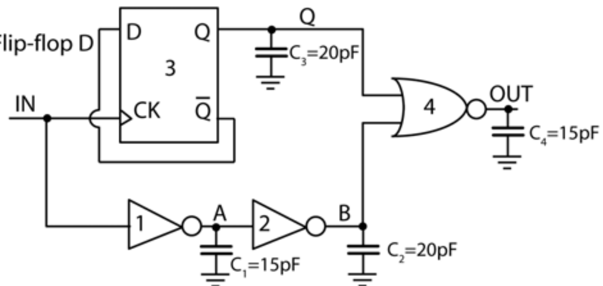
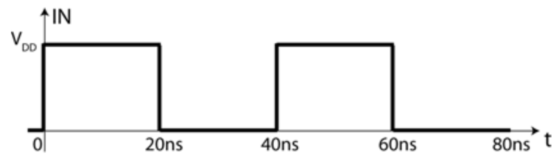
AA 2007/2008 Milano, 04/07/2008

Fondamenti di Elettronica – Ingegneria Automatica e Informatica

Note: Indicare chiaramente la domanda a cui si sta rispondendo. Ad esempio 1a) …

Es. 1





V_{DD} = 5 V

Si consideri il circuito digitale in figura, in cui il flip-flop di tipo D è sensibile al fronte positivo di CK (soglia a $V_{DD}/2$). Le porte logiche sono alimentate tra massa e V_{DD}.

a) Si disegni su un diagramma quotato l'andamento in funzione del tempo di IN, A, B, Q, OUT ipotizzando che i tempi di propagazione delle porte logiche e del flip-flop siano pari a 5 ns e che a t = 0 sia Q = 0. IN ha l'andamento riportato in figura. Trascurare le capacità e rappresentare i fronti di commutazione con linee verticali.

b) Calcolare la potenza dinamica dissipata da ogni porta logica quando IN ha l'andamento riportato in figura.

c) Si ipotizzi che la NOT 1 sia realizzata con MOSFET con $k_n = |k_p| = ½\mu C_{ox}(W/L) = 2\ mA/V^2$ e $V_{Tn} = |V_{Tp}| = 1V$. Si calcolino i tempi di propagazione (al 50% di V_{DD}) da IN a A quando IN commuta da basso a alto (t_{PHL}).

d) Disegnare la porta NOR in tecnologia CMOS e descriverne il funzionamento.

Es. 2

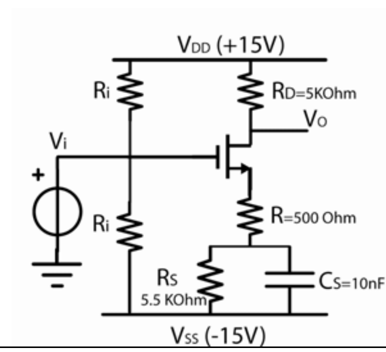
V_T=1V, K=0.5mA/V^2

a) Polarizzare il circuito.

b) Trovare i guadagni a bassa e alta frequenza e i poli e gli zeri della funzione di trasferimento $V_o(s)/V_i(s)$.

c) Posto $V_i(t)=0.1V\cdot\sin(2\pi ft)$, dove f=200kHz, trovare $V_o(t)$. Si può ritenere che $V_i(t)$ sia un piccolo segnale? Giustificare la risposta.

d) Qual è la massima tensione positiva ammissibile di un gradino in ingresso, per la quale il circuito funzioni correttamente da amplificatore? Giustificare la risposta.



Es. 3

Si consideri il circuito a operazionale in figura (R=2.5kΩ, C_1=10nF, C_2=30pF, GBWP = 10MHz, A_0=20000).

a) Calcolare il guadagno ideale e tracciarne il diagramma di Bode di modulo e fase.

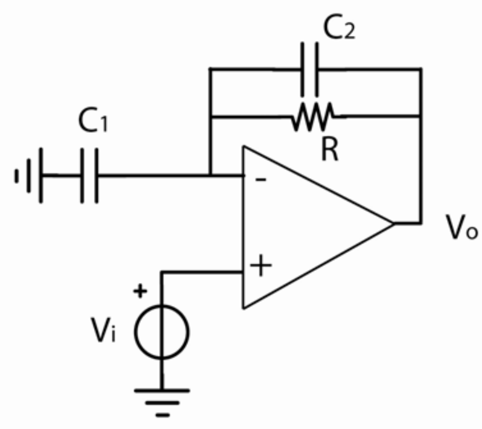
b) Determinare la tensione in uscita per i due segnali applicati: $V_1=10mV\cdot\sin(\omega_1 t)$, $V_2=100\mu V\cdot\sin(\omega_2 t)$, ω_1=1Mrad/s, ω_2=40Mrad/s.

c) Quale deve essere il valore dello slew rate dell'operazionale affinché la tensione di uscita non risulti distorta in nessuno dei casi al punto b)?

d) Si calcoli l'effetto in uscita di una tensione di offset V_{OS} = 25 mV.

e) Calcolare il G_{loop} e tracciarne il diagramma di Bode di modulo e fase.

f) Calcolare il margine di fase. Si determinino i valori del guadagno in continua A_0 dell'operazionale per i quali il margine di fase sia almeno 45°. Commentare i risultati.

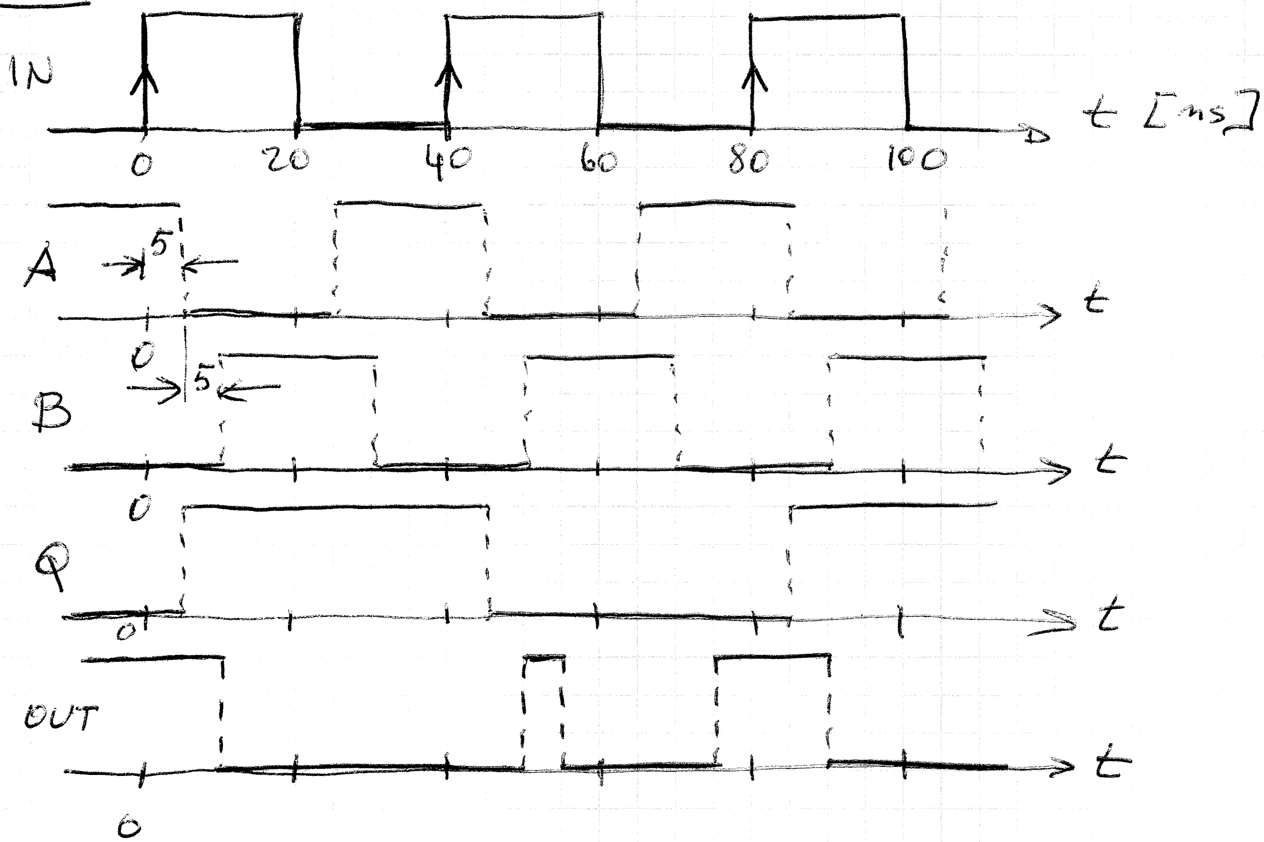


Es. 4

Disegnare l'architettura di un convertitore analogico-digitale ad inseguimento e spiegarne sinteticamente il funzionamento.

TRACCIA SOLUZIONI T.E. 4/7/08

$\boxed{1A}$



$\boxed{1B}$

Flip_Flop : commuta $f = \frac{1}{2} \times f_{in} = 12.5\ MHz$

NOT 1 : " $f = f_{in} = 25\ MHz$

NOT 2 : " $f = f_{in} = 25\ MHz$

NOR : " $f = f_{in} = 25\ MHz$ (freq. media)

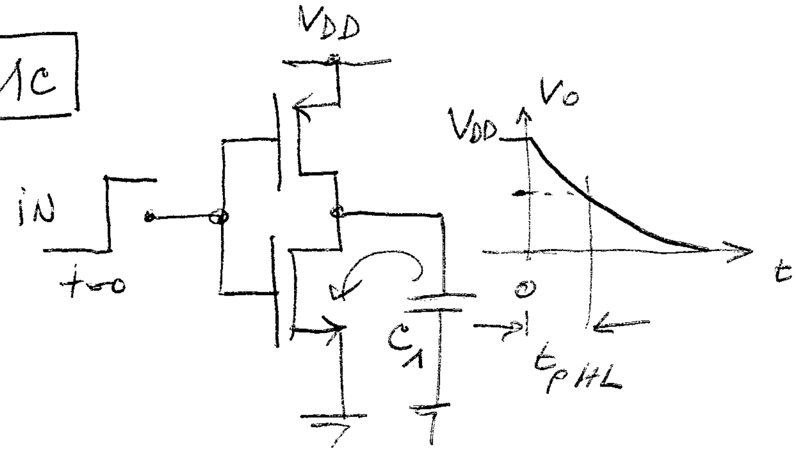
$$P_{F/F} = f_{FF}\, C_3 V_{DD}^2 = 12.5\ 10^6\ Hz \times 20\ 10^{-12}\ F \times 25\ V^2 = 6.25\ mW$$

$$P_{NOT1} = f_{NOT1}\, C_1 V_{DD}^2 = 25\ 10^6\ Hz \times 15\ 10^{-12}\ F \times 25\ V^2 = 9.375\ mW$$

$$P_{NOT2} = f_{NOT2}\, C_2 V_{DD}^2 = 25\ 10^6\ Hz \times 20\ 10^{-12}\ F \times 25\ V^2 = 12.5\ mW$$

$$P_{NOR} = f_{NOR}\, C_4 V_{DD}^2 = 25\ 10^6\ Hz \times 15\ 10^{-12}\ F \times 25\ V^2 = 9.375\ mW$$

1c



$\begin{cases} k = 2\,mA/V^2 \\ V_T = 1V \end{cases}$

porta NOT simmetrica ($k_n = |k_p| = k$, $V_{Tn} = |V_{Tp}| = V_T$)

- Approssimazione resistiva (MOS ohmico)

$$R_n = \frac{1}{2k(V_{DD}-V_T)} = \frac{1}{2 \times 2\frac{mA}{V^2} \times 4V} = 62.5\,\Omega$$

$$\rightarrow t^{(1)}_{pHL} = \ln 2\, R_n C_1 \cong 0.69 \times 62.5\,\Omega \times 15\,10^{-12}\,F = \underline{0.647\,ns}$$

- Approssimazione corrente costante (MOS saturo)

$$I_{sat} = k(V_{DD}-V_T)^2 = 2\frac{mA}{V^2} \times (4V)^2 = 32\,mA$$

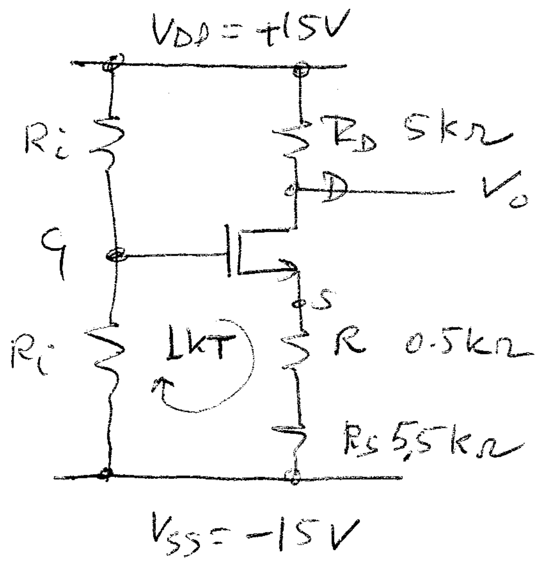
$$\rightarrow t^{(2)}_{pHL} = \frac{C_1 V_{DD}/2}{I_{sat}} = \frac{15\times10^{-12}\,F\ 2.5V}{32\,mA} = \underline{1.17\,ns}$$

$t^{(1)}_{pHL}$ e $t^{(2)}_{pHL}$ sottostimano il tempo di propagazione e $t^{(2)}_{pHL}$ è la migliore stima.

1d

Porta NOR in tecnologia CMOS - Vedi libri di testo e dispense del corso.

$\boxed{2A}$



$V_G = 0.$

LKT alla maglia indicata:

$$V_G - V_{SS} = V_{GS} + (R+R_S)\, I_D$$

$$15V = \underbrace{V_{OD} + V_T}_{} + 6k\Omega \times k\, V_{OD}^2$$

$$15V = V_{OD} + 1V + 3\, V_{OD}^2$$

$$\rightarrow 3\, V_{OD}^2 + V_{OD} - 14 = 0 \rightarrow V_{OD} = \frac{-1 \pm \sqrt{169}}{6} \quad \begin{cases} \boxed{+2} > 0 \text{ ok} \\ -7/3 \ \underline{\text{NO}} \end{cases}$$

da cui:

$$V_{GS} = V_{OD} + V_T = +3V$$

$$I_D = 0.5 \frac{mA}{V^2} \times 4V^2 = \underline{2mA}$$

$$V_O \equiv V_D = V_{DD} - R_D I_D = 15V - 5k\Omega \times 2mA = \underline{+5V}$$

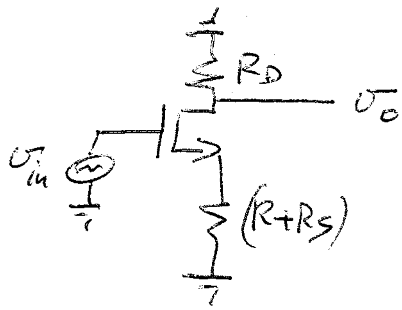
$$V_S = V_{SS} + (R+R_S)\, I_D = -15V + 6k\Omega \times 2mA = \underline{-3V}$$

$$V_{DS} = 8V > V_{DSsat} = V_{GS} - V_T = +2V \rightarrow \underline{\text{MOS è saturo}}$$

$$\rightarrow g_m = 2k(V_{GS} - V_T) = 2 \times 0.5 \frac{mA}{V} \times 2V = 2\, mA/V = 1/0.5k\Omega$$

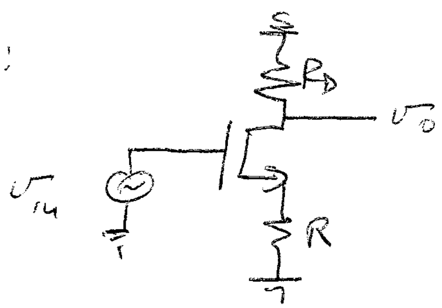
$\boxed{2B}$

in BF:



$$\frac{v_o}{v_{in}}(j0) = -\frac{g_m R_D}{1+g_m(R+R_S)} = -\frac{2\,mA/V \times 5\,k\Omega}{1+2\,\frac{mA}{V}\times 6\,k\Omega} = \underline{-0.77}$$

in AF:



$$\frac{v_o}{v_{in}}(j\infty) = -\frac{g_m R_D}{1+g_m R} = -\frac{2\,mA/V \times 5\,k\Omega}{1+2\,\frac{mA}{V}\times 0.5\,k\Omega} = \underline{-5}$$

Polo: $\tau_{polo} = C_S \times R_{eq\,(\text{vista da } C_S)} =$

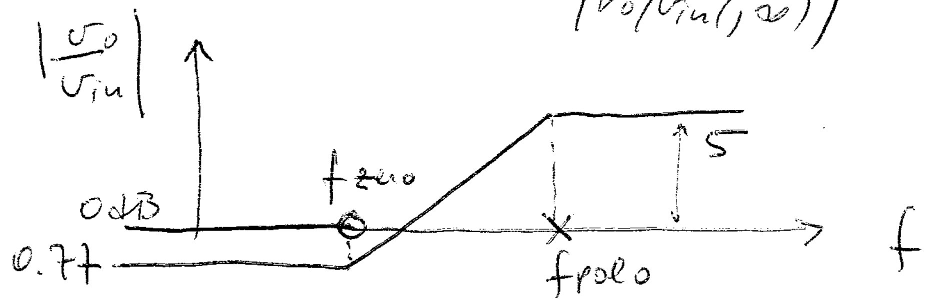
$$= C_S \times \left(R_S \,\|\, \left(R+\frac{1}{g_m}\right)\right) =$$

$$= 10^{-8}\,F\,(5.5k \,\|\, 1k) \cong 10^{-8}\,F\; 0.85\,k\Omega = 8.5\,\mu s$$

$$\rightarrow f_{polo} = \frac{1}{2\pi\,\tau_{polo}} = \underline{18.8\ kHz}$$

Zero: Dal grafico asintotico di Bode di $|v_o/v_{in}|$ si può ricavare:

$$f_{zero} = f_{polo}\,\frac{|v_o/v_{in}(j0)|}{|v_o/v_{in}(j\infty)|} = 18.8\,kHz \times \frac{0.77}{5} \cong \underline{2.9\ kHz}$$



2c P5

$$v_o(t) = 0.1V \times \left|\frac{v_o}{v_{in}}(j2\pi f_0)\right| \sin\left(2\pi f_0 t + \pi + \measuredangle \frac{v_o}{v_{in}}(j2\pi f_0)\right)$$

Essendo $f_0 = 200\,kHz \gg f_{polo} = 18.8\,kHz$:

$$\left|\frac{v_o}{v_{in}}(j2\pi f_0)\right| \simeq 5$$

$$\measuredangle \frac{v_o}{v_{in}}(j2\pi f_0) \simeq \pi$$

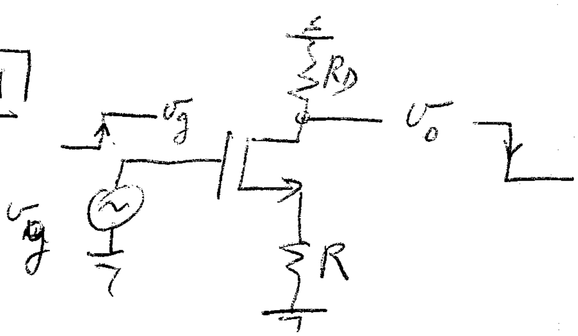
$$\Rightarrow v_o(t) = \boxed{-}\,0.5V \sin(2\pi f_0 t)$$

<u>v_i Piccolo segnale</u>?

$$v_{gs} = v_{in} \cdot \frac{1}{1+g_m \underbrace{Z_s(j2\pi f_0)}_{=R}} = \frac{v_{in}}{1+g_m R} = \frac{1}{2} v_{in}$$

$$\Rightarrow |v_{gs}|_{max} = \frac{1}{2}|v_{in}|_{max} = 0.05V \ll 2V_{OD} = 4V \to$$ ok, <u>piccolo segnale</u>!

2d



$$v_o = -v_g \underbrace{\frac{g_m R_D}{1+g_m R}}_{=5} = -5 v_g$$

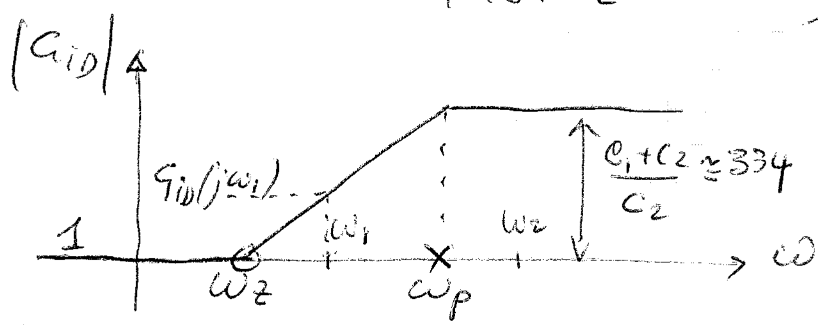
$$V_{GD} = (V_{G\emptyset} + v_g) - (V_{D\emptyset} + v_o) = (0V + v_g) - (+5V - 5v_g) =$$
$$= 6v_g - 5V$$

Per $V_{GD} = V_T \to$ MOS esce dalla SAT <u>e diventa TRIODO</u>

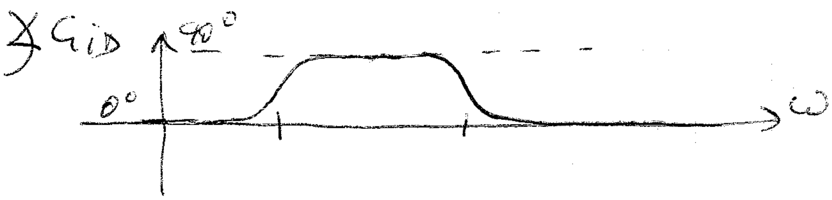
$$\Rightarrow 6 v_g|_{max} - 5V = 1V \Rightarrow \boxed{v_g|_{max} = +1V}$$

3A

$$G_{ID} = 1 + \frac{sRC_1}{1 + sRC_2} = \frac{1 + sR(C_1 + C_2)}{1 + sRC_2}$$



$R(C_1 + C_2) = 2.5\,k\Omega \times 10.03\,nF =$
$= 25.075\,\mu s$
$\rightarrow \omega_z = 39.9\,krad/s$



$RC_2 = 2.5\,k\Omega \times 30\,pF =$
$= 75\,ns$
$\rightarrow \omega_p = 13.33\,Mrad/s$

3B

$v_1 = 10\,\mu V \sin(\omega_1 t) \qquad \omega_1 = 1\,Mrad/s$

$\rightarrow v_{o1} = 10\,\mu V \times |G_{ID}(j\omega_1)| \sin(\omega_1 t + \measuredangle G_{ID}(j\omega_1)) =$
$= 250\,\mu V \times \sin(\omega_1 t + 88^\circ)$

essendo
$$\begin{cases} |G_{ID}(j\omega_1)| = 1 \times \dfrac{\omega_1}{\omega_z} = \dfrac{1\,Mrad/s}{39.9\,krad/s} \simeq 25 \\ \measuredangle G_{ID}(j\omega_1) = \operatorname{arctg} \dfrac{\omega_1}{\omega_z} \simeq +88^\circ \end{cases}$$

$v_2 = 0.1\,mV \sin(\omega_2 t) \qquad \omega_2 = 40\,Mrad/s$

$\rightarrow v_{o2} = 0.1\,mV \times |G_{ID}(j\omega_2)| \sin(\omega_2 t + \measuredangle G_{ID}(j\omega_2)) =$
$= 33.4\,mV \times \sin(\omega_2 t)$

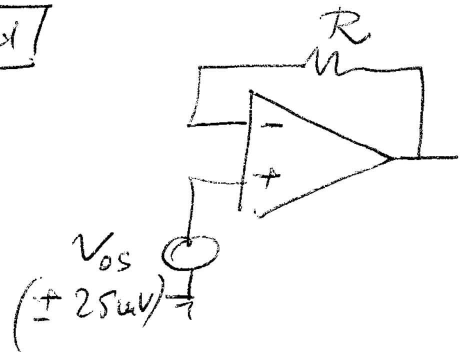
avendo
$$\begin{cases} |G_{ID}(j\omega_2)| \simeq 334 \\ \measuredangle G_{ID}(j\omega_2) \simeq 0^\circ \end{cases}$$

3c Il caso peggiore per lo SR è per $\omega = \omega_2 = 40\,\mathrm{Mrad/s}$ P7

$$\left|\frac{dV_{o2}}{dt}\right|_{MAX} = 33.4\,\mathrm{mV} \times 40\,\mathrm{Mrad/s} = 33.4\,10^{-3}\,\mathrm{V} \times 40\,10^{6}\,\frac{\mathrm{rad}}{\mathrm{s}} =$$

$$= 1.336 \times 10^{6}\,\mathrm{V/s} = \underline{1.336\,\mathrm{V/\mu s}} \Rightarrow SR > 1.336\,\mathrm{V/\mu s}$$

3d



$$V_o\Big|_{V_{os}} = V_{os} = \pm 25\,\mu V$$

Essendo V_{os} un segnale in continua, C_1, C_2 sono aperte.

3e

$$G_L(s) = -A(s)\,\frac{\frac{1}{sC_1}}{\frac{1}{sC_1} + \frac{R}{1+sRC_2}} = -A(s)\,\frac{1+sRC_2}{1+sR(C_1+C_2)}$$

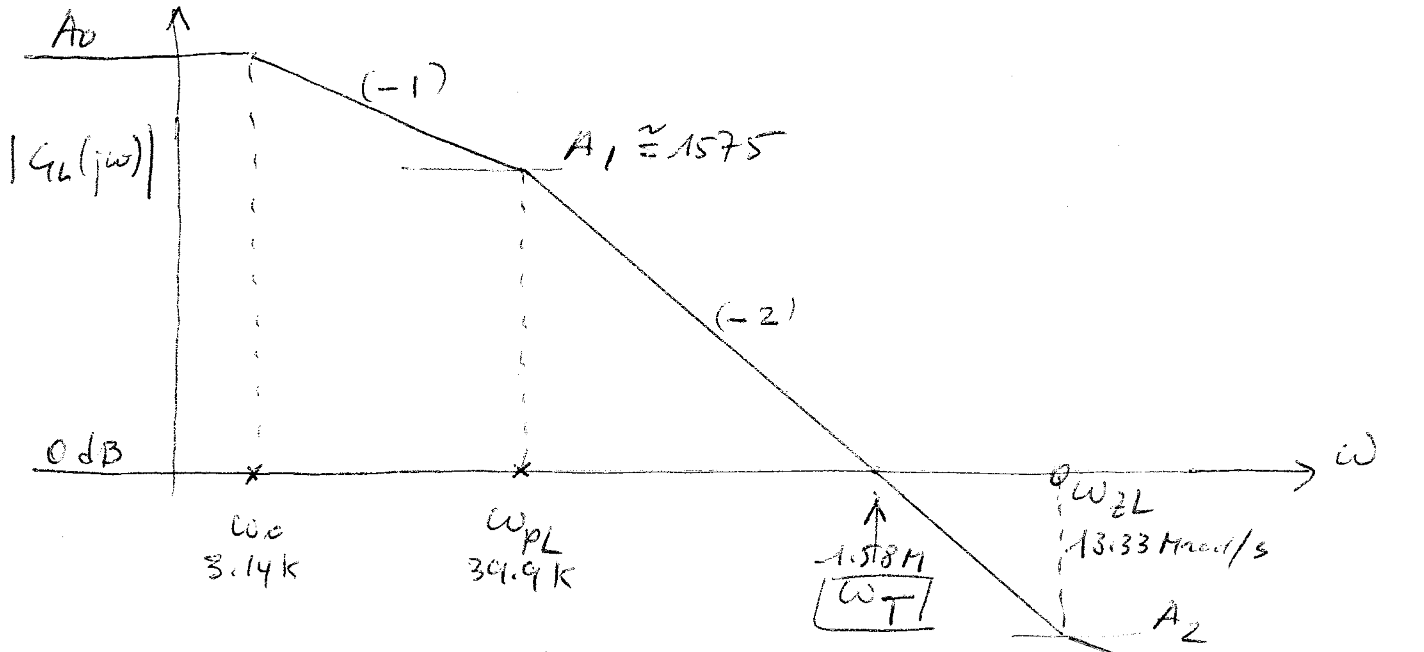
$$A_0 = 2\times 10^4$$

$$\omega_0 = \frac{2\pi \cdot GBWP}{A_0} = \frac{\cancel{2}\pi \cdot 10^7\,\mathrm{Hz}}{\cancel{2}\times 10^4} = 3.14\times 10^3\,\mathrm{rad/s}$$

$$\omega_{zL} = \frac{1}{RC_2} = 13.33\,\mathrm{Mrad/s}$$

$$\omega_{pL} = \frac{1}{R(C_1+C_2)} = 39.9\,\mathrm{krad/s}$$

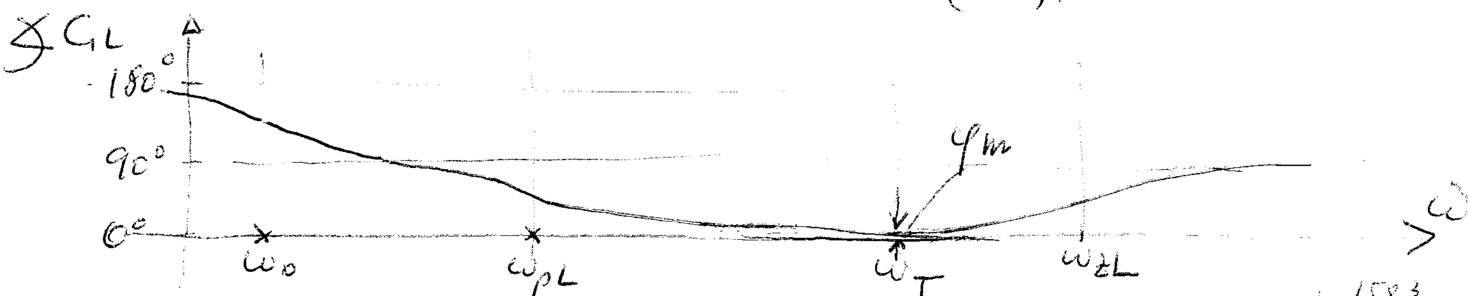
P8



$$A_0\omega_0 = A_1\omega_{pL} \rightarrow \boxed{A_1} = A_0\frac{\omega_0}{\omega_{pL}} = \frac{20'000}{12.7} \cong \underline{1575}$$

$$A_1\omega_{pL}^2 = 1 \cdot \omega_T^2 \rightarrow \boxed{\omega_T} = \sqrt{A_1}\,\omega_{pL} = 39.7\,\omega_{pL} = \underline{1.583\ \tfrac{Mrad}{s}}$$

$$A_1\omega_{pL}^2 = A_2\omega_{zL}^2 \rightarrow A_2 = A_1\left(\frac{\omega_{pL}}{\omega_{zL}}\right)^2 = \frac{1575}{(334)^2} = \underline{0.014}$$



$$\varphi_m = \measuredangle G_L(j\omega_T) = 180° - \underbrace{\operatorname{arctg}\left(\frac{\omega_T}{\omega_0}\right)}_{\operatorname{arctg}\frac{1583}{3.14} \sim 89.9°} - \underbrace{\operatorname{arctg}\left(\frac{\omega_T}{\omega_{pL}}\right)}_{\operatorname{arctg}\frac{1583}{39.9} \sim 88.5°} + \overbrace{\operatorname{arctg}\left(\frac{\omega_T}{\omega_{zL}}\right)}^{\operatorname{arctg}\frac{1583}{13333} \cong 6.8°} =$$

$$= 180° - 89.9° - 88.5° + 6.8° = \underline{8.4°}$$ STABILE

MA $\varphi_m < 45°$

Affinché $\varphi_m \geq 45°$ deve essere:

caso 1°) $A_1 = \frac{A_0 \omega_0}{\omega_{pL}} \leq 1$ (attraversamento $\emptyset$ dB per $\omega_T \leq \omega_{pL}$)

$$\Rightarrow A_0 = \frac{\omega_{pL}}{\omega_0} \leq \underline{\underline{12.7}}$$

caso 2°) $A_2 = A_1 \left(\frac{\omega_{pL}}{\omega_{zL}}\right)^2 \geq 1$ (attraversamento $\emptyset$ dB per $\omega_T \geq \omega_{zL}$)

$$\Rightarrow A_0 \geq A_1 \frac{\omega_{pL}}{\omega_0} = \left(\frac{\omega_{zL}}{\omega_{pL}}\right)^2 \times \left(\frac{\omega_{pL}}{\omega_0}\right) = \underline{\underline{1.42 \cdot 10^6}}$$

il secondo caso richiede un valore di A_0 ($\geq 1.42 \cdot 10^6$) più comune per un A.O.

$\boxed{4}$ ADC ad inseguimento (tracking) - Vedi libro di testo e dispense del corso.