

**Professors:** Juan Antonio Chávez, Albert Orpella, Santiago Silvestre i Antoni Turó

## PROBLEMA 1

Disposem d'AO format per tres etapes amplificadores connectades tal com es mostra a la figura 1 següent.

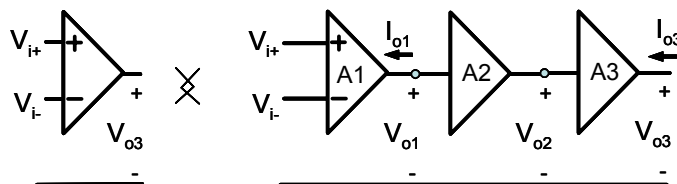


Figura 1

A continuació es detallen les característiques de cada etapa:

Etapa	Característiques
A1	$R_{id} = 2 \text{ M}\Omega$ (resistència d'entrada diferencial) $R_{o1} = 5 \text{ M}\Omega$ (resistència de sortida) $G_1 = I_{o1}/V_{id} = I_{o1}/(V_{i+} - V_{i-}) = 0,2 \text{ mA/V}$ (transconductància) $\Delta V_{o1\max} = \pm 1 \text{ V}$ (marge dinàmic de sortida)
A2	$R_{i2} = 1,3 \text{ M}\Omega$ $R_{o2} = 100 \text{ k}\Omega$ $A_{v2} = V_{o2}/V_{o1} = -2000$ $\Delta V_{o2\max} = \pm 10 \text{ V}$
A3	$R_{i3} = 120 \text{ k}\Omega$ $R_{o3} = 50 \Omega$ $A_{v3} = V_{o3}/V_{o2} = 0,98$ $\Delta V_{o3\max} = \pm 13,5 \text{ V}$

Es demana

- El model de cada etapa segons les característiques donades.
- Connecta els tres models i calcula el guany diferencial de l'AO,  $A_d$ .
- La  $V_{id}$  màxima amb la que no satura ninguna de les tres etapes.
- El valor del CMRR de l'AO si  $A_{cm1} = 4 \cdot 10^{-3}$ .
- Les resistències d'entrada i sortida de l'AO. Dibuixa un model més compacte de l'AO fent servir el guany diferencial y les resistències d'entrada i sortida.
- Connectant l'entrada  $V_{i-}$  a massa i una resistència de càrrega  $R_L = 1 \text{ k}\Omega$  en la sortida, calcular el guany de corrent  $A_i$  del amplificador resultant. Utilitza el model obtingut a l'apartat anterior.

**RECORDEU:**  $A_d = \frac{V_{o3}}{V_{id}} = \frac{V_{o3}}{V_{i+} - V_{i-}}$   $A_i = \frac{I_{o3}}{I_{i+}}$

**Professors:** Juan Antonio Chávez, Albert Orpella, Santiago Silvestre i Antoni Turó

## PROBLEMA 2

Només disposem d'un circuit integrat regulador LM7805 de tensió de sortida fixa de 5 V. Com que es desitja una tensió de sortida  $V_o$  de 7,5 V, aquest circuit integrat es connecta de la forma presentada en la figura 2 següent:

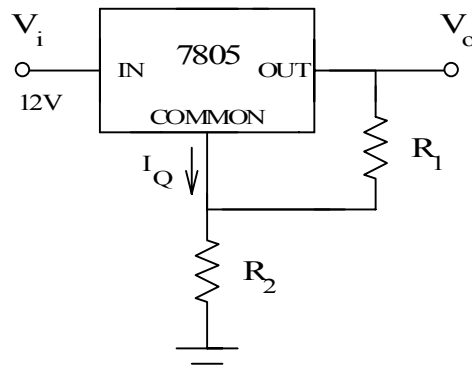


Figura 2

Les característiques del regulador LM7805 són:

- La tensió entre els terminals OUT i COMMON és constant i igual a 5 V.
- El corrent del terminal COMMON és sortint de l'integrat i té un valor  $I_Q$  per a cada regulador concret que pot estar entre 3 i 7 mA.
- La tensió entre els terminals IN i OUT ha d'estar en el marge de  $2V \leq V_{IN} - V_{OUT} \leq 10V$  per a que el seu funcionament sigui correcte.

Es demana:

- Donar l'expressió de la tensió de sortida  $V_o$ .
- Calcular els valors de les resistències  $R_1$  i  $R_2$  de forma que la tensió de sortida de qualsevol regulador d'aquest model estigui entre 7,3 V i 7,7 V.

Per eliminar l'efecte del corrent  $I_Q$  en la tensió de sortida es proposa el següent circuit alternatiu:

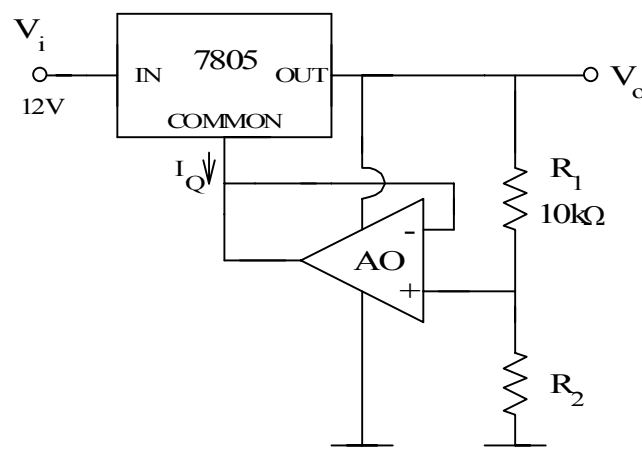


Figura 3

- Obtenir l'expressió de la tensió de sortida  $V_o$ . Considereu l'AO ideal.
- Calcular els valors màxim i mínim que pot assolir aquesta tensió de sortida  $V_o$ , variant  $R_2$ .
- Calcular el valor de  $R_2$  si volem una tensió de sortida  $V_o$  de 7,5 V.
- Si aquest circuit ha d'alimentar una carga de  $7,5 \Omega$ , calcular el rendiment del regulador.
- Si el circuit ha d'alimentar una carga de  $7,5 \Omega$ , calcular la potència dissipada pel regulador.

**Professors:** Juan Antonio Chávez, Albert Orpella, Santiago Silvestre i Antoni Turó

### PROBLEMA 3

El circuit de la figura 4 és un modulador d'ample de pols realitzat amb un temporitzador integrat 555. El diagrama de blocs del 555 es mostra a la mateixa figura.

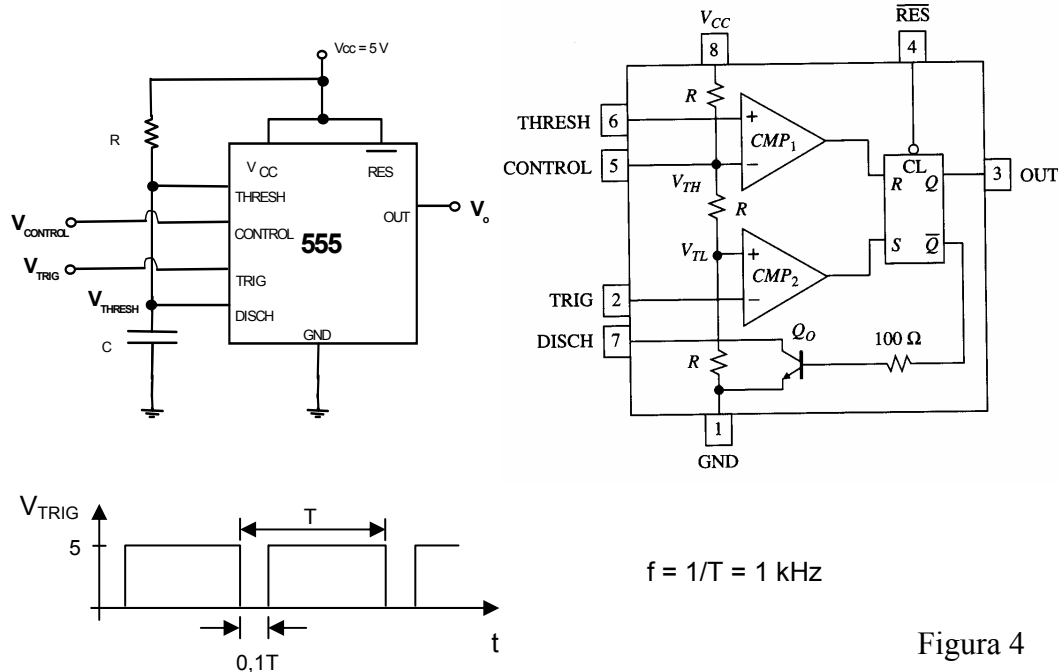


Figura 4

Es demana analitzar el circuit en els següents casos :

- Dibuixar l'evolució temporal de les tensions  $V_{\text{THRESH}}$  i  $V_o$  a partir del senyal  $V_{\text{TRIG}}$  especificat, amb un valor de la tensió  $V_{\text{CONTROL}}$  de 2,5 V. Donar el Duty Cycle del senyal de sortida  $V_o$ .
- Dibuixar l'evolució temporal de les tensions  $V_{\text{THRESH}}$  i  $V_o$  a partir del senyal  $V_{\text{TRIG}}$  especificat, amb una tensió  $V_{\text{CONTROL}}$  de 5,1 V. Donar el Duty Cycle del senyal de sortida  $V_o$ .
- Calcular la tensió mínima que pot mantenir  $V_{\text{CONTROL}}$  si no volem que pugui donar-se la condició prohibida a l'entrada del biestable R-S amb el senyal  $V_{\text{TRIG}}$  especificat.
- Dibuixar les evolucions temporals de les tensions  $V_{\text{THRESH}}$  i  $V_o$  a partir del senyal  $V_{\text{TRIG}}$  especificat, si tenim una tensió  $V_{\text{CONTROL}}$  com la de la figura 5.

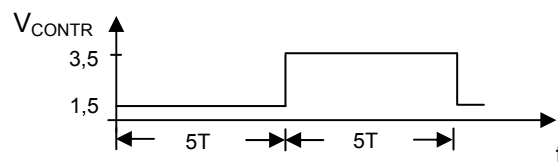


Figura 5

**Dades:**  $R = 33 \text{ k}\Omega$ ,  $C = 22 \text{ nF}$ ,  $V_C(t=0) = 0 \text{ V}$

R	S	$Q^+$	$\overline{Q}^+$
1	0	0	1
0	1	1	0
0	0	Q	$\overline{Q}$
1	1	Prohib.	Prohib.

**Professors:** Juan Antonio Chávez, Albert Orpella, Santiago Silvestre i Antoni Turó

## **PROBLEMA 4**

En el següent circuit de la figura 6:

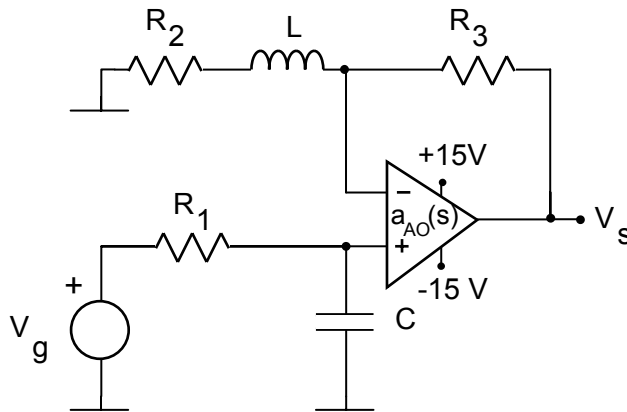


Figura 6

**Dades:**  $R_1 = 900 \, \Omega$ ,  $R_2 = 1 \, \text{k}\Omega$ ,  $R_3 = 9 \, \text{k}\Omega$ ,  $C = 1 \, \mu\text{F}$ ,  $L = 100 \, \text{mH}$ . Amplificador operacional (AO):

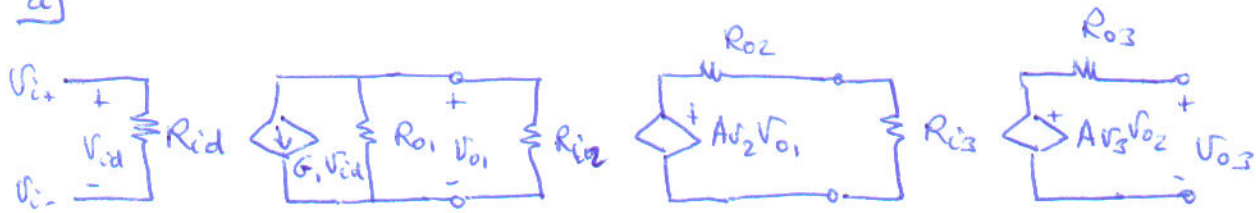
$$a_{AO}(s) = \frac{a_o \omega_1 \omega_2 \omega_3}{(s + \omega_1)(s + \omega_2)(s + \omega_3)}; \omega_1 = 10 \, \text{rad/s}, \omega_2 = 10^4 \, \text{rad/s}, \omega_3 = 10^7 \, \text{rad/s}.$$

Trobeu:

- El diagrama de fluxe i l'expressió del guany de llaç  $T(s)$ .
- Trobeu el guany  $a_o$  que fa el circuit estable aplicant el criteri de Routh.
- El diagrama de Bode de  $T(s)$  i el valor d' $a_o$  per tal d'aconseguir un marge de fase de  $45^\circ$ .
- La tensió de sortida màxima ( $V_{s,\text{max}}$ ) deguda als errors en contínua de l'AO. Considereu que el guany en contínua del AO és molt gran ( $a_o \rightarrow \infty$ ) i els següents errors en contínua:  $I_b = 500 \, \text{nA}$ ,  $I_{os} = 200 \, \text{nA}$ ,  $V_{os} = 1 \, \text{mV}$ .

# PROBLEMA 1

a)



$$b) V_{o3} = - R_{o1} // R_{i2} \cdot G_1 V_{id} = - 206,35 V_{id}$$

$$V_{o2} = \frac{R_{i3}}{R_{i3} + R_{o2}} A_{v2} V_{o1} = - 1090,9 V_{o1} = 225108,2 V_{id}$$

$$V_{o3} = A_{v3} V_{o2} = 0,98 V_{o2} = 220606,1 V_{id}$$

$$A_d = \frac{V_{o3}}{V_{id}} = 220606,1$$

$$c) \left. \begin{array}{l} \text{Etapa 1} \Rightarrow V_{idmax} = \frac{\pm 1V}{-206,3} = \pm 4,85 mV \\ \text{Etapa 2} \Rightarrow V_{idmax} = \frac{\pm 10V}{225108,2} = \pm 44,4 \mu V \\ \text{Etapa 3} \Rightarrow V_{idmax} = \frac{\pm 13,5V}{220606,1} = \pm 61,2 \mu V \end{array} \right\} \Rightarrow V_{idmax} = \pm 44,4 \mu V$$

$$d) A_{cm total} = A_{cm1} \cdot A_2 \cdot A_3 = A_{cm1} \cdot \frac{V_{o3}}{V_{o1}} = 4 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{220606,1 V_{id}}{-206,35 V_{id}} = -4,276$$

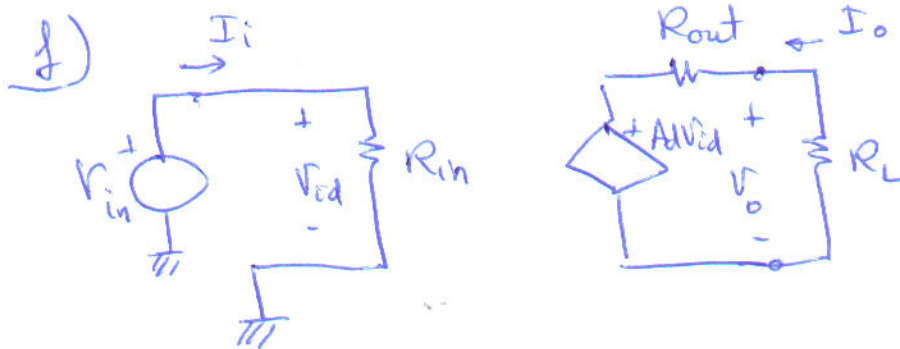
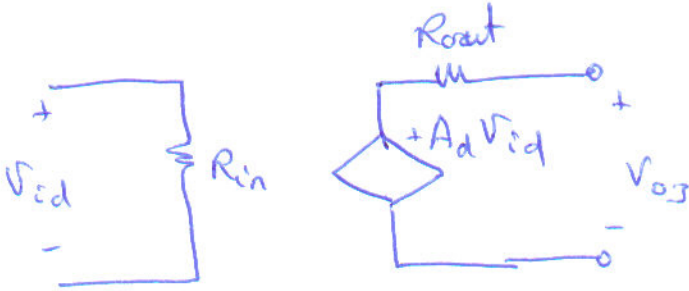
$$A_d = 220606,1$$

$$CMRR = \left| \frac{A_d}{A_{cm total}} \right| = 51,59 \Rightarrow CMRR_{dB} = 94,25 dB$$

## PROBLEMA 1

e)  $R_{in} = R_{id} = 2\text{M}\Omega$

$R_{out} = R_{o3} = 50\Omega$



$$A_i = \frac{I_o}{I_i}$$

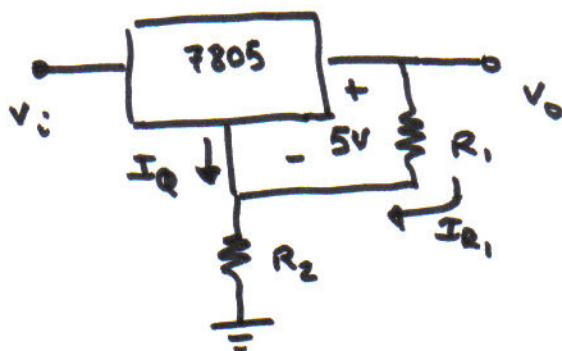
$$I_i = \frac{V_{in}}{R_{in}}$$

$$I_o = - \frac{A_d V_{id}}{R_{out} + R_L} = - \frac{A_d V_{in}}{R_{out} + R_L}$$

$$\Rightarrow \boxed{A_i = -A_d \frac{R_{in}}{R_{out} + R_L} = -4,2 \cdot 10^8}$$

## PROBLEMA 2

20% a)



$$\begin{aligned} V_o &= (I_q + I_{R1}) R_2 + 5 = \\ &= \left( I_q + \frac{5}{R_1} \right) R_2 + 5 = \\ &= \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) 5 + I_q R_2 \end{aligned}$$

20% b)

$$\left. \begin{aligned} V_{o\max} &= 7.7 \text{ V} = \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) 5 + I_{q\max} R_2 \\ V_{o\min} &= 7.3 \text{ V} = \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) 5 + I_{q\min} R_2 \end{aligned} \right\}$$

$$V_{o\max} - V_{o\min} = 0.4 \text{ V} = (I_{q\max} - I_{q\min}) R_2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow R_2 = \frac{0.4 \text{ V}}{4 \text{ mA}} = 100 \Omega$$

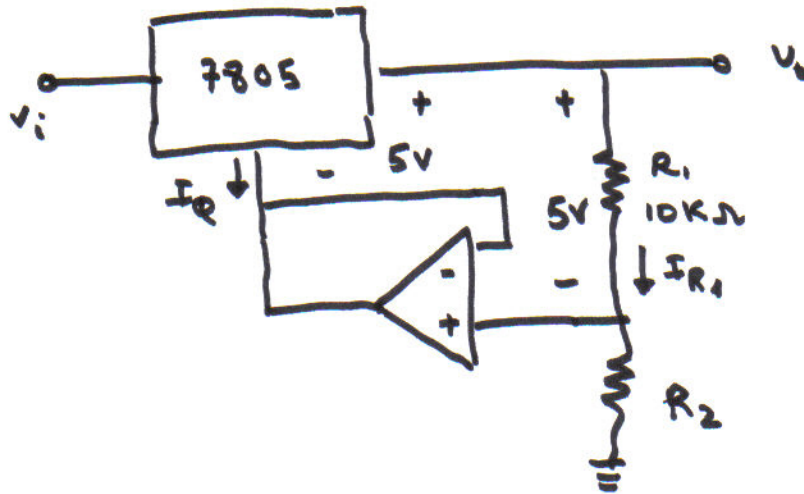
$$V_{o\max} = 7.7 \text{ V} = \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) 5 + I_{q\max} R_2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) 5 = 7.7 \text{ V} - 0.7 \text{ V} = 7 \text{ V} \Rightarrow R_1 = 2.5 R_2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow R_1 = 250 \Omega$$



20% c)



AO en t. lineal  
 $\Downarrow$  AO ideal  
 CIRCUIT VIRTUAL

$$V_o = I_{R_1} \cdot R_2 + 5 = \frac{5}{R_1} R_2 + 5 = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) 5$$

10% d)

$$V_{o_{min}} (\text{when } R_2 = 0) = 5V$$

$$V_{o_{max}} = V_i - (V_{IN} - V_{OUT})_{max} = 12V - 2V = 10V$$

10% e)

$$V_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) 5 = 7.5 \Rightarrow \frac{R_2}{R_1} 5 = 2.5 \Rightarrow R_2 = 5k\Omega$$

10% f)

$$R_L = 7.5\Omega \quad I_o = \frac{V_o}{R_L} = 1A \gg \text{resta currents}$$

$$I_o \approx I_i \Rightarrow \eta = \frac{P_o}{P_i} = \frac{I_o V_o}{I_i V_i} \approx \frac{V_o}{V_i}$$

$$\eta (\%) \approx \frac{V_o}{V_i} \cdot 100 = \frac{7.5}{12} \cdot 100 = 62.5\%$$

10% g)

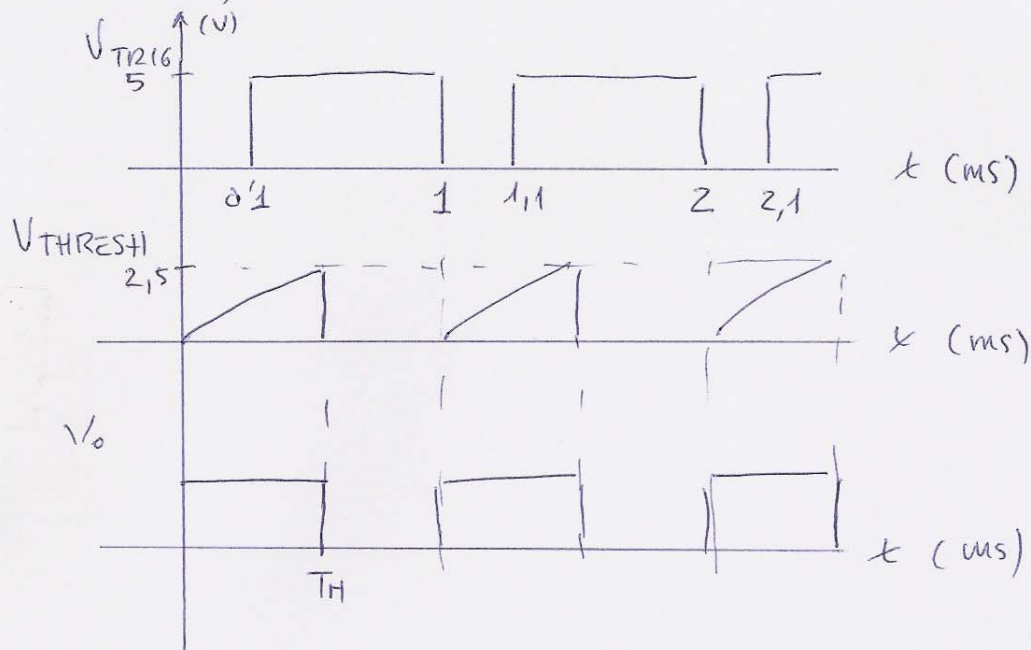
$$I_o \approx I_i$$

$$P_o \approx (V_i - V_o) I_o = (12V - 7.5V) \cdot 1A = 4.5W$$



# Problema 3

a) (30%)



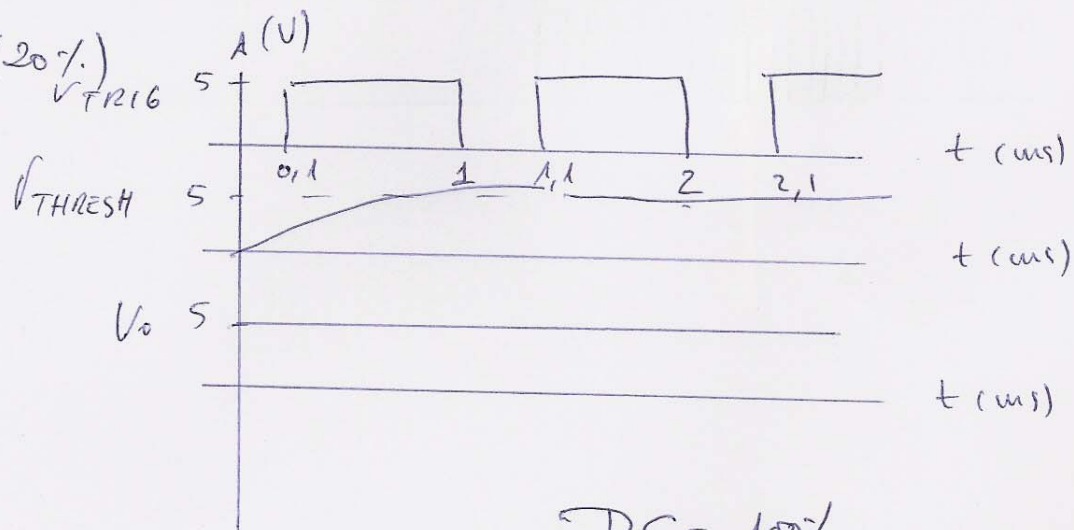
$$V_{THRESH} = V_C(t) = V_{CC} (1 - e^{-t/RC})$$

$$2.5 = 5 (1 - e^{-T_H/RC})$$

$$T_H = 5.03 \cdot 10^{-4} s$$

$$DC = \frac{T_H}{T} = 50.32\%$$

b) (20%)



$$DC = 100\%$$

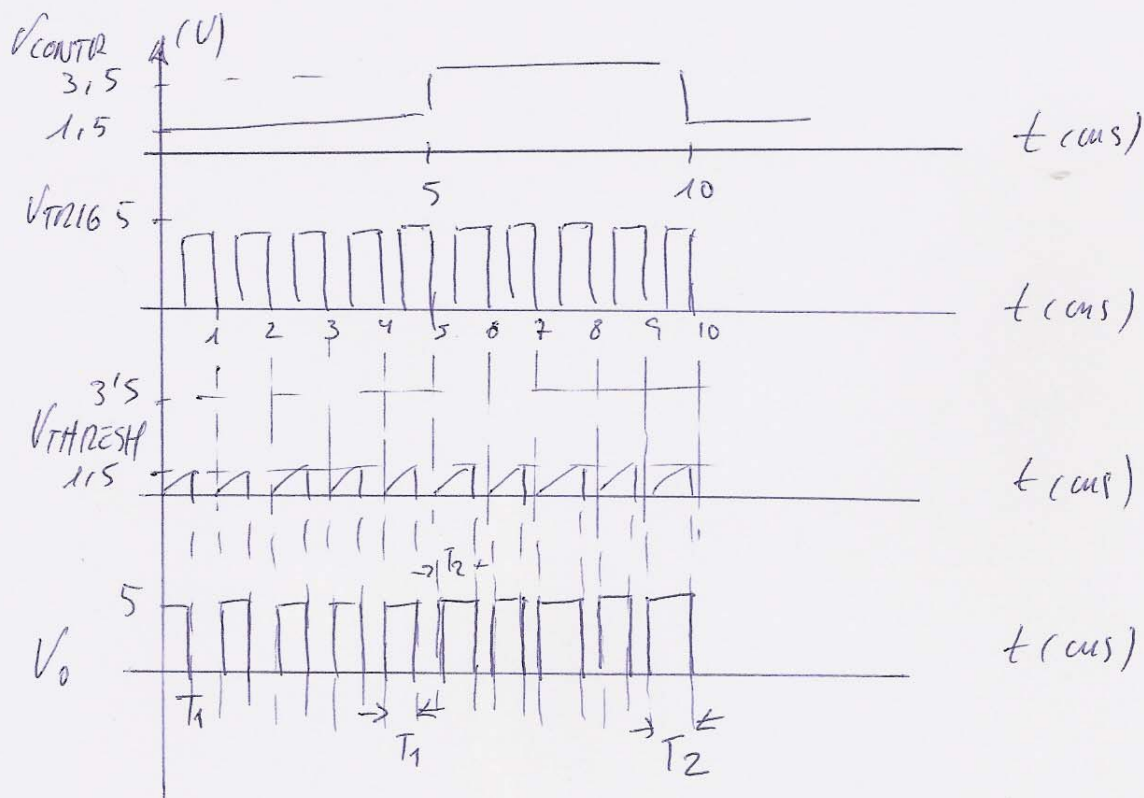
c) (30%)

$$V_C(t) = V_{CC} (1 - e^{-t/RC})$$

$$V_C(0.1T) = V_{CC} (1 - e^{-0.1T/RC}) < V_{TH}$$

$$V_{TH} \geq 0.64 V.$$

d) (20%)



$$V_{CC} (1 - e^{-T_1/RC}) = 1.5 \rightarrow T_1 = 2.58 \cdot 10^{-4} s$$

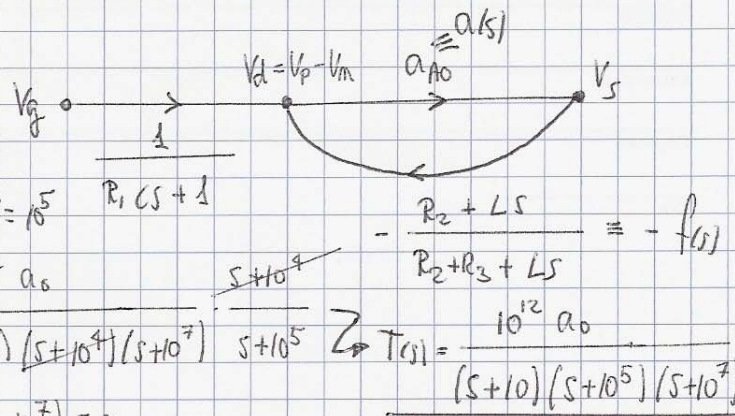
$$V_{CC} (1 - e^{-T_2/RC}) = 3.5 \rightarrow T_2 = 8.74 \cdot 10^{-4} s$$



# PROBLEMA 4

a)  $V_p = \frac{1/c_s}{R_1 + 1/c_s} \cdot V_g = \frac{V_g}{R_1 c_s + 1}$   
 $V_m = \frac{R_2 + Ls}{R_2 + R_3 + Ls} V_s$

• DIAGRAMA FLUXO:



• GANH DA LAÇA:

$T(s) = a(s) \cdot f(s) = a_{10} \cdot \frac{R_2 + Ls}{R_2 + R_3 + Ls} \cdot \frac{1}{R_1 c_s + 1}$   
 $T(s) = \frac{10^{12} a_0}{(s+10)(s+10^4)(s+10^7)} \cdot \frac{s+10^4}{s+10^5} \Rightarrow T(s) = \frac{10^{12} a_0}{(s+10)(s+10^5)(s+10^7)}$

b)  $T(s) = -1 ; 10^{12} a_0 + (s+10)(s+10^5)(s+10^7) = 0$

$s^3 + 10^7 s^2 + 10^{12} s + 10^{13} (1 + a_0/10) = 0$

• ROUTH:

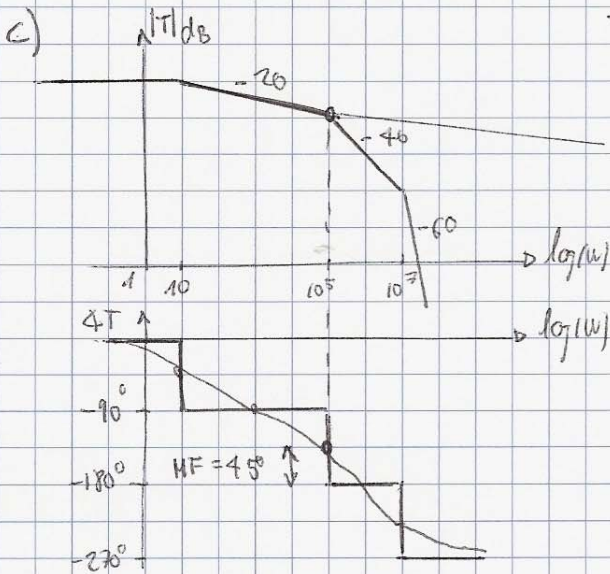
$s^3$	1	$10^{12}$
$s^2$	$10^7$	$10^{13}(1 + 0.1 a_0)$
$s^1$	a	b
$s^0$	c	

$a = \frac{10^7 \cdot 10^{12} - 10^{13}(1 + 0.1 a_0)}{10^7} > 0 ; 10^{13}(1 + 0.1 a_0) < 10^{19}$

$b = 0$

$c = 10^{13}(1 + 0.1 a_0)$

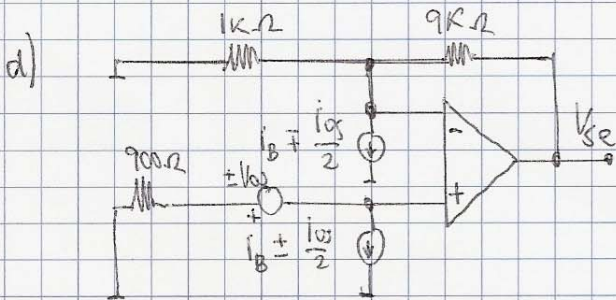
$0 < a_0 < 10^7$



$T(s) = \frac{a_0/10}{(s/10 + 1)(s/10^5 + 1)(s/10^7 + 1)}$

$0 \text{ dB} = 20 \log(a_0/10) - 20 \log\left(\frac{10^5}{10}\right) - 3$

$a_0/10 = 10^{3/20} ; a_0 = 1.4 \cdot 10^5$



•  $V_p = \pm V_{cc} - 200 \cdot (i_B \pm i_{os}/2) \approx V_m$

• KCL  $V_m$ :  $\frac{V_s - V_m}{9k} = \frac{V_m}{1k} + i_B \pm i_{os}/2 ; V_s = 10 V_m + 9k(i_B \pm i_{os}/2)$

•  $V_{se} = \pm 10 V_{os} - 9000 i_B \mp 9000 \frac{i_{os}}{2} + 9000 i_B \mp 9000 \frac{i_{os}}{2}$

$V_{se, \text{max}} = 10 \cdot 10^{-3} + 9 \cdot 10^3 \cdot 200 \cdot 10^{-9} = 11.8 \text{ mV}$