$$

(A) $V_{in}^B \rightarrow CC$ configurazione invertente

$$\begin{cases} \frac{V_- - V_{in}^A}{R} = \frac{V_{out} - V_-}{19R} \\ V_+ = V_- = 0 \end{cases} \Rightarrow V_{out} = -19 V_{in}^A \quad d_2 = +19$$

$$V_{out} = 15 V_{in} - 19 V_{in} = -4 V_{in}$$

b) Diagramma asintotico della F.d.T. usando un AO con $A(f) = \frac{10^5}{1 + j0.01f}$

Dal testo $A_0 = 10^5$

$$f_H = 100 \text{ (Hz)}$$

$$f_T = 10^5 \cdot 100 = 10^7 \text{ (Hz)}$$

Trovo $A_f(f)$

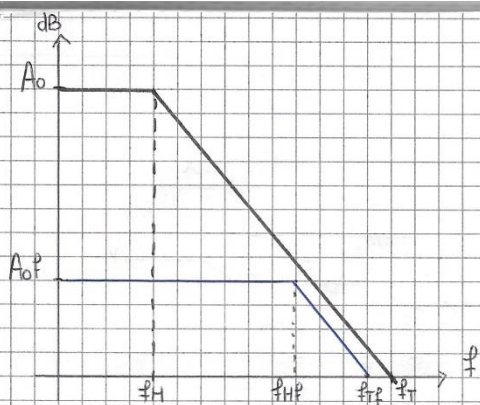
$$A_f^A = \left(1 - \frac{1}{\beta}\right) \frac{\beta A_0}{1 + \beta A_0} \frac{1}{1 + j \frac{f}{f_{HF}}} \quad A_f^B = \frac{3}{4\beta} \frac{\beta A_0}{1 + \beta A_0} \frac{1}{1 + j \frac{f}{f_{HF}}}$$

$$A_f = \left[1 - \frac{1}{\beta} + \frac{3}{4\beta}\right] \frac{\beta A_0}{1 + \beta A_0} \frac{1}{1 + j \frac{f}{f_{HF}}}$$

$$\beta = \frac{R}{R + 19R} = \frac{1}{20} \Rightarrow A_{0f} = 1 - 20 + \frac{3 \cdot 20}{4} = -6 \text{ indB} \Rightarrow \text{dB} = 20 \log_{10}(6) \approx 12 \text{ dB}$$

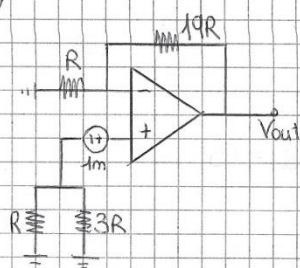
$$f_{HF} = f_H (1 + \beta A_0) = 100 \left(1 + \frac{1}{20} \cdot 10^5\right) = 5 \cdot 10^5 \text{ Hz}$$

$$f_{TF} = A_{0f} \cdot f_{HF} = 2 \cdot 10^6 \text{ Hz}$$



1) Effetto sull'uscita di una tensione di offset = 1 mV

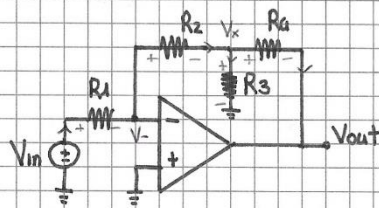
PSE ottengo:



configurazione non invertente

$$V_{out} = \frac{1}{\beta} V_{in} = 20 \cdot 1m = 20mV$$

ES 1 10/07/2019



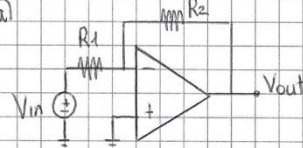
a) Progetta un amplificatore con $A_{vfo} = -100$, $R_{in} = 1M\Omega$, $R < 1M\Omega$ (ideale)

$$\begin{cases} 1=2 \\ 2=3+4 \end{cases} \quad \begin{cases} \frac{V_{in}-V_x}{R_1} = \frac{V_x-V_x}{R_2} \\ \frac{V_x-V_x}{R_2} = \frac{V_x}{R_3} + \frac{V_x-V_{out}}{R_4} \end{cases} \Rightarrow \begin{aligned} V_x &= -\frac{R_2}{R_1} V_{in} \\ V_{out} &= \frac{-R_2 R_4 + R_3 R_4 - R_2 R_3}{R_1} V_{in} \end{aligned}$$

$V_+ = V_- = 0V$

quindi $\begin{cases} \frac{-R_2 R_4 + R_3 R_4 - R_2 R_3}{R_1} = +100 \\ R_{in} = R_1 = 1M\Omega \end{cases} \Rightarrow$ non scegliere $\begin{aligned} R_1 = R_2 = R_4 &= 1M\Omega \\ R_3 &\approx 10K\Omega \end{aligned}$

b) Discutere le differenze tra il circuito ed il circuito invertente standard a resistenza

a)  sempre $R_1 = 1M\Omega$ Banda passante

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = 1 - \frac{1}{\beta} = 100 \Rightarrow R_2 = 100M\Omega$$

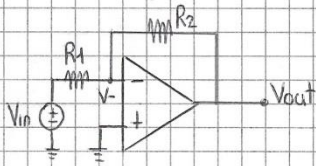
b) $\beta?$

standard: $\beta = \frac{R_1}{R_1 + R_2} = \frac{1M\Omega}{1M\Omega + 100M\Omega} = 0.01$

circuito:

es1 23/06/2020

a) Progettare un amplificatore invertente $A_{vf0} = -9$, $R_{in} = 10 \text{ k}\Omega$

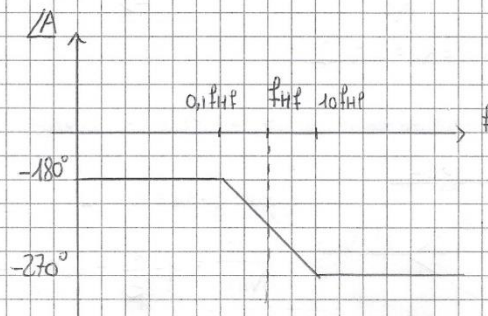
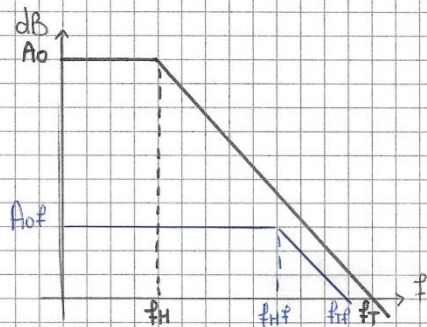


$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{V_{out}}{V_{in}} = 1 - \frac{1}{\beta} = -\frac{R_2}{R_1} = -9 \\ R_{in} = R_1 = 10 \text{ k}\Omega \end{array} \right. \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} R_1 = 10 \text{ k}\Omega \\ R_2 = 90 \text{ k}\Omega \end{array} \right. \quad \beta = \frac{R_1}{R_1 + R_2} = \frac{1}{10}$$

b) Tracciare i diagrammi di Bode in modulo e fase, avendo $A(f) = \frac{10^5}{1 + j0.1f}$

$$A_0 = 10^5 \quad f_T = 10^6 \text{ Hz} \\ f_H = 10 \text{ Hz}$$

$$A_{of} = 9 \quad f_{HF} = f_H (1 + \beta A_0) = 10 \left(1 + \frac{1}{10} 10^5 \right) = 10^5 \text{ Hz} \quad f_T = 9 \cdot 10^5 \text{ Hz}$$

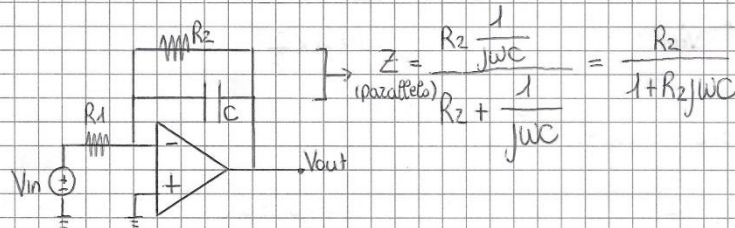


es.1 9/02/2021

INTEGRATORE

a) Progettare un circuito con $A_f = -\frac{A_o}{1+j\frac{f}{f_{HP}}} = \frac{-10}{1+j\frac{f}{2 \cdot 10^4}}$

• schema elettrico
• diagramma di Bode di modulo e fase



$$A_o = 10$$

$$f_{HP} = 2 \cdot 10^4 \text{ Hz}$$

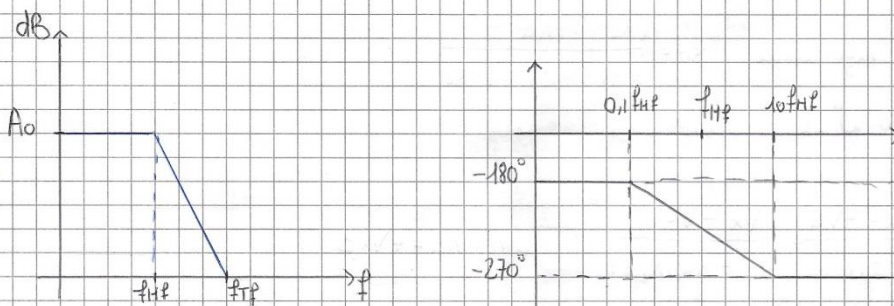
$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = 1 - \frac{1}{\beta} = -\frac{Z}{R_1} = -\left(\frac{R_2}{R_1}\right) \frac{1}{1+j\omega CR_2}$$

$$f_{TF} = f_{HP} \cdot A_o = 2 \cdot 10^5 \text{ Hz}$$

Scelgo $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$
 $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$

$$\Rightarrow C = \frac{1}{2\pi R_2 f_{TF}} = 8 \cdot 10^{-10} \text{ F}$$

$$\frac{1}{\omega CR_2} = f_{HP}$$



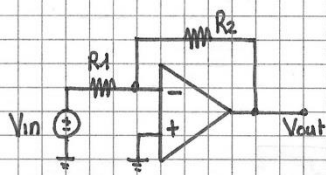
b) $A_o = 10^5$ $f_{H1} = 1.5 \text{ Hz}$ $f_{H2} = 30 \text{ Hz}$ dopo adattati a realizzare la funzione ↑ ?

$$f_{TF} = 2 \cdot 10^5 \text{ Hz}$$

$$f_{T1} = 1.5 \cdot 10^5 \text{ Hz} \text{ non va bene, } \hat{e} \text{ pi\`u piccolo}$$

$$f_{T2} = 30 \cdot 10^5 \text{ Hz} \checkmark \text{ } \hat{e} \text{ pi\`u grande}$$

ES1 26/09/2018



$$R_1 = 10 \text{ k}\Omega$$

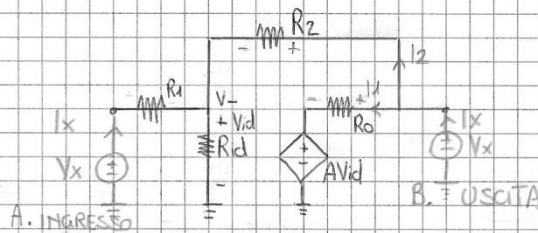
$$R_2 = 100 \text{ k}\Omega$$

$$A_v = 100 \text{ dB} = 10^{100/20} = 100000$$

$$R_{id} = 10^6 \Omega$$

$$R_o = 1 \text{ k}\Omega$$

Calcolare le resistenze di ingresso e di uscita.



configurazione
invertente

A. INGRESSO

$$I_x = I_1 + I_2 = \frac{V_x - A V_{id}}{R_2 + R_o} + \frac{V_x}{R_{id}} = \frac{V_x + A V_x}{R_2 + R_o} + \frac{V_x}{R_{id}}$$

$$R_{if} = \frac{V_x}{I_x} \leadsto \text{svolgere i calcoli} \quad R_{if} = \frac{(R_2 + R_o) R_{id}}{R_{id}(1 + A) + R_2 + R_o}$$

$$R_{if} = R_1 + R_{if} \approx 10^4 \Omega$$

B. USCITA

$$I_x = I_1 + I_2 = \frac{V_x - A V_{id}}{R_o} + \frac{V_x}{R_2 + R_1 \parallel R_{id}} \quad \text{con } V_{id} = +V_x \beta$$

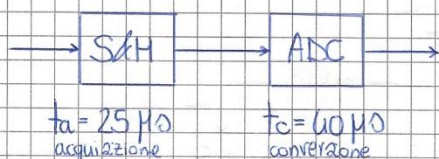
$$R_{of} = \frac{V_x}{I_x} = \frac{R_o(R_2 + R_1 \parallel R_{id})}{(R_2 + R_1 \parallel R_{id})(1 + A) + R_o} \quad \text{con } R_1 \parallel R_{id} = \frac{R_1 R_{id}}{R_1 + R_{id}} = 9900 \Omega$$

$$\approx 999 \times 10^3 \Omega$$

es.2 09/09/2021

CONVERTITORE A/D
GENERICO

2



$n = 10 \text{ bit}$

$V_{FS} = 10V$ $V_{(H)} \in [0; V_{FS}]$

a) minima frequenza teorica per rispettare il teo. di campionamento?

$$T_c = t_a + t_c = 25 \mu s + 40 \mu s = 65 \mu s$$

campionamento

$$f_c = \frac{1}{T_c} = 15,38 \text{ kHz} \Rightarrow f_c \gg 2B \quad B \leq \frac{f_c}{2} = 7,69 \text{ kHz}$$

b) massimo errore di quantizzazione per ARR?

$$ARR_{\max} = \frac{V_{LSB}}{2} = \frac{V_{FS}}{2^n} \cdot \frac{1}{2} = \frac{10}{2^{10}} \cdot \frac{1}{2} = 6,88 \cdot 10^{-3} \text{ V}$$

c) massimo rapporto segnale rumore?

$$ARR \rightarrow SNR_{dB} = (n \cdot 6,02 + 1,75) \text{ dB} = 10 \cdot 6,02 + 1,75 = 61,95 \text{ dB}$$

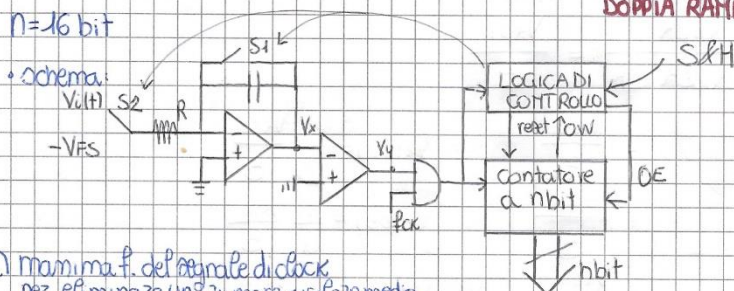
es.1 15/06/2021

CONVERTITORE A/D
DOPPIA RAMPA

2

$n = 16 \text{ bit}$

• schema:



a) minima f. del segnale di clock
per eliminare un° rumore a valore medio
nullo a 50 Hz

$$T_{\text{rumore}} = \frac{1}{50} = 20 \text{ ms}$$

$$TR = 2^n T_{CK} = n T_{\text{rumore}} \Rightarrow T_{CK} = \frac{n T_{\text{rumore}}}{2^n} = \frac{16 \cdot 20 \text{ ms}}{2^{16}} = 6,88 \cdot 10^{-6} \text{ s}$$

$$f_{CK} = \frac{1}{T_{CK}} = 145,38 \text{ kHz}$$

b) Costante di tempo dell'integratore? $V_i = 3V$ $V_x = -4V$

$$V_x = -\frac{V_i}{RC} T_{CK} \Rightarrow RC = -\frac{V_i T_{CK}}{V_x} = + \frac{3 \cdot 6,88 \cdot 10^{-6}}{4} = 3,66 \cdot 10^{-6} \text{ s}$$

c) massimo rapporto segnale rumore?

$$SNR_{dB} = n \cdot 6,02 \text{ dB} - 4,25 \text{ dB} = 92,07 \text{ dB}$$

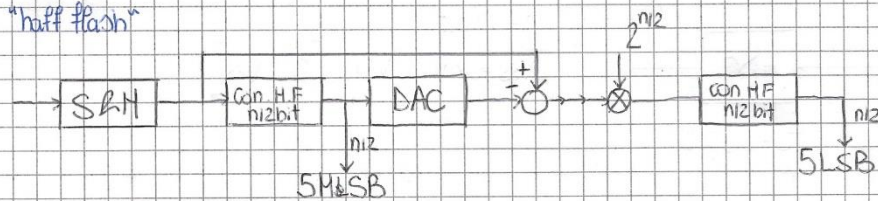
TR

ES 2 26/09/2020

CONVERTITORE A/D HALF FLASH

2

"half flash"



$$n = 10 \text{ bit} \quad n/2 = 5 \text{ bit}$$

rapporto segnale rumore?

$$SNR_{dB} = (n \cdot 6.02 + 1.76) \text{ dB} = (10 \cdot 6.02 + 1.76) \text{ dB} = 61.96 \text{ dB}$$

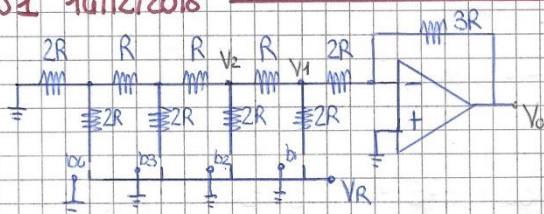
ARR

ES 1 16/12/2018

CONVERTITORE D/A RETE A SCALA

determina l'espressione della tensione in uscita

$$V_R = 2.5 \text{ V}$$



• Valore tensione in uscita 1011?

$$PSE \quad b_i V_R \Rightarrow \begin{cases} 0 & \propto b_i = 0 \\ V_R & \propto b_i = 1 \end{cases}$$

$$\bullet b_1 = 1 \quad V_1(b_1) = V_R b_1 \frac{2R \parallel 2R}{2R \parallel 2R + 2R} = \frac{V_R b_1}{3}$$

$$\bullet b_2 = 1 \quad V_2(b_2) = V_R b_2 \frac{V_R b_2}{3} \leadsto V_1(b_2) = \frac{1}{2} \frac{V_R b_2}{3}$$

$$\bullet b_3 = 1 \quad V_3(b_3) = \frac{V_R b_3}{3} \leadsto V_1(b_3) = \frac{1}{4} \frac{V_R b_3}{3}$$

$$\bullet b_4 = 1 \quad V_4(b_4) = \frac{V_R b_4}{3} \leadsto V_1(b_4) = \frac{1}{8} \frac{V_R b_4}{3}$$

$$V_{out} = - \frac{R_2}{R_1} V_1 = - \frac{3R}{2R} V_1 = - \frac{3}{2} \left[\frac{b_1}{3} + \frac{1}{2} \frac{b_2}{3} + \frac{1}{4} \frac{b_3}{3} + \frac{1}{8} \frac{b_4}{3} \right] V_R =$$

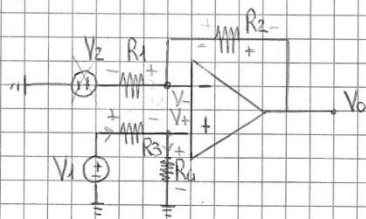
$$= - \frac{V_R}{16} [b_4 + 2b_3 + 4b_2 + 8b_1]$$

$$\bullet V_R = 2.5 \text{ V}$$

$$\begin{aligned} b_1 &= 1 \\ b_2 &= 0 \\ b_3 &= 0 \\ b_4 &= 1 \end{aligned} \quad \leadsto V_{out} = 1.71 \text{ V}$$

a) Progettare $V_o = 6V_1 - 7V_2$

Sottrattore



PSE • V_1 CC.

$$V_+ = V_- = 0 \text{ V}$$

$$\frac{V_2}{R_1} = \frac{-V_{out}}{R_2}$$

$$V_{out} = V_2 \left(-\frac{R_2}{R_1} \right)$$

quindi $\frac{R_2}{R_1} = 7$

• V_2 CC.

$$V_+ = V_1 \frac{R_4}{R_3 + R_4}$$

$$\frac{V_-}{R_1} = \frac{V_{out} - V_-}{R_2}$$

$$V_- = V_+$$

$$\Rightarrow V_- = \frac{R_1}{R_2 + R_1} V_{out} = V_1 \frac{R_4}{R_3 + R_4} \quad \leadsto \quad V_{out} = \frac{R_2 + R_1}{R_1} \frac{R_4}{R_3 + R_4} V_1$$

quindi $\frac{R_2 + R_1}{R_1} \frac{R_4}{R_3 + R_4} = 6$

Possibile soluzione $R_2 = 7 \text{ k}\Omega$ $R_3 = R_4 = 1 \text{ k}\Omega$
 $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$

b) GBW (f_T) min? $f_H = 150 \text{ kHz}$

Sappiamo $A_{oTH} = f_T$

$$V_{out} = \left[\left(1 - \frac{1}{\beta} \right) V_2 + \frac{1}{2} \frac{1}{\beta} V_1 \right] \frac{\beta A_o}{1 + \beta A_o} \frac{1}{1 + j \frac{f}{f_H(1 + \beta A_o)}}$$

$$f_{HE} = f_H (1 + \beta A_o) \gg 150 \text{ kHz}$$

$$1/\beta = 8 \Rightarrow \text{GBW}_{min} = A_o \cdot f_H = 8 \cdot 150 \text{ K} = 1.2 \text{ MHz}$$

c) rail to rail $\pm 10 \text{ V}$, SR min?

$$SR = \left| \frac{dV_{out}}{dt} \right|_{max} \quad V_{out} = A \sin(2\pi f t)$$

$$SR \geq A \cdot 2\pi \cdot f_{HE} = 10 \cdot 2\pi \cdot 150 \text{ K} = 9.42 \text{ V}/\mu\text{s}$$

ES 2 8/07/2021

INVERTER CHOS

3

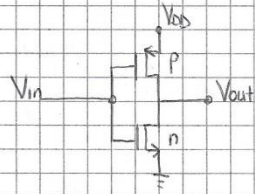
$V_{DD} = 5V$

$V_{TH} = -V_{TP} = 1V$

$K_n = 0,5 \mu A/V^2 \times \frac{W_n}{L_n} = 125 \mu A/V^2$

$K_p = 50 \mu A/V^2$

• Disegnare lo schema



a) t_p ? $C_T = 10pF$

$$t_{p_n} = \frac{C_T V_{DD}/2}{K_n (V_{DD} - V_{TH})^2} = \frac{10p \cdot 5/2}{125 \mu (5-1)^2} = 12,5 n \cdot s$$

$$t_{p_p} = 31,25 n \cdot s$$

$$t_p = \frac{t_{p_n} + t_{p_p}}{2} = 21,875 n \cdot s$$

b) V_{SL} ?

$V_{out} = V_{in}$

$K_n (V_i - V_{TH})^2 = K_p (V_{DD} - V_i - V_{TP})^2$

$125 \cdot 10^{-6} (V_i - 1)^2 = 50 \cdot 10^{-6} (5 - V_i - 1)^2$

$125 (V_i^2 + 1 - 2V_i) = 50 (16 + V_i^2 - 8V_i)$

$2,5 V_i^2 + 2,5 - 5V_i - 16 - V_i^2 + 8V_i = 0$

$1,5 V_i^2 + 3V_i - 13,5 = 0$

$V_{i12} = \frac{-3 \pm \sqrt{3^2 - 4(1,5)(-13,5)}}{1,5 \cdot 2}$

$\rightarrow 2,16 \sqrt{V}$

ES 2 9/02/2021

INVERTER CHOS

3



15 inverters CHOS

$V_{DD} = 5V$

a) $f = 7,5 MHz$, t_p ?

Periodo $T = (t_{p_{LH}} + t_{p_{HL}}) N \Rightarrow t_p = \frac{t_{p_{LH}} + t_{p_{HL}}}{2} = \frac{T}{2N} = 6,63 \cdot 10^{-9} s$

$T = \frac{1}{f} = 1,33 \cdot 10^{-7} s$

b) $C_L = 100pF$, P_D ?

$P_D = N \cdot C_L V_{DD}^2 \cdot f = 2,81 mW$

ed1 9/09/2020

GENERATORE D'ONDA TRIANGOLARE

1

rail to rail 12V

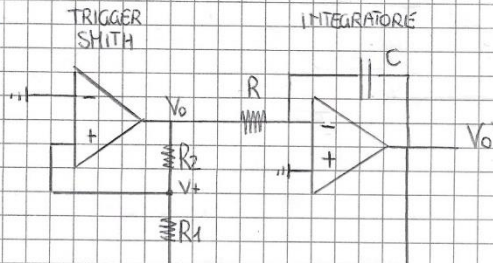
corrente max 20mA
out

duty cycle 50%

$[-6; 6]$ V

$f = 10$ kHz

Schema



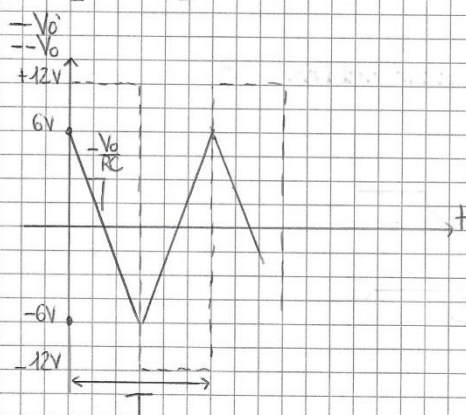
$$V_+ = \beta V_0 + (1-\beta) V_0' = 0 \Rightarrow V_0' = -\frac{\beta}{1-\beta} V_0$$

$$\beta = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad 1-\beta = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \Rightarrow V_0' = -\frac{R_1}{R_2} V_0$$

$$V_0 = [+12; -12] \text{ V}$$

$$V_0' = [-6; +6] \text{ V}$$

trovo $\sim \frac{R_1}{R_2} = \frac{1}{2}$



$$V_0(T/2) = V_0'(0) - \frac{V_0 T}{RC 2}$$

$$-6 = 6 - \frac{12 T}{RC 2}$$

$$\text{con } T = \frac{1}{f} = 10^{-4} \text{ s}$$

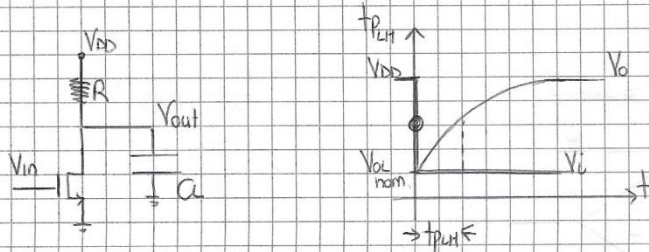
$$\sim RC = 50 \cdot 10^{-6}$$

es2 9/09/2020

PORTA OPEN DRAIN

3

$C_L = 10 \text{ pF}$ $V_{DD} = 5 \text{ V}$
 $t_{PLH} \leq 10 \text{ ns}$ $V_{OLnom} = 0.2 \text{ V}$



$\bullet \frac{V_{DD} + V_{OLnom}}{2} = 2.6 \text{ V}$

Legge di carica del condensatore $V_o(t) = [V_o(\infty) - V_o(0)](1 - e^{-t/RC}) + V_o(0)$

$2.6 = (5 - 0.2)(1 - e^{-\frac{t_{PLH}}{RC}}) + 0.2 \quad \leadsto \quad t_{PLH} = RC \ln 2$

$\downarrow$ $\downarrow$
 10 ns 10 pF

$\Rightarrow R = 1.662 \text{ k}\Omega$

es3 9/09/2020

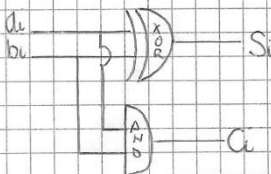
HALF ADDER

3

Scrivere la tab. verità di un half adder + schema

a_i	b_i	S_i	C_i
0	0	0	0
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	0	1

$S_i = a_i \oplus b_i = a_i b_i + a_i \bar{b}_i$
 $C_i = a_i \cdot b_i$



Tradurre lo schema in un circuito CMOS

$S_i = \bar{A}B + A\bar{B}$



es1 9/09/2021

BODE

1

$$A_{\beta 0} = 10$$

$$f_H \geq 200 \text{ kHz}$$

$$V_{out} \pm 20 \text{ V}$$

$$V_{TOL} \pm 5 \text{ V} \pm 15 \text{ V}$$

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

$$R_L \geq 10 \text{ k}\Omega$$

$$A_0 = 2 \cdot 10^5$$

$$f_H = 5 \text{ Hz}$$

$$SR = 0,5 \text{ V}/\mu\text{s}$$

$$T_{LOB}$$

$$2$$

$$f_H = 20 \text{ Hz}$$

$$SR = 13 \text{ V}/\mu\text{s}$$

determinare se sono adatti a soddisfare le specifiche

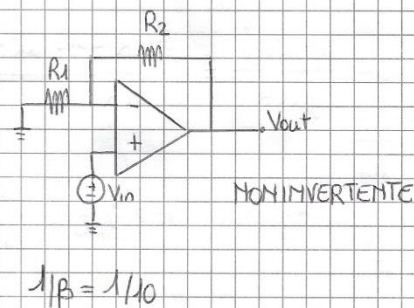
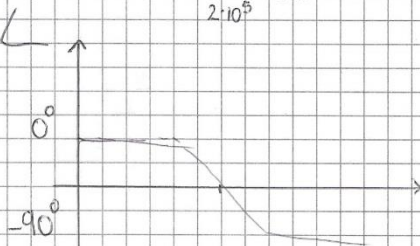
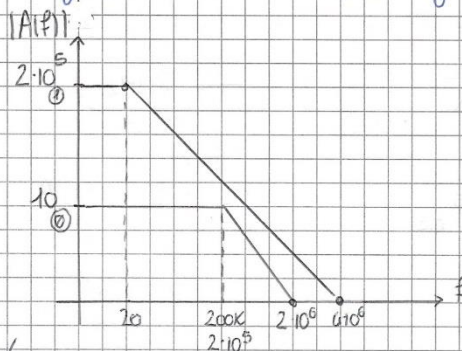
Calcoliamo la frequenza di transizione f_T

$$f_T = A_{\beta 0} \cdot f_H = 10 \cdot 200 \text{ kHz} = 2 \cdot 10^6 \text{ Hz}$$

$$f_{T1} = 2 \cdot 10^5 \cdot 5 = 10^6 \text{ Hz NO}$$

$$f_{T2} = 2 \cdot 10^5 \cdot 20 = 4 \cdot 10^6 \text{ Hz SI}$$

disegnare lo schema dell' circuito e diagrammi di Bode



$$1/\beta = 1/10$$

- specifica $V_{pp}^{out} \sim 1 \checkmark$ perché hanno alimentazione $\pm 15 \text{ V}$
- 2 $\checkmark$

ES1 16-07-2020

INTEGRATORE 1

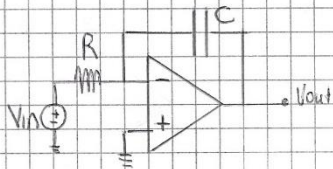
$$R = 10k\Omega$$

GBW_{min}?

• $\omega > 10$ rad/s
funziona da integratore

$$C = 1nF$$

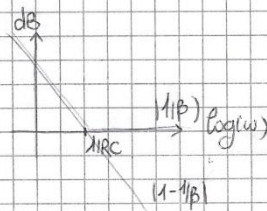
• $|A\beta| = 60dB$ per $\omega = 10^5$ rad/s



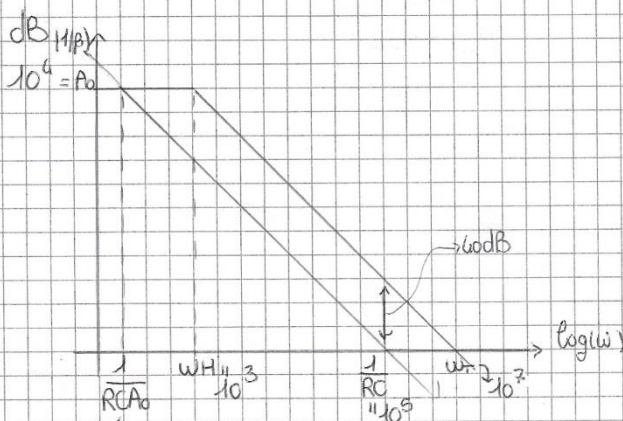
$$\beta = \frac{R}{R + 1/j\omega C} = \frac{R}{Rj\omega C + 1} = \frac{j\omega CR}{1 + j\omega CR}$$

$$1 - \frac{1}{\beta} = 1 - \frac{1 + j\omega CR}{j\omega CR} = \frac{j\omega CR - 1 - j\omega CR}{j\omega CR} = \frac{-1}{j\omega CR}$$

$$= \frac{V_{out}}{V_{in}}$$



per funzionare da integratore $\omega_T > 1/RC = \frac{1}{10^4 \cdot 10^{-9}} = 10^5$ Hz



da qui ho
10 integratore

$$\frac{1}{RC A_0} = 10 \sim 10^5 \frac{1}{A_0} = 10 \quad A_0 = \frac{10^5}{10} = 10^4$$

$$\omega_T = \frac{1}{RC} \cdot |A\beta| = 10^5 \cdot 100 = 10^7$$

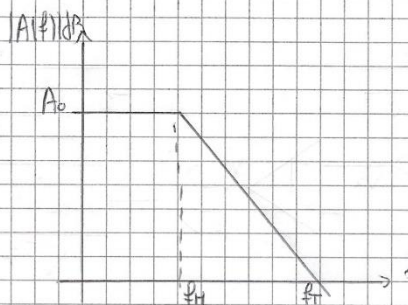
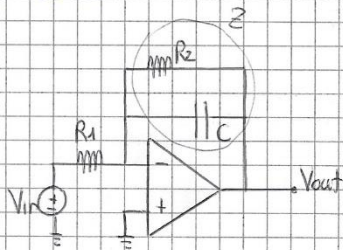
$$\omega_H = \frac{\omega_T}{A_0} = \frac{10^7}{10^4} = 10^3$$

ES-1 15/04/2021

BODE

1

$A_0 = 66 \text{ dB}$ Progettare e riportare i diagrammi di Bode
 $f_H = 100 \text{ Hz}$

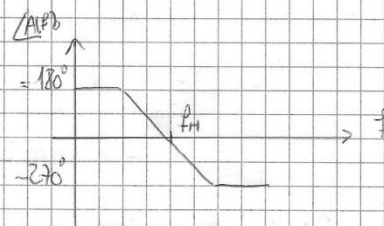


$$A(f) = \frac{A_0}{1 + j \frac{f}{f_H}}$$

$$A_0 = 66 \text{ dB} = 200$$

$$f_T = f_H A_0 = 200 \cdot 100 = 2 \cdot 10^4 \text{ Hz}$$

$$Z = \frac{R_2 \frac{1}{j\omega C}}{R_1 + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{R_2}{j\omega C} \cdot \frac{j\omega C}{1 + j\omega C R_2}$$



$$\beta = \frac{R_1}{R_1 + Z} = \frac{R_1}{R_1 + \frac{R_2}{1 + j\omega C R_2}} = \frac{R_1 (1 + j\omega C R_2)}{R_1 (1 + j\omega C R_2) + R_2}$$

$$A_0 f = 5 \cdot 10^4$$

$$|A(f)| = 60 \text{ dB} = 100$$

$$f_T f = 5 \cdot 10^4 \cdot 100 = 5 \cdot 10^6 \text{ Hz}$$

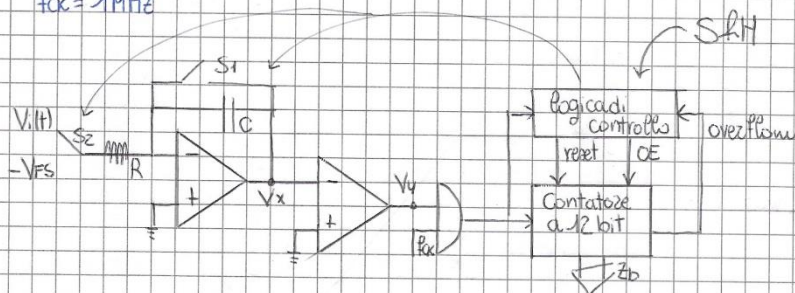
$$f_H f = 10^2 \text{ Hz}$$

ES2 16/07/2020

CONVERTITORE
DOPPIA RAMPA

2

$N=12$ bit
 $f_{clk}=1\text{MHz}$
 $t_{conversion}?$
 $SNR_{max}?$



$$t_c = t_{acq} + t_{sett} + t_{RV} + t_{RD}$$

$$SNR = 16,02 + 1,75 \text{ dB} = 73,99 \text{ dB}$$

$$t_{RV} = 2^n T_{clk}$$

$$= 6,096 \text{ ms}$$

$$T_{clk} = \frac{1}{1\text{M}} = 10^{-6} \text{ s}$$

ES3 16/07/2020

INVERTER
CHOS

3

$$K_n = 0,5 \mu\text{A/Cox} \frac{W_n}{L_n} = 2K_p = 50 \mu\text{A/V}^2$$

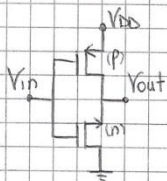
$$V_{DD} = 5\text{V}$$

$$V_{TN} = -V_{TP} = 1\text{V}$$

$$C_L = 10\text{pF}$$

$$V_{SL}?$$

$$t_p?$$



$$K_n (V_i - V_{TN})^2 = K_p (V_{DD} - V_i - V_{TP})^2 \sim 2(V_i^2 + 1 - 2V_i) = 16 + V_i^2 - 8V_i$$

$$2V_i^2 + 2 - 4V_i - 16 - V_i^2 + 8V_i = 0$$

$$V_i^2 + 6V_i - 14 = 0$$

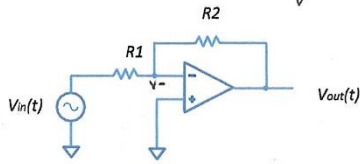
$$V_{i,12} = \frac{-2 \pm \sqrt{4+16}}{1} = 2,20 \text{ V} \checkmark$$

$$t_{pH} = \frac{C_L V_{DD}/2}{K_n (V_{DD} - V_{TN})^2} = 31,25 \text{ ns}$$

$$t_p = \frac{t_{pH} + t_{pHL}}{2} = 66,87 \text{ ns}$$

$$t_{pHL} = \frac{C_L V_{DD}/2}{K_p (V_{DD} - V_{TP})^2} = 2,5 \cdot 31,25 \text{ ns}$$

1) Con riferimento al circuito in figura:



26/09/2018

6

CONFIGURAZIONE INVERTENTE

$$R_1 = 10 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 100 \text{ k}\Omega$$

$$A_v = 100 \text{ dB} = 100000 = 10^5$$

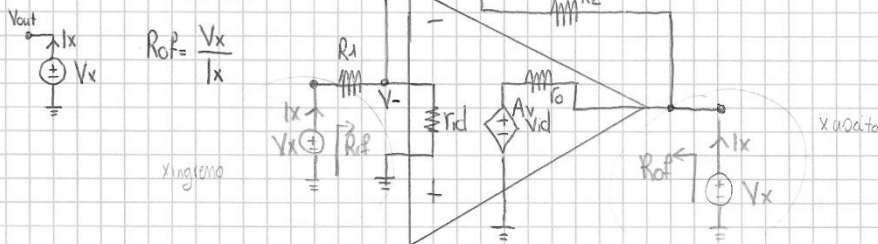
$$r_{id} = 10^6 \Omega$$

$$r_o = 1 \text{ k}\Omega$$

Calcolare le resistenze di ingresso e di uscita ricavando le relative espressioni. Si consideri: $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 100 \text{ k}\Omega$, e, per quanto riguarda l'AO, guadagno differenziale ad anello aperto $A_v = 100 \text{ dB}$, resistenza differenziale di ingresso $r_{id} = 10^6 \Omega$, resistenza di uscita $r_o = 1 \text{ k}\Omega$.

• Trovo β : $V_- = V_+ = 0$ $\frac{V_{in} - V_-}{R_1} = \frac{V_- - V_{out}}{R_2} \Rightarrow V_{out} = -\frac{R_2}{R_1} V_{in} \Rightarrow \beta = -1/9$

• Trovo la resistenza di uscita



$$I_x = I_1 + I_2 = \frac{V_x - A_v V_{id}}{r_o} + \frac{-V_- + V_x}{R_2 + R_1 \parallel r_{id}} = \frac{V_x}{r_o} + \frac{V_x(1 + A_o \beta)}{r_o}$$

$$I_x = \frac{V_x}{11 \cdot 10^6 \Omega} + \frac{V_x(-11110)}{1 \text{ k}\Omega} \Rightarrow \frac{V_x}{I_x} = R_{of} = 11 \Omega$$

• Trovo la resistenza di ingresso

$$R_{if} = \frac{V_x}{I_x} \quad I_x = I_1 + I_2 = \frac{V_x}{r_{id}} + \frac{V_x - A_v V_{id}}{R_2 + r_o} = \frac{V_x}{r_{id}} + \frac{(1 + A_v) V_x}{R_2 + r_o}$$

$$I_x = V_x \quad R_{if} = 1 + R_1 = 11 \text{ k}\Omega$$

Esercizio 1:

1. Dato l'amplificatore non invertente di Fig. 1, si determini il valore delle resistenze R_1 e R_2 in modo da ottenere un guadagno di 40 dB e, allo stesso tempo, minimizzare gli effetti delle correnti di polarizzazione d'ingresso. Nel risolvere l'esercizio si consideri l'amplificatore operazionale ideale tranne che per la presenza delle correnti di polarizzazione I_{B1} e I_{B2} , e si assuma $R_s = 10 \text{ k}\Omega$.
2. Tracciare il diagramma di Bode in modulo e fase dell'amplificatore progettato nell'ipotesi che l'amplificatore operazionale sia a singolo polo, ed abbia guadagno in continua $A_{v0} = 100 \text{ dB}$ e $\text{GBW} = 1.5 \text{ MHz}$.

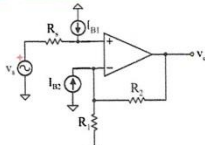


Fig. 1

5/02/2019

CONFIGURAZIONE
NON INVERTENTE

1) $A_0 = 40 \text{ dB} = 100$

$R_s = 10 \text{ k}\Omega$

Uso il principio di sovrapposizione degli effetti

• $V_{in} \Rightarrow$ NON INVERTENTE

R_s ignora non
sceglie corrente

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} = 100$$

• $I_{B1} \Rightarrow$ Potenziale

$$V_+ = -R_s I_{B1}$$

$$V_- = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{out}$$

$$\left. \begin{array}{l} V_+ = -R_s I_{B1} \\ V_- = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{out} \end{array} \right\} \rightarrow -R_s I_{B1} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{out} \sim$$

$$\sim V_{out} = - \frac{R_s (R_1 + R_2)}{R_1} I_{B1}$$

• $I_{B2} \Rightarrow V_{out} + V_{R2} + V_{R1} = 0$

$$V_{out} = -V_{R1} - V_{R2}$$

$$V_{out} = -I_{B2} R_1 - I_{B2} R_2 = -I_{B2} (R_1 + R_2)$$

Sceglgo $R_1 = 99 \text{ k}\Omega$

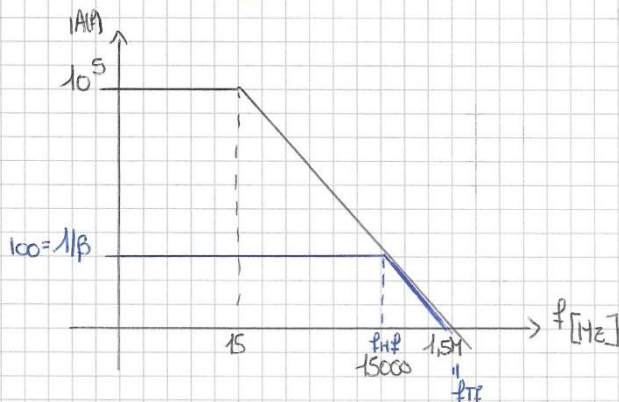
$R_2 = 1 \text{ k}\Omega$

Possiamo lavorare su
questo, quindi tantopiù
grandi. Sono meglio

b) $A_{v0} = 100 \text{ dB} = 10^5$

$\text{GBW} = f_T = 1.5 \text{ MHz}$

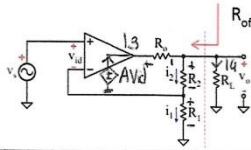
$$\frac{A_0 f_H}{f_T} = 1 \quad f_H = \frac{f_T}{A_0} = \frac{1.5 \text{ M}}{10^5} = 15$$



$$f_{HF} = \frac{f_T}{A_{v0}} = \frac{1.5 \text{ M}}{100} = 15000$$

$$f_{HF} = f_H (1 + \beta A_{v0}) = 15 \left(1 + \frac{1}{100} 10^5 \right) = 15000$$

2. Il circuito mostrato in Fig. 2 utilizza un amplificatore operazionale considerato ideale tranne che per il guadagno A finito. Si ricavi l'espressione della tensione di uscita V_o e della resistenza di uscita vista dal carico R_L in funzione dei parametri del circuito. Dati: $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 90 \text{ k}\Omega$, $R_L = 1 \text{ k}\Omega$, $R_o = 50 \Omega$, $A_{dB} = 80 \text{ dB}$.



16/12/2018

CONFIGURAZIONE NON INVERTENTE

(5)

$$R_1 = 10 \text{ k}\Omega$$

$$R_L = 1 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 90 \text{ k}\Omega$$

$$R_o = 50 \Omega$$

$$A_{dB} = 80 \text{ dB} = 10^4$$

$$V_{id} = V_+ - V_- = V_{in} - R_1 i_1$$

$$i_2 = i_1 = i \quad i_1 + i = i_3 \Rightarrow i = i_3 - i_1$$

$$V_{out} = R_L i$$

$$V_{out} = R_1 i_1 + R_2 i_3 = (R_1 + R_2) i_3$$

$$\Rightarrow i_3 = \frac{V_{out}}{R_1 + R_2}$$

$$-A V_{id} + R_o i_3 + V_{out} = 0$$

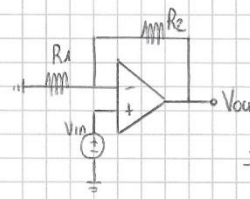
e poniamo ziccaraz tutto

1) Progettare un circuito basato su amplificatore operazionale (AO) che abbia guadagno in bassa frequenza $A_{of} = 10$, banda passante a $-3 \text{ dB} \geq 200 \text{ kHz}$ e possibilità di fornire in uscita segnali di valore picco picco di 20 V sulla banda di 200 kHz . Supponendo di avere a disposizione un AO $\mu A741$ (tensione di alimentazione duale compresa tra $\pm 5 \text{ V}$ e $\pm 15 \text{ V}$, dinamica di uscita minima $\pm(V_{cc} - 3 \text{ V})$ per resistenza carico $R_L \geq 10 \text{ k}\Omega$, $A_{of} = 2 \times 10^5$, $f_H = 5 \text{ Hz}$, $SR = 0.5 \text{ V}/\mu\text{s}$) ed un AO TL081 (tensione di alimentazione duale compresa tra $\pm 5 \text{ V}$ e $\pm 15 \text{ V}$, dinamica di uscita minima $\pm(V_{cc} - 3 \text{ V})$ per resistenza carico $R_L \geq 10 \text{ k}\Omega$, $A_{of} = 2 \times 10^5$, $f_H = 20 \text{ Hz}$, $SR = 13 \text{ V}/\mu\text{s}$), determinare se sono entrambi adatti o meno a soddisfare le specifiche. Qualora almeno uno dei due AO sia adatto a realizzare il circuito (in ogni caso, se lo sono entrambi, scegliere uno dei due AO), disegnare lo schema del circuito indicando il valore dei componenti scelti, e tracciare i diagrammi di Bode in ampiezza e fase del circuito progettato (considerare, per l'AO, di avere guadagno a singolo polo).

9/19/2021

CONFIGURAZIONE NON INVERTENTE

↳ 20 questa



$$V_- = V_+ = V_{in}$$

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{1}{\beta}$$

$$\frac{1}{\beta} = 10$$

$$A_{of} = 10 \quad B_{-3dB} \geq 200 \text{ kHz} \quad V_{outPP} = 20 \text{ V}$$

$$\mu A741 \quad A_{of} = 2 \cdot 10^5 \quad f_H = 5 \text{ Hz} \quad SR = 0.5 \frac{\text{V}}{\mu\text{s}}$$

$$TL081 \quad A_{of} = 2 \cdot 10^5 \quad f_H = 20 \text{ Hz} \quad SR = 13 \frac{\text{V}}{\mu\text{s}}$$

$$\bullet V_{outPP} = 20 \text{ V} \Rightarrow \pm 5 \text{ V} \quad \pm 15 \text{ V} \checkmark$$

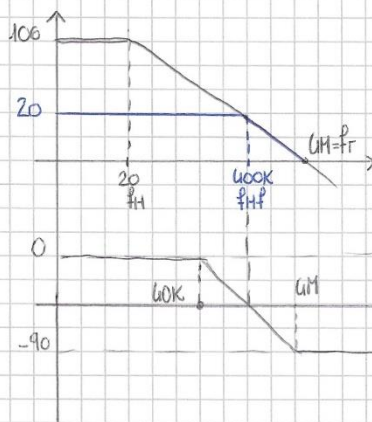
$$R_2 = 9 \text{ k}\Omega \quad R_1 = 1 \text{ k}\Omega \quad 1/\beta = 10$$

$$\bullet A_{of} \checkmark \quad A_{of} < A_{of} \checkmark$$

$$\bullet f_{TH} = 10 \cdot 10^5 = 10^6 \text{ Hz} \quad \text{NO} \quad f_{HP} = 2000 \text{ kHz} = 2 \cdot 10^6 \text{ Hz}$$

$$f_{TL} = 60 \cdot 10^5 = 6 \cdot 10^6 \text{ Hz} \quad \text{SI}$$

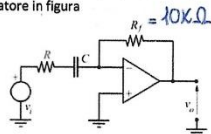
$\Rightarrow TL081 \checkmark$



APPLICAZIONI LINEARI

DERIVATORE (20/06/2018)

1) Si consideri il circuito derivatore in figura



In cui: $v_i = A \sin(2\pi ft)$, con $A = 50 \text{ mV}$ e f compresa nell'intervallo $[10 \text{ Hz} - 100 \text{ kHz}]$, e $R_f = 10 \text{ k}\Omega$.

- Dimensionare R e C perché il circuito si comporti da derivatore nella banda del segnale (considerare un margine di sicurezza di una decade, ovvero che il funzionamento da derivatore si estenda fino a 1 MHz) e fornisca in uscita un segnale di ampiezza massima 1 V .
- Valutare la massima frequenza del segnale di ingresso perché il segnale di uscita non risulti distorto se lo SR dell'amplificatore operazionale è $0.3 \text{ V}/\mu\text{s}$.
- Calcolare il valore del prodotto guadagno - larghezza di banda (GBW) dell'amplificatore operazionale necessario per avere il circuito stabile con margine di fase di 45° . A questo scopo si assuma che il guadagno ad anello aperto in continua dell'amplificatore operazionale sia 120 dB .

$$V_i = A \sin(2\pi ft)$$

$$A = 50 \text{ mV}$$

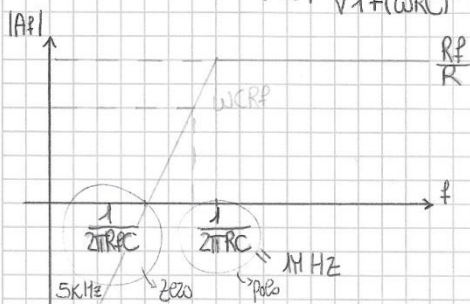
$$f \in [10 \text{ Hz} - 100 \text{ kHz}]$$

a) Abbiamo R in serie a $C \Rightarrow Z = R + \frac{1}{j\omega C} = \frac{1 + j\omega CR}{j\omega C}$

$$\beta = \frac{Z}{R_f + Z} \Rightarrow \frac{V_o}{V_i} = 1 - \frac{1}{\beta} = -\frac{R_f}{R + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{-j\omega CR R_f}{1 + j\omega CR}$$

zero: $\emptyset$
polo: $\checkmark$ oramai polo

$$|A\beta| = \left| \frac{V_o}{V_i} \right| = \frac{\omega CR R_f}{\sqrt{1 + (\omega CR)^2}}$$



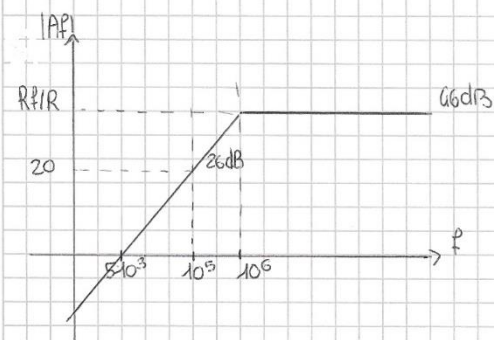
• derivatore fino a 1 MHz

$$\omega CR \cdot A = 1 \quad (V)$$

$$\frac{\omega}{2\pi} = 10^5 \text{ Hz}$$

$$2\pi \cdot 10^5 \cdot C \cdot R_f = \frac{1}{50 \cdot 10^{-3}} \Rightarrow R = 50 \Omega$$

$$1/(2\pi RC) = 10^6 \Rightarrow C = 3.18 \text{ nF}$$



b) $SR = 0.3 \text{ V}/\mu\text{s} = 0.3 \cdot 10^6 \text{ V/s}$

$|A| \approx \omega CR_f$ $f < 10^6 \text{ Hz}$ $V_{out} = \omega CR_f \cdot \overbrace{A \sin(2\pi ft)}^{V_i}$

$\frac{dV_{out}}{dt} = \omega^2 CR_f A \cos(2\pi ft)$

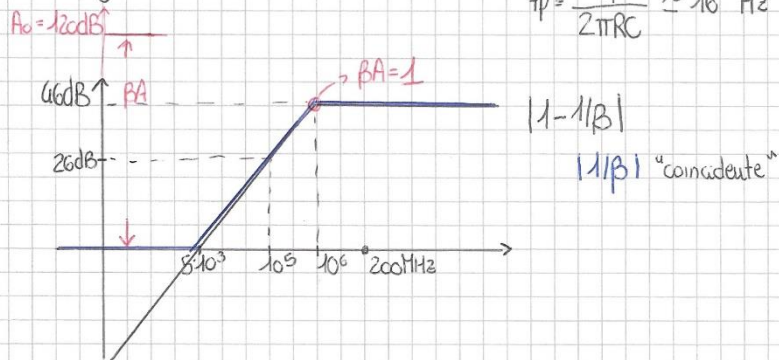
$\left| \frac{dV_{out}}{dt} \right|_{max} = \omega^2 CR_f A < SR \Rightarrow f < 69 \text{ kHz}$

c) $\beta = \frac{Z}{R_f + Z} \approx \frac{1 + j\omega CR}{1 + j\omega C(R + R_f)}$

$\frac{1}{\beta} = \frac{1 + j\omega C(R + R_f)}{1 + j\omega CR}$

$f_z = \frac{1}{2\pi C(R + R_f)} \approx 5 \text{ kHz}$ (zero)

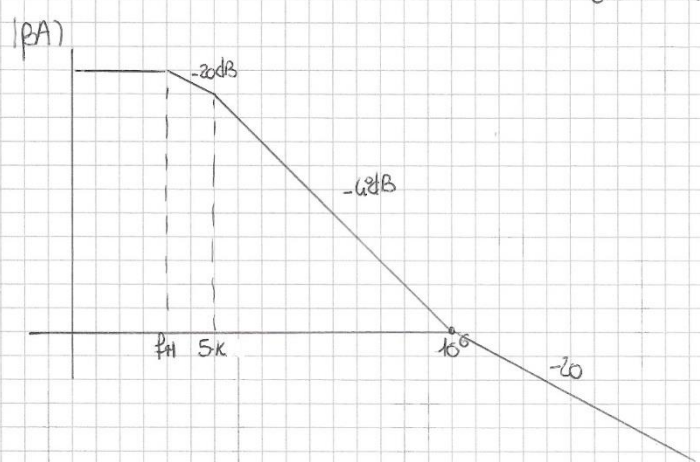
$f_p = \frac{1}{2\pi RC} \approx 10^6 \text{ Hz}$ (pole)



$f > f_H \quad |A(f)| \cdot f = A_0 f_H \Rightarrow 200 \cdot 10^6 = 10^6 \cdot f_H$

$f_H = 200 \text{ Hz}$

$GBW = A_0 f_H = 200 \text{ MHz}$



SOTTRATTORE

08/07/2021

②

- 1) a) Progettare, specificando il valore dei componenti utilizzati, un circuito basato su amplificatore operazionale ideale che dia in uscita la tensione v_o :

$$v_o = 4v_1 - 7v_2$$

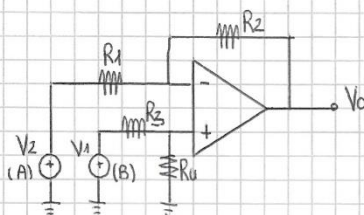
dove v_1 e v_2 sono due generatori di tensione indipendenti;

- b) rimuovendo l'ipotesi di idealità dell'operazionale, specificare quale deve essere il GBW minimo dell'operazionale perché il circuito progettato abbia banda passante a -3 dB di almeno 150 kHz.

- c) supponendo che l'operazionale sia 'rail-to-rail' ed abbia alimentazione duale di valore ± 10 V, determinare quale deve essere lo 'slew rate' minimo per sfruttare senza distorsione l'intera banda e l'intera dinamica del circuito progettato.

Il segno - mi dice che devo usare un sottrattore

a)



$$V_o = \alpha_1 V_1 - \alpha_2 V_2$$

$$\alpha_1 = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_1} = 4$$

$$\alpha_2 = \frac{R_2}{R_1} = 7$$

$$R_1 = 1 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 7 \text{ k}\Omega$$

$$R_3 = 1 \text{ k}\Omega$$

$$R_4 = 1 \text{ k}\Omega$$

$$b) \quad V_{outB} = V_1 \frac{R_4}{R_3 + R_4} \frac{R_1 + R_2}{R_1} \quad V_{outA} = -V_2 \frac{R_2}{R_1}$$

$$\rightarrow V_{out} = \left[V_1 \frac{R_4}{R_3 + R_4} \frac{R_1 + R_2}{R_1} - \frac{R_2}{R_1} V_2 \right] \frac{\beta A_o}{1 + \beta A_o} \frac{1}{1 + j \frac{f}{f_H(1 + \beta A_o)}}$$

$$f_{HP} \geq 150 \text{ kHz} \quad f_{HP} \quad |A(f)| = \frac{A_o f_{HP}}{f}$$

$$\frac{1}{\beta} = 8 = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \quad GBW = \frac{1}{\beta} f_{HP} = 8 \cdot 150 \text{ kHz} = 1200 \text{ kHz}$$

$$c) \quad V_{out}(t) = V_o \sin(2\pi f_o t)$$

$$SR \geq \left| \frac{dV_{out}(t)}{dt} \right|_{MAX} \quad \left| \frac{dV_{out}(t)}{dt} \right| = V_o 2\pi f_o \cos(2\pi f_o t)$$

$$SR \geq V_o 2\pi f_o = 10 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_{HP} = 9,42 \text{ V}/\mu\text{s}$$

SOMMATORE (19-01-2021)

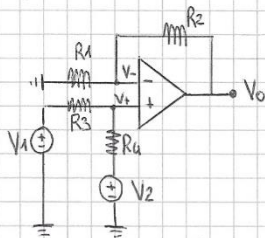
- 1) Si consideri di avere a disposizione un amplificatore operazionale con corrente massima di uscita di 20 mA, tensione massima di uscita $v_{omax} = \pm 10$ V e guadagno ad anello aperto a singolo polo con valore in continua $A_0 = 10^5$ e banda passante a -3 dB di 15 Hz.
Progettare, specificando il valore dei componenti utilizzati, un circuito che dia in uscita una tensione v_o :

$$v_o = 4v_1 + 6v_2$$

dove v_1 e v_2 sono due generatori di tensione indipendenti, e che abbia una banda passante di almeno 150 kHz.

$$\text{ricordo } \beta = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

Scelgo la configurazione NON INVERTENTE



$$\alpha_1 = \left(\frac{R_1 + R_2}{R_1} \right) \frac{R_4}{R_3 + R_4} = 6 \quad \left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{\beta} \cdot \alpha = 6 \\ \frac{1}{\beta} (1 - \alpha) = 6 \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} 1/\beta = 10 \\ \alpha = \frac{6}{10} \end{array}$$

$$\alpha_2 = \left(\frac{R_1 + R_2}{R_1} \right) \frac{R_3}{R_3 + R_4} = 6$$

$$A(f) = \frac{A_0}{1 + j \frac{f}{f_H}} \stackrel{\text{dal p}}{=} \stackrel{\text{testo}}{=} \frac{10^5}{1 + j \frac{f}{15}}$$

$$f_{HF} = f_H (1 + \beta A_0) \approx 15 (10^{-1} \cdot 10^5) = 1.5 \cdot 10^5 \text{ Hz} \quad f_{HF} \approx 150 \text{ KHz}$$

$$A_F(f) = \frac{1}{\beta} \frac{\beta A_0}{1 + \beta A_0} \cdot \frac{1}{1 + j \frac{f}{f_H (1 + \beta A_0)}}$$

• Dimensioniamo le resistenze:

$$V_{O\text{MAX}} = 10 \text{ V} \quad \text{NON INV. } V_+ = V_- = V_o \cdot \beta = 10 \cdot \frac{1}{10} = 1 \text{ V}$$

$$I(R_2) = \frac{V_o - V_-}{R_2} = \frac{10 - 1}{R_2} \Rightarrow R_2 \geq \frac{9}{\frac{20 \cdot 10^{-3}}{20}} = \frac{9}{20 \cdot 10^{-3}} = 450 \Omega$$

$$\text{quindi } \Rightarrow R_1 = 1 \text{ k}\Omega \quad R_3 = 6 \text{ k}\Omega \\ R_2 = 9 \text{ k}\Omega \quad R_4 = 6 \text{ k}\Omega$$



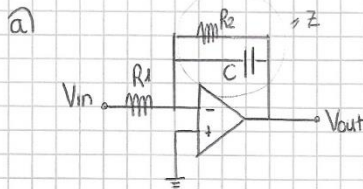
- 1) Progettare, utilizzando un amplificatore operazionale (AO) ideale e specificando il valore dei componenti utilizzati, un circuito con funzione di trasferimento A_v a singolo polo con modulo del guadagno in continua di 46 dB e frequenza f_H a -3 dB di 100 Hz. Riportare anche i diagrammi di Bode in modulo e fase della funzione di trasferimento.

Rimuovendo l'ipotesi di idealità per l'AO, e considerando di avere a disposizione dispositivi con guadagno in continua di almeno $5 \cdot 10^4$, definire le specifiche per l'AO per avere in guadagno di anello di almeno 40 dB nella regione di frequenza in cui il modulo di A_v è > 1 .

15/06/2021

③

INTEGRATORE



$$A_v(f) = \frac{A_o}{1 + j \frac{f}{f_H}} = \frac{2 \cdot 10^2}{1 + j \frac{f}{100}}$$

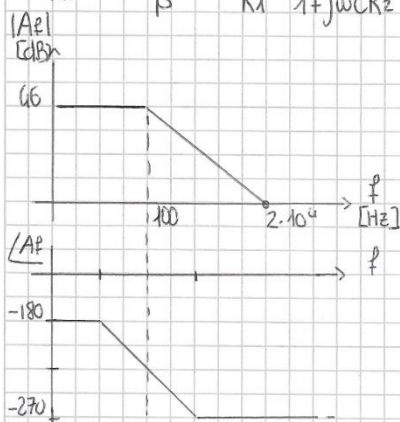
$$46 \text{ dB} = 10 \log_{10} 2 \cdot 10^2 = 2 \cdot 10^2$$

$$Z = \frac{R_2}{1 + j\omega C R_2}$$

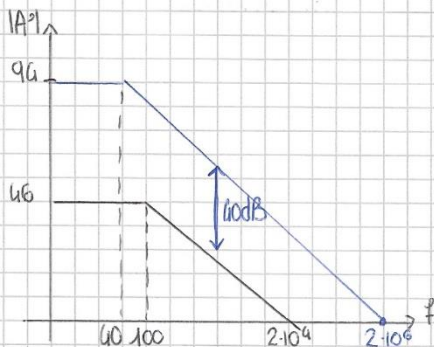
$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = 1 - \frac{1}{\beta} = - \frac{R_2}{R_1} \frac{1}{1 + j\omega C R_2}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \frac{R_2}{R_1} = 2 \cdot 10^2 & R_1 = \\ \frac{f_H}{\omega C R_2} = 100 & C = \end{cases} \Rightarrow R_2 =$$

$$f_T = A_o \cdot f_H = 2 \cdot 10^4 \text{ Hz}$$



b) $A_o = 5 \cdot 10^4 \sim 94 \text{ dB}$



$$46 \text{ dB} \Rightarrow 100$$

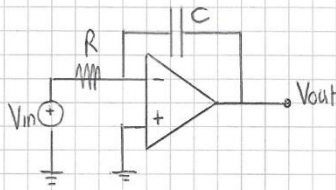
$$f_T = 2 \cdot 10^4 \cdot 100 = 2 \cdot 10^6$$

$$f_{Hz} = \frac{f_T}{A_o} = 40 \text{ Hz}$$

- 1) Si consideri un integratore realizzato mediante un amplificatore operazionale, una resistenza $R = 10 \text{ k}\Omega$ ed un condensatore $C = 1 \text{ nF}$. Quale deve essere il valore minimo del GBW dell'amplificatore operazionale per avere il funzionamento da integratore per $\omega \geq 10 \text{ rad/s}$ e guadagno di anello di 40 dB per $\omega = 10^5 \text{ rad/s}$?

14/07/2020

INTEGRATORE



$$R = 10 \text{ k}\Omega$$

$$C = 1 \text{ nF}$$

GBW min?

- inte. $\omega \geq 10 \text{ rad/s}$
- $|A\beta| = 40 \text{ dB}$ $\omega = 10^5 \text{ rad/s}$

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = 1 - \frac{1}{\beta}$$

$$\beta = \frac{R}{R + 1/j\omega C} = \frac{j\omega CR}{1 + j\omega CR}$$

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{1}{j\omega CR}$$

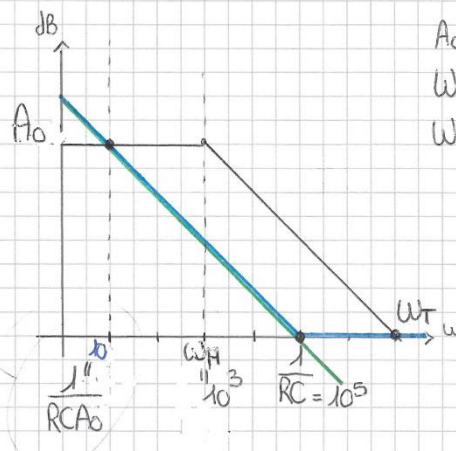
Guadagno ad anello

$$40 \text{ dB} = 100$$

$$|1/\beta|$$

$$|1 - 1/\beta|$$

$$A_0 = \frac{1}{10RC} = 10^4$$

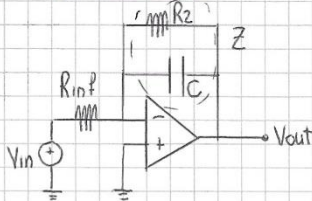


- 1) Disegnare lo schema elettrico e dimensionare i componenti di un circuito basato su un amplificatore operazionale ideale che abbia resistenza di ingresso $R_{inf} = 1 \text{ k}\Omega$ e guadagno:

8/04/2020

INTEGRATORE

$$A_f = -\frac{100}{1 + j\omega 10^{-1}}$$



$$R_{inf} = 1 \text{ k}\Omega$$

$$A_f = -\frac{100}{1 + j\omega \frac{1}{10}} = \omega_H$$

$$Z = R_2 \parallel \frac{1}{j\omega C} = \frac{R_2}{1 + j\omega CR_2}$$

$$\beta = \frac{R_{inf}}{R_{inf} + Z} = \frac{R_{inf}(1 + j\omega CR_2)}{R_{inf}(1 + j\omega CR_2) + R_2}$$

$$A_f = 1 - \frac{1}{\beta} = -\frac{R_2}{R_{inf}} \cdot \frac{1}{1 + j\omega CR_2}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} R_2/R_{inf} = 100 \\ CR_2 = \frac{1}{10} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} R_2 = 100 \text{ k}\Omega \\ C = 10^{-6} \text{ F} \end{cases}$$

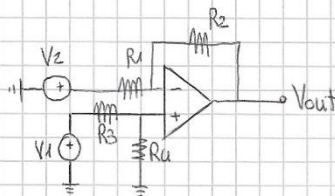
- 1) Si consideri di avere a disposizione un amplificatore operazionale ideale a parte la corrente massima di uscita di 20 mA e la tensione massima di uscita $V_{max} = \pm 10$ V. Progettare, specificando il valore dei componenti utilizzati, un circuito che dia in uscita una tensione v_o :

$$v_o = 5v_1 - 9v_2$$

dove v_1 e v_2 sono due generatori di tensione indipendenti.

- 2) Rimuovendo l'ipotesi di idealità e considerando che l'amplificatore operazionale abbia un guadagno ad anello aperto a singolo polo con valore in continua $A_o = 10^5$ e banda passante a -3 dB di 15 Hz, calcolare la banda passante dell'amplificatore progettato.

1)



$$\alpha_1 = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \frac{R_1 + R_2}{R_1} = 5 \quad R_1 = R_3 = R_4 = 1 \text{ k}\Omega$$

$$\alpha_2 = \frac{R_2}{R_1} = 9 \quad R_2 = 9 \text{ k}\Omega$$

$$2) A_o = 10^5$$

$$f_H = 15 \text{ Hz}$$

$$\beta = \frac{R_1}{R_1 + R_2} = \frac{1}{10}$$

$$f_{HF} = f_H (1 + \beta A_o) = 15 \cdot \frac{1}{10} \cdot 10^5 \approx 15 \cdot 10^4 \text{ [Hz]}$$

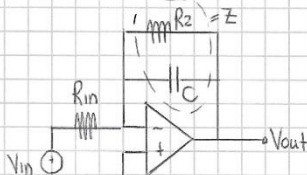
- 1) Utilizzando un amplificatore operazionale ideale:

- a) Si progetti un filtro passabasso a singolo polo che presenti le seguenti caratteristiche: comportamento da integratore per $f \geq 50$ kHz, resistenza di ingresso $R_{in} = 1$ k Ω , guadagno in DC $A_o = -200$.
- b) Si traccino i diagrammi asintotici di Bode del circuito progettato.
- c) Valutare se è possibile realizzare il circuito suddetto utilizzando un amplificatore operazionale ideale a meno del guadagno differenziale ad anello aperto dato dalla seguente espressione:

$$A(f) = \frac{10^5}{1 + j \frac{f}{15}} \quad 15 \cdot 10^5$$

- d) Disegnare l'andamento temporale del segnale di uscita supponendo che il circuito sia alimentato con una tensione duale di ± 15 V, e supponendo di applicare in ingresso, in condizioni di uscita iniziale nulla, un impulso di tensione con le seguenti caratteristiche: $V_{min} = 0$ V, $V_{max} = 40$ mV, durata = 20 μ s.

a)



$$f \gg 50 \text{ kHz}$$

$$A_o = -200$$

$$R_{in} = 1 \text{ k}\Omega$$

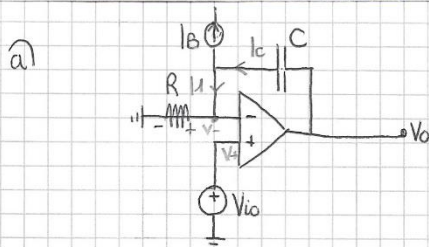
$$Z = R_2 \parallel \frac{1}{j\omega C} = \frac{R_2}{1 + j\omega C R_2}$$

$$1 - 1/\beta = -\frac{R_2}{R_{in}} \frac{1}{1 + j\omega C R_2}$$

1) Si consideri un integratore basato su un amplificatore operazionale (AO) rail to rail alimentato tra ± 10 V, con tensione di offset di ingresso $V_{io} = 1.5$ mV e corrente di polarizzazione $I_B = 100$ nA. La rete di retroazione del circuito in esame è costituita da una resistenza $R_1 = 10$ k Ω e da una capacità $C = 100$ pF.

- Si calcoli il tempo minimo dopo il quale, all'accensione, l'uscita dell'AO raggiunge il valore di saturazione (si consideri $V_{in} = 0$ V, e si consideri ideale l'AO per quanto riguarda le caratteristiche non specificate)
- Se in parallelo a C si inserisce una resistenza $R_2 = 1$ M Ω quale è il massimo valore che può raggiungere la tensione di uscita per effetto di I_B e V_{io} ?

26/09/2019
ok



$$\begin{aligned} V_{io} &= 1.5 \text{ mV} & C &= 100 \text{ pF} \\ R &= 10 \text{ k}\Omega & I_B &= 100 \text{ nA} \end{aligned}$$

tempo minimo $\Rightarrow$ contributo I_B coincide

$$\begin{aligned} V_+ &= V_- = V_{io} \\ I_C &= I_B = I_1 \rightarrow \frac{V_{io}}{R_1} \\ I_C &= \frac{V_{io}}{R_1} + I_B & I_C &= C \frac{dV_C}{dt} \\ V_o(t) &= V_{io} + V_C(t) = V_{io} + \int_0^t \frac{I_C}{C} dt + V_C(0) = \left| V_{io} + \frac{V_{io}}{RC} t + \frac{I_B}{C} t \right|_{V_C(0)=0} \\ \Rightarrow T_{min} &= 1 \mu\text{s} \end{aligned}$$

b) $C \rightarrow \infty$.

Considero prima I_B e poi V_{io} col PSE

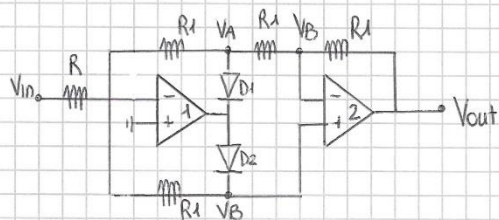
$$V_o = V_{io} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + I_B R_2 \approx 251 \text{ mV}$$

AO CON RETE DI RETROAZIONE NON LINEARE

- 1) Si consideri di avere a disposizione amplificatori operazionali (AO) rail to rail con alimentazione duale di 12 V e corrente massima di uscita di 20 mA. Si assumano gli AO ideali dal punto di vista del guadagno. Disegnare lo schema di un raddrizzatore a doppia semionda in grado di raddrizzare segnali sinusoidali con ampiezza massima di 6 V. Dimensionare i componenti perché il segnale raddrizzato abbia valori compresi nell'intervallo (0V, 12V).

26/09/2020

RADDRIZZATORE A DOPPIA SEMIONDA



• $V_{in} > 0 \Rightarrow D1$ in conduzione $V_{out} = \frac{R_1}{R} V_{in}$

$$\frac{12}{6} = 2$$

$$\frac{R_1}{R} = 2$$

$$R = 10k\Omega$$

$$R_1 = 20k\Omega$$

• $V_{in} < 0 \Rightarrow D2$ in conduzione $V_{out} = -\frac{R_1}{R} V_{in}$



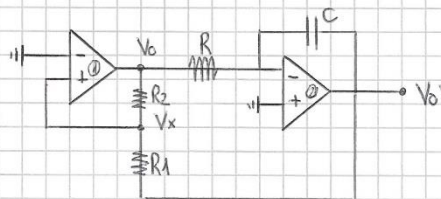
AO CON RETROAZIONE POSITIVA

- 1) Si consideri di avere a disposizione amplificatori operazionali rail to rail con alimentazione duale di 12 V e corrente massima di uscita di 20 mA. Disegnare lo schema di un generatore di onda triangolare che dia in uscita un segnale con 'duty cycle' del 50%. Dimensionare i componenti perché il segnale generato abbia valori compresi nell'intervallo (-6V, 6V) e frequenza di 10 kHz. Riportare le forme d'onda dei nodi del circuito in cui si hanno segnali variabili nel tempo.

09/09/2020

GENERATORE ONDA TRIANGOLARE

①



rail to rail 12V

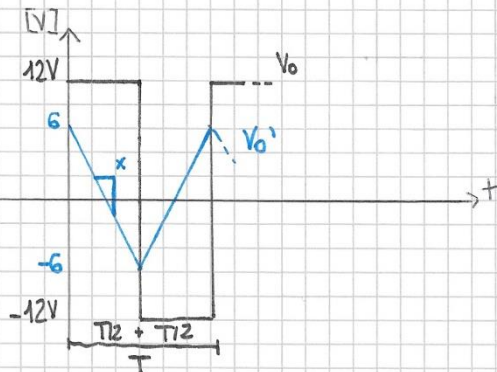
corrente massima 20 mA

duty cycle 50%

[-6V, 6V] $f = 10 \text{ kHz}$

Poi si commuta per $V_x = 0 \rightarrow V_x = V_0 \beta + V_0' (1 - \beta) = 0 \Rightarrow V_0' = -V_0 \frac{\beta}{1 - \beta}$

$V_0 = \begin{cases} 12 \text{ V} = V_0 \\ -12 \text{ V} = -V_0 \end{cases}$ e $|V_0'|_{\text{MAX}} = 6 \Rightarrow \frac{R_1}{R_2} = \frac{1}{2}$



$\times V_0'(T/2) = V_0(0) - \frac{V_0}{RC} \frac{T}{2}$

$-6 = 6 - \frac{12}{RC} (50 \cdot 10^{-6})$

$\downarrow$

$RC = 50 \cdot 10^{-6}$

$$\frac{V_0 - (-6V)}{R_1 + R_2} + \frac{V_0}{R} = \frac{18V}{R_1 + R_2} + \frac{12V}{R} = \frac{18V}{3R_1} + \frac{12V}{R} = \frac{6V}{R_1} + \frac{12V}{R}$$

$$R_1 = 10 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 20 \text{ k}\Omega$$

$$R = 10 \text{ k}\Omega$$

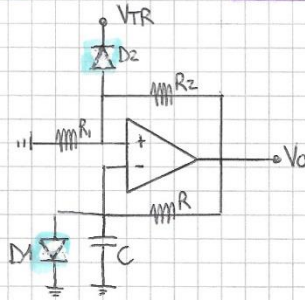
$$C = \frac{50 \cdot 10^{-6}}{10 \cdot 10^3} = 5 \text{ nF}$$



- 1) Disegnare lo schema di un multivibratore monostabile basato su amplificatore operazionale (AO) in grado di generare impulsi negativi, riportando l'evoluzione temporale della tensione dei nodi significativi del circuito. Ipotizzando di utilizzare diodi con tensione di soglia di 0.5 V, condensatori da 1 nF, resistenze tutte dello stesso valore, e supponendo che l'uscita dell'AO vari tra ± 10 V, dimensionare il circuito per avere impulsi della durata di 10 μ s.

24/09/2021

MULTIVIBRATORE MONOSTABILE



impulsi negativi

$$V_T = 0.5 \text{ V}$$

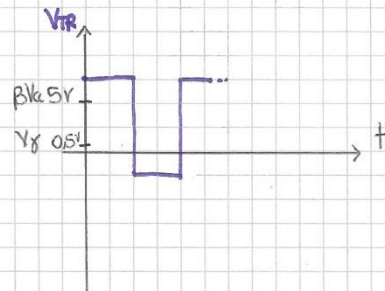
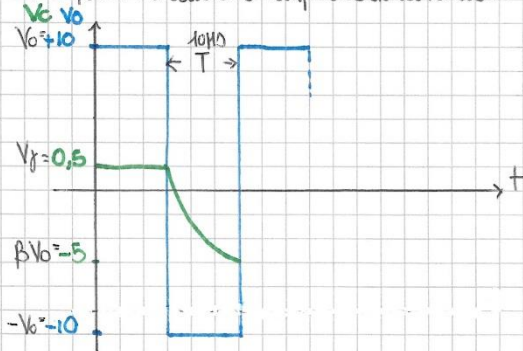
$$C = 1 \text{ nF}$$

$$R_1 = R_2 = R \Rightarrow \beta = 1/2$$

$$V_O = \pm 10 \text{ V}$$

$$t = 10 \mu\text{s}$$

1) Riporta l'evoluzione temporale della tensione



$$T = RC \ln \left(\frac{1 + V_T/V_O}{1 - \beta} \right) \quad \text{con } C = 1 \text{ nF}, V_O = 10 \text{ V}, V_T = 0.5 \text{ V}, \beta = 1/2, T = 10 \mu\text{s} \Rightarrow R = 13.6 \text{ k}\Omega$$

- 1) Si consideri multivibratore astabile in figura, in cui l'amplificatore operazionale (AO) è rail to rail ed è alimentato in modo duale tra +5V e -5V. Sia inoltre $R_1 = 22 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 18 \text{ k}\Omega$.

10/09/2019

MULTIVIBRATORE ASTABILE + MONOSTABILE

raffrontare $[+5 \text{ V}; -5 \text{ V}]$

$$R_1 = 22 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 18 \text{ k}\Omega$$

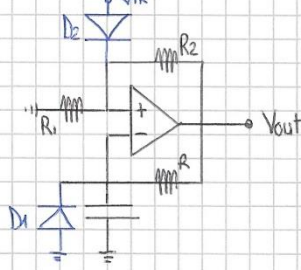
$$T = 200 \mu\text{s}$$

- a. Dimensionare il circuito per avere una forma d'onda in uscita con periodo di 200 μ s.
b. Modificare il circuito per ottenere un multivibratore monostabile in grado di generare in uscita impulsi di tensione positivi. Supponendo di utilizzare diodi con tensione di soglia di 0.7 V, determinare la durata dell'impulso generato ed il valore minimo dell'intervallo di tempo che deve intercorrere tra due impulsi successivi. Disegnare inoltre le forme d'onda che si ottengono ai diversi nodi del circuito.

$$a) T = 2RC \ln \left(\frac{1 + \beta}{1 - \beta} \right) \quad \text{con } \beta = \frac{R_1}{R_1 + R_2} = \frac{22}{22 + 18} = 0.55$$

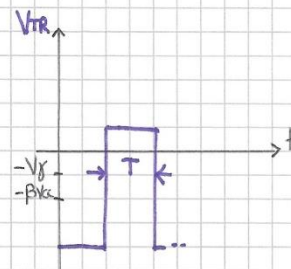
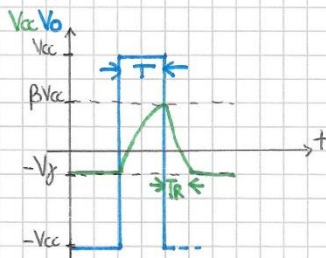
$$200 \mu\text{s} = 2RC \cdot 1.236 \Rightarrow RC = \frac{200 \mu\text{s}}{2 \cdot 1.236} = 8.09 \cdot 10^{-5} \quad \left\{ \begin{array}{l} R = 10 \text{ k}\Omega \\ C = 8.09 \cdot 10^{-9} \text{ F} \end{array} \right.$$

Iniziamo due diodi



impulso positivo
 $V_g = 0,7 [V]$

$V_{cc} = 5V$
 $\beta V_{cc} = 2,75 V$



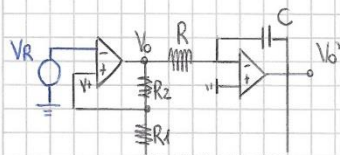
$$T = RC \ln \left(\frac{1 + V_g/V_{cc}}{1 - \beta} \right) = 8,09 \cdot 10^{-5} \ln \left(\frac{1 + 0,7/5}{1 - 0,55} \right) = 7,51 \cdot 10^{-5} \text{ sec}$$

$$TR = RC \ln \left(\frac{1 + \beta}{1 - V_g/V_{cc}} \right) = 8,09 \cdot 10^{-5} \ln \left(\frac{1 + 0,55}{1 - 0,7/5} \right) = 4,7 \cdot 10^{-5} \text{ sec}$$

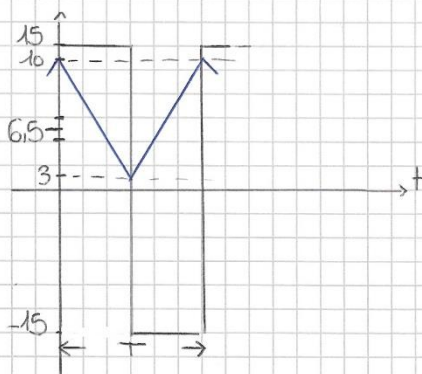
1) Si progetti un generatore di onda triangolare simmetrica basato su amplificatori operazionali 'rail to rail' alimentati tra +15 V e -15 V. Dimensionare il circuito perché la frequenza dell'onda triangolare sia 1 kHz ed i suoi valori siano compresi tra 3 V e 10 V.

6/6/2019

GENERATORE ONDA TRIANGOLARE



onda triangolare
 $f = 1 \text{ kHz}$
 $[3V, 10V]$



$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{1 \text{ kHz}} = 10^{-3} \text{ sec}$$

$$V_0' = V_R \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right) - V_0 \frac{R_1}{R_2}$$

$$V_H = \frac{3+10}{2} = 6,5V$$

$$\begin{cases} T = 4RC \frac{R_1}{R_2} \\ V_H = V_R \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right) \\ V_H + V_0 \frac{R_1}{R_2} = 10 \\ V_H - V_0 \frac{R_1}{R_2} = 3 \end{cases}$$

$\Rightarrow$

$R =$
 $C =$
 $R_1 =$
 $R_2 =$

ocelgo:
 $V_R = 1V$

INVERTER CHOS

- 3) Considerare un inverter CMOS con $K_n = 0.5 \mu\text{A}/\text{V}^2$, $W_n/L_n = 2$, $K_p = 50 \mu\text{A}/\text{V}^2$, $V_{DD} = 5 \text{ V}$, $V_{TN} = -V_{TP} = 1 \text{ V}$. Determinare la tensione di soglia logica dell'inverter. Calcolare il tempo di propagazione supponendo che l'inverter abbia un carico capacitivo di 10 pF .

16/07/2020

1

$$K_n = 0.5 \mu\text{A}/\text{V}^2 \cdot \frac{W_n}{L_n} = 2 K_p = 50 \mu\text{A}/\text{V}^2 \quad C = 10 \text{ pF}$$

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

$$V_{TN} = -V_{TP} = 1 \text{ V}$$

tensione di soglia logica

$$n = p$$

$$\frac{K_n}{2 K_p} (V_i - V_{TN})^2 = K_p (V_{DD} - V_i - V_{TP})^2$$

$$2(V_i - 1)^2 = (5 - V_i - 1)^2 \Rightarrow V_i = 2.26 \text{ V}$$

tempo di propagazione

$$t_p = \frac{t_{PLH} + t_{PHL}}{2}$$

$$t_{PLH} = \frac{\frac{V_{DD} C}{2}}{K_p (V_{DD} - V_{TP})^2} = \frac{5/2 \cdot 10 \cdot 10^{-12}}{25 \cdot 10^{-6} (5-1)^2} = 6.25 \cdot 10^{-8} \text{ sec}$$

$$t_{PHL} = \frac{\frac{V_{DD} C}{2}}{K_n (V_{DD} - V_{TN})^2} = \frac{5/2 \cdot 10 \cdot 10^{-12}}{50 \cdot 10^{-6} (5-1)^2} = 3.125 \cdot 10^{-8} \text{ sec}$$

$$t_p = \frac{6.25 \cdot 10^{-8} + 3.125 \cdot 10^{-8}}{2} = 4.6875 \cdot 10^{-8} \text{ sec}$$

- 2) Si consideri una porta NOR a tre ingressi, con capacità di carico $C_L = 0.2 \text{ pF}$, realizzata in tecnologia CMOS con NMOS e PMOS caratterizzati rispettivamente da un fattore di forma $(W/L)_n = 2 \mu\text{m}/1 \mu\text{m}$, e $(W/L)_p = 5 \mu\text{m}/1 \mu\text{m}$. Si consideri inoltre $V_{TN} = |V_{TP}| = 1 \text{ V}$, $V_{DD} = 5 \text{ V}$, $\mu_n C_{ox} = 2.5 \mu\text{A}/\text{V}^2$, $\mu_p C_{ox} = 150 \mu\text{A}/\text{V}^2$.

12/11/2019

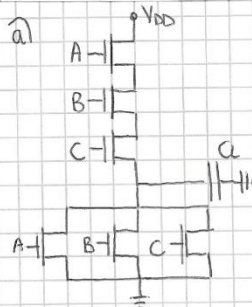
$$C_L = 0.2 \text{ pF} \quad V_{TN} = V_{TP} = 1 \text{ V} \quad V_{DD} = 5 \text{ V}$$

$$\frac{W_n}{L_n} = \frac{2 \mu\text{m}}{1 \mu\text{m}} \quad \frac{W_p}{L_p} = \frac{5 \mu\text{m}}{1 \mu\text{m}}$$

$$\mu_n C_{ox} = 2.5 \mu\text{A}/\text{V}^2 \quad \mu_p C_{ox} = 150 \mu\text{A}/\text{V}^2$$

- a. Disegnare lo schema elettrico della porta.

- b. Stimare il tempo di propagazione nel caso peggiore (per la stima supporre che la capacità C_L si carichi/scarichi a corrente costante).



$$b) t_{PLH} = \frac{V_{DD}/2 \cdot C_L}{\frac{1}{2} \mu_p C_{ox} \frac{W_p}{L_p} (V_{DD} - V_{TP})^2} = 0.6 \text{ ns}$$

$$t_{PHL} = \frac{V_{DD}/2 \cdot C_L}{\frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W_n}{L_n} (V_{DD} - V_{TN})^2} = 0.2 \text{ ns}$$

$$t_p = \frac{t_{PLH} + t_{PHL}}{2} = 0.4 \text{ ns}$$

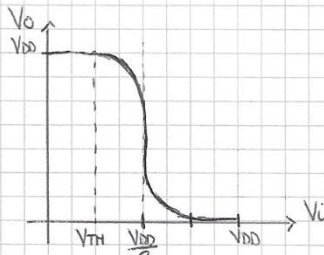
- 3) Considerare un inverter CMOS con $K_n = 0.5 \mu\text{A/V}^2$, $W_n/L_n = K_p = 50 \mu\text{A/V}^2$, $V_{DD} = 5 \text{ V}$, $V_{TN} = -V_{TP} = 1 \text{ V}$. Supponendo che $V_{IHmin} = 2.875 \text{ V}$, determinare i margini di rumore della porta. Determinare inoltre la corrente di picco che attraversa la serie dei due transistor.

2310612020

$$K_n = K_p = 50 \mu\text{A/V}^2$$

$$V_{DD} = 5 \text{ V} \quad V_{TN} = V_{TP} = 1 \text{ V}$$

$$V_{IHmin} = 2.875 \text{ V}$$



$$a) \quad NM_H = V_{DD} - V_{IH} = 5 - 2.875 = 2.125 \text{ V}$$

$$NM_L = V_{IL} = NM_H$$

b)

La corrente di picco si ha per $V_i = \frac{V_{DD}}{2} \Rightarrow$ MOS in SAT

$$I_p = K_n \left(\frac{V_{DD}}{2} - V_{TN} \right)^2 = 50 \cdot 10^{-6} \left(\frac{5}{2} - 1 \right)^2 = 112.5 \mu\text{A}$$

Esercizio 2:

- a) Si consideri un inverter CMOS, con $(W/L)_p = 2.5(W/L)_n = 5 \mu\text{m}/1 \mu\text{m}$, $V_{TN} = |V_{TP}| = 0.8 \text{ V}$, $V_{DD} = 5 \text{ V}$, $\frac{1}{2} \mu_p C_{OX} = 30 \mu\text{A/V}^2$, $\frac{1}{2} \mu_n C_{OX} = 75 \mu\text{A/V}^2$, e se ne disegni la caratteristica di trasferimento (nel rispondere alla domanda: a) non calcolare le coordinate dei punti in cui la derivata della caratteristica di trasferimento vale -1; b) trascurare l'effetto di modulazione della lunghezza di canale).
- b) Calcolare la tensione di soglia logica se l'inverter è realizzato ad area minima.

510212019

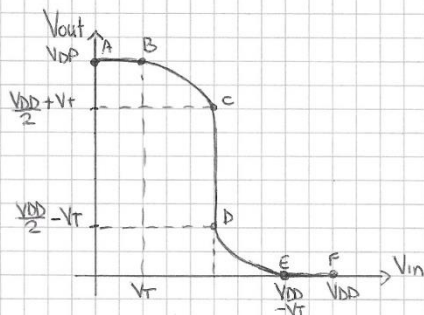
$$a) \quad \frac{W_p}{L_p} = 2.5 \frac{W_n}{L_n} = \frac{5 \mu\text{m}}{1 \mu\text{m}}$$

$$V_{TN} = |V_{TP}| = 0.8 \text{ V}$$

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

$$\frac{1}{2} \mu_p C_{OX} = 30 \mu\text{A/V}^2$$

$$\frac{1}{2} \mu_n C_{OX} = 75 \mu\text{A/V}^2$$



b) area minima

$$K_n (V_i - V_{TN})^2 = K_p (V_{DD} - V_i - V_{TP})^2$$

$$9.37 (V_i - 0.8)^2 = 1.5 (-V_i + 6.2)^2$$

$$\Rightarrow V_i = 1.77 \text{ V}$$

$$\cdot K_n = \frac{1}{2} \mu_n C_{OX} \frac{W_n}{L_n} = 75 \mu\text{A/V}^2 \cdot 12.5 = 9.37 \cdot 10^{-6} \text{ A/V}^2$$

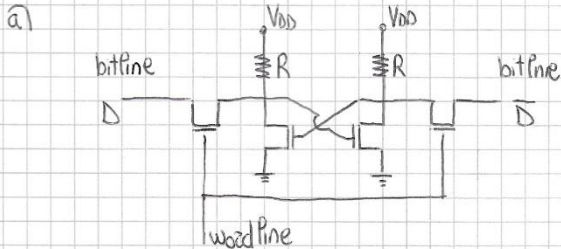
$$\cdot K_p = \frac{1}{2} \mu_p C_{OX} \frac{W_p}{L_p} = 30 \mu\text{A/V}^2 \cdot 5 = 1.5 \cdot 10^{-6} \text{ A/V}^2$$

- 2) Considerare una memoria statica con capacità di 256 Mb, con matrice di codifica realizzata in logica NMOS con carico resistivo ed alimentata a 3.3 V.
- a) Disegnare lo schema elettrico di una cella di memoria.
- b) Supponendo che la matrice di codifica debba dissipare una potenza statica ≤ 50 mW, determinare la massima corrente ammessa per cella. Supponendo inoltre che le porte che costituiscono la cella abbiano $V_{OL} = 0.25$ V, determinare il minimo valore utilizzabile per le resistenze di carico.

15/06/2021

$$V_{DD} = 3.3 \text{ V}$$

$$256 \text{ Mb} = 2^{28} \text{ B}$$



b)

$$P_{\text{max}} = \frac{50 \text{ mW}}{2^{28}} = 1.86 \cdot 10^{-10} \text{ W}$$

$$I_{\text{per cella}} = \frac{1.86 \cdot 10^{-10} \text{ W}}{3.3 \text{ V}} = 5.64 \cdot 10^{-11} \text{ A}$$

c)

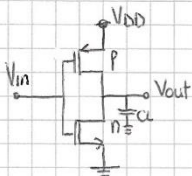
$$\frac{3.3 - 0.25}{R_{\text{min}}} = 5.64 \cdot 10^{-11} \Rightarrow R_{\text{min}} = 566 \Omega$$

- 2) Si consideri un inverter CMOS con tensione di alimentazione $V_{DD} = 5$ V, $K_n = 0.5 \mu\text{A/V}^2$, $K_p = 125 \mu\text{A/V}^2$, $V_{TN} = -V_{TP} = 1$ V e se ne disegni lo schema.

08/07/2021

- a) Stimare il tempo di propagazione della porta considerando di avere un carico capacitivo di 10 pF.

- b) determinare il valore della tensione di soglia logica della porta;



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

$$K_n = 125 \mu\text{A/V}^2$$

$$V_{TN} = -V_{TP} = 1 \text{ V}$$

$$K_p = 50 \mu\text{A/V}^2$$

$$C_L = 10 \text{ pF}$$

a)

$$t_{pLH} = \frac{512 \cdot 10 \text{ pF}}{50 \mu\text{A/V}^2 \cdot 16} = 3.125 \cdot 10^{-8} \text{ s}$$

$$t_{pHL} = \frac{512 \cdot 10 \text{ pF}}{125 \mu\text{A/V}^2 \cdot 16} = 1.25 \cdot 10^{-8} \text{ s}$$

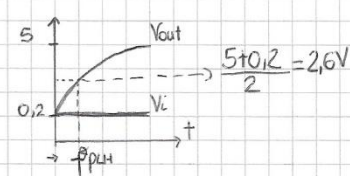
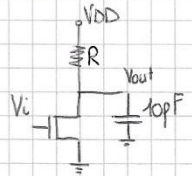
$$t_p = \frac{3.125 \cdot 10^{-8} + 1.25 \cdot 10^{-8}}{2} = 2.18 \cdot 10^{-8} \text{ s}$$

b)

$$125(V_i - 1)^2 = 50(5 - V_i)^2 \Rightarrow V_i = 2.16 \text{ V}$$

- 2) Si consideri una porta open drain con carico di 10 pF. Dimensionare la resistenza di pull-up per avere un tempo di propagazione basso alto < 10 ns. Considerare nel risolvere l'esercizio $V_{DD} = 5$ V e $V_{OL} = 0.2$ V.

09/09/2020



$$V_o(t) = [V_o(\infty) - V_o(0)](1 - e^{-t/RC}) + V_o(0)$$

$$2.6 = [5 - 0.2](1 - e^{-\frac{t_{pLH}}{RC}}) + 0.2$$

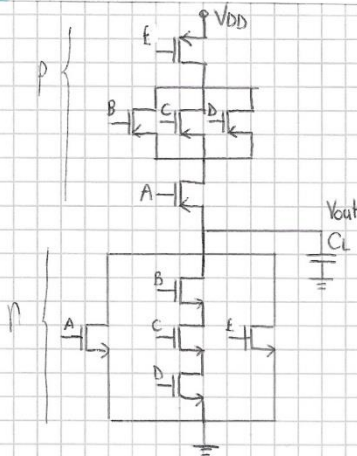
$$\hookrightarrow t_{pLH} = RC \ln 2 \rightarrow RC = \frac{10 \cdot 10^{-9}}{\ln 2} = 1.44 \cdot 10^{-8}$$

$$R = 1.44 \text{ k}\Omega$$

3) Disegnare lo schema di una rete CMOS che realizzi la funzione logica:

$$Y = \overline{A + (BCD) + E}$$

Si consideri di utilizzare tutti transistor ad area minima con $W_{min}=L_{min}$, $\mu_n C_{ox} = 50 \mu A/V^2 = 2 \mu_p C_{ox}$, $V_{dd} = 5V$, $V_{TN} = -V_{TP} = 1V$ (non considerare l'effetto substrato). Calcolare il tempo di propagazione nel caso peggiore supponendo che la porta abbia un carico capacitivo di 10 pF.



$$t_{PLH} = \frac{2.5 \cdot 10^{-12}}{12.5 \cdot 10^{-6} (16)^{\frac{1}{3}}} = 3.75 \cdot 10^{-7} s$$

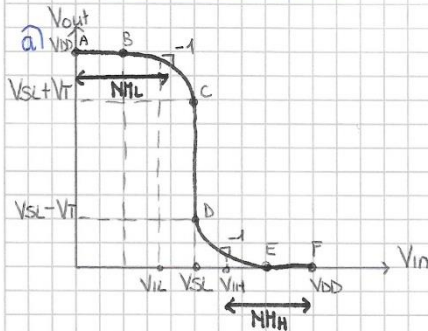
$$t_{PHL} = \frac{2.5 \cdot 10^{-12}}{25 \cdot 10^{-6} 16^{\frac{1}{3}}} = 1.875 \cdot 10^{-7} s$$

$$t_p = \frac{3.75 \cdot 10^{-7} + 1.875 \cdot 10^{-7}}{2} = 2.81 \cdot 10^{-7} s$$

2) Si consideri un inverter CMOS con tensione di alimentazione $V_{dd} = 5V$, $NM_H = 3V$, $NM_L = 1.25V$, tensione di soglia logica $V_{SL} = 1.625V$, $V_{TN} = -V_{TP} = V_T = 1V$.

a) Disegnare la caratteristica statica quotata.

b) Dato un carico capacitivo, tra i due tempi di propagazione, t_{pLH} e t_{pHL} , quale risulta maggiore? Quale è il rapporto tra i due tempi di propagazione?



$$V_{dd} = 5V \quad NM_H = 3V \quad V_{TN} = -V_{TP} = 1V = V_T$$

$$V_{SL} = 1.625V \quad NM_L = 1.25V$$

$$V_L = NM_L = 1.25V$$

$$V_{IH} = 5 - 3 = 2V$$

$$\cdot K_n (V_{SL} - V_T)^2 = K_p (V_{dd} - V_{SL} - V_T)^2 \Rightarrow \frac{K_n}{K_p} = 16.64 \sim \text{fortemente disimmetrico}$$

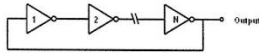
$$b) t_{PHL} = \frac{V_{dd}/2 C_L}{K_n (V_{dd} - V_T)^2} \Rightarrow \frac{t_{PHL}}{t_{PLH}} = \frac{K_p}{K_n} \sim t_{PLH} K_p = t_{PHL} K_n$$

$$t_{PLH} = \frac{V_{dd}/2 C_L}{K_p (V_{dd} - V_T)^2}$$

$$t_{PLH} = \frac{K_n}{K_p} t_{PHL} \sim t_{PLH} = 16.64 t_{PHL}$$

- 2) Si consideri un oscillatore ad anello come quello in figura costituito da 15 inverter CMOS identici con tensione di alimentazione $V_{dd} = 5V$.

9/02/2021



- A. Supponendo che la frequenza del segnale di uscita sia 7.5 MHz, determinare quanto vale il tempo di propagazione degli inverter CMOS utilizzati.
B. Considerando che il carico capacitivo di ciascuno degli inverter sia $C_L = 100$ pF, determinare la potenza dissipata dal circuito.

A. $T = (t_{p_{LH}} + t_{p_{HL}}) \cdot N$ $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{7.5 \cdot 10^6}$
 $t_p = \frac{t_{p_{LH}} + t_{p_{HL}}}{2} = \frac{T}{2 \cdot N} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{7.5 \cdot 10^6} \cdot \frac{1}{15} = 4.44 \cdot 10^{-9} s$

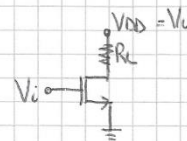
B. $P_D = N \cdot C_L \cdot V_{DD}^2 \cdot f = 2.81 mW$

- 2) Si consideri un inverter NMOS con carico resistivo e con tensione di alimentazione $V_{dd} = 5V$, $K_n = 0.5 \mu A/V^2$, $V_{TN} = 1V$, $R_L = 12 k\Omega$.

15/06/2021

- a) Calcolare la potenza statica dissipata dalla porta supponendo gli stati equiprobabili

suppongo la regione lineare $I_D = K_n [2(V_i - V_{TN})V_{DS} - V_{DS}^2]$
 $V_{DD} = I_D R_L + V_{DS} \quad \downarrow \text{ottengo}$



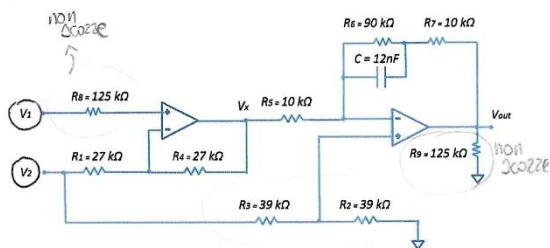
$V_{DS} < V_i - V_T = 4V \quad \text{OK} \checkmark$
 $5 - 1$

$V_{DS} = 1.75 V$

$\Rightarrow I_D = 270 \mu A$ $\Rightarrow P_D = \frac{1}{2} V_{DD} I_D = 667 \mu W$

1) Si consideri il circuito in figura in cui i due operazionali sono ideali:

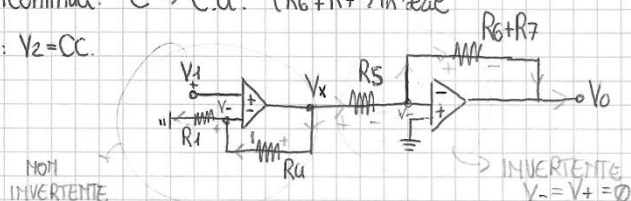
20/01/2020
OK



- a. Si calcoli $V_{out}(V_1, V_2)$ in continua.
b. Tracciare il diagramma asintotico di Bode in modulo e fase di $V_{out}(V_1)$ per $V_2 = 0$.

a) Incontinua: $C \Rightarrow$ C.a. $(R_6 + R_7)$ in serie

PSE: $V_2 = 0$.

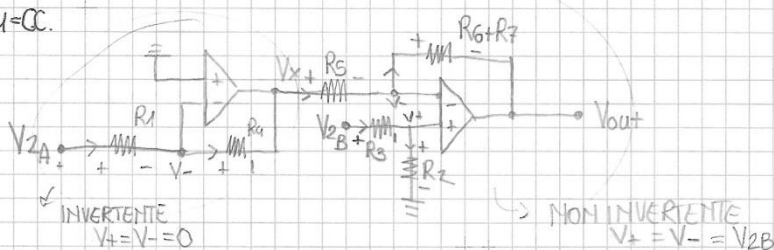


$$\frac{V_-}{R_1} = \frac{V_x - V_-}{R_6}$$

$$V_- = V_1$$

$$\frac{V_x - V_-}{R_5} = \frac{V_- - V_{out}}{R_6 + R_7} \Rightarrow \frac{V_{out}}{V_1} = \frac{-(R_6 + R_7)}{R_1 R_5}$$

$V_1 = 0$.



$$V_2 = 0 \quad \frac{V_{2A}}{R_1} = \frac{-V_x}{R_4} \quad e \quad \frac{V_x}{R_5} = \frac{-V_{out}}{R_6 + R_7} \Rightarrow \frac{V_{out}}{V_{2A}} = \frac{R_4(R_6 + R_7)}{R_1 \cdot R_5}$$

$$V_{2A} = 0 \quad \frac{V_{2B} - V_+}{R_3} = \frac{V_+}{R_2} \quad \frac{-V_-}{R_5} = \frac{V_- - V_{out}}{R_6 + R_7} \quad \frac{V_{out}}{V_{2B}} = \frac{R_2}{R_3 + R_2} \cdot \frac{R_5 + R_6 + R_7}{R_5}$$

$$V_{out}(V_1, V_2) = -20 + 15.5 V_2$$

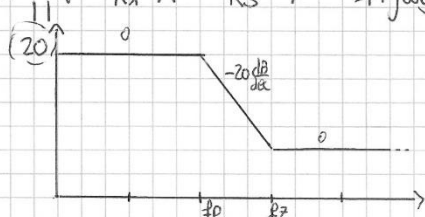
b) ora considero il C su R_6 quindi.

$$\frac{V_{out}}{V_1} = \left(1 + \frac{R_6}{R_1}\right) \left(\frac{Z + R_7}{R_5}\right) \quad \text{con } Z = R_6 \parallel \frac{1}{j\omega C} = \frac{R_6}{1 + j\omega C R_6}$$

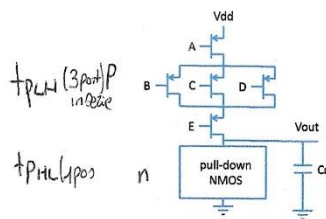
$$\frac{V_{out}}{V_1} = \left(1 + \frac{R_6}{R_1}\right) \left(-\frac{R_6 + R_7}{R_5}\right) \cdot \frac{1 + j\omega C (R_6 \parallel R_7)}{1 + j\omega C R_6} = (-20) \cdot \frac{1 + j\omega \tau_z}{1 + j\omega \tau_p}$$

$$\tau_z = 1.47 \mu s \quad f_z = 1.47 \text{ kHz}$$

$$\tau_p = 16.7 \mu s \quad f_p = 16.7 \text{ Hz}$$



- 2) Si consideri la seguente rete CMOS, con capacità di carico $C_L = 2$ pF, realizzata con NMOS e PMOS caratterizzati da un fattore di forma $(W/L)_N = (W/L)_P = 10$. Si consideri inoltre $V_{TN} = |V_{TP}| = 1$ V, $V_{DD} = 5$ V, $\mu_n C_{ox} = 2.5 \mu A/V^2$, $\mu_p C_{ox} = 100 \mu A/V^2$.



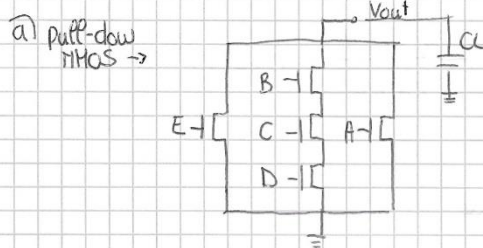
10/07/2018

2

$$K_n = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W_n}{L_n} = \frac{1}{2} \cdot 100 \mu \cdot 10 = 5 \cdot 10^{-6} \text{ A/V}^2$$

$$K_p = \frac{1}{2} \mu_p C_{ox} \frac{W_p}{L_p} = \frac{1}{2} \cdot \frac{100 \mu}{2.5} \cdot 10 = 2 \cdot 10^{-6} \text{ A/V}^2$$

- a) Disegnare lo schema della rete di pull-down e scrivere la funzione logica implementata.
b) Stimare il tempo di propagazione basso-alto (t_{PLH}) ed alto-basso (t_{PHL}) nel caso peggiore (per la stima supporre che la capacità C_L si carichi/scarichi a corrente costante).



$$\overline{A + B \cdot C \cdot D + E} = Y$$

b)

$$t_{PLH} = \frac{V_{DD}/2 \cdot C_L}{K_p (V_{DD} - V_{TP})^2 \cdot \frac{2}{3}} = 4.68 \cdot 10^{-9} \text{ sec}$$

$$t_{PHL} = \frac{V_{DD} \cdot C_L}{\frac{1}{3} K_n (V_{DD} - V_{TH})^2} = 8.25 \cdot 10^{-9} \text{ sec}$$

- 3) Realizzare con un'unica porta CMOS la funzione logica $Y = \overline{A} \cdot (\overline{B} + \overline{C} \cdot \overline{D})$.

$$\overline{A} \cdot (\overline{B} + \overline{C} \cdot \overline{D})$$

$$\overline{A} \cdot (\overline{B} + \overline{(C \cdot D)})$$

$$\overline{A} \cdot \overline{B \cdot (C \cdot D)} \rightarrow \overline{A + B \cdot (C \cdot D)}$$

08/06/2020

