

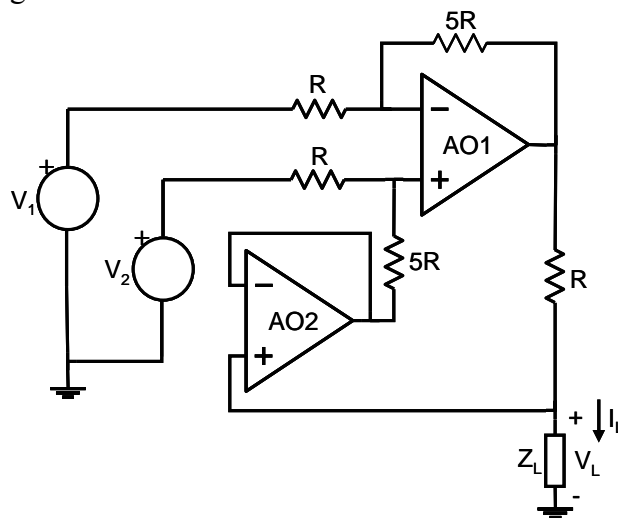
Circuits i Sistemes Electrònics III
Examen final
Quadrimestre de primavera 05/06

Solució de l'examen final disponible al campus digital: 6 de Juny
Publicació de notes provisionals (mòdul C4 planta -1) : 13 de Juny a 15 h.
Fi del termini d'al·legacions (secretaria B3): 20 de Juny a 16 h.
Publicació de notes definitives (mòdul C4 planta -1): 21 de Juny a 12 h.

Cada problema s'ha de lliurar en fulles separades

Problema 1 (25%)

Donat el circuit de la figura.



Dades:

$R = 1 \text{ k}\Omega$. Els dos AOs tenen les mateixes especificacions: $V_{os} = 10 \text{ mV}$, $\text{CMRR} = 80 \text{ dB}$, $I_B = 90 \text{ nA}$, $I_{OS} = 10 \text{ nA}$

Es demana:

- L'expressió del corrent I_L en funció de V_1 i V_2 .
- Quina és la funció d'aquest circuit?

A continuació estudiarem com afecten les limitacions dels AOs a la resposta del circuit. Es demana que calculeu en el cas pitjor:

- L'efecte de la tensió d'offset dels AO sobre I_L .
- L'efecte dels corrents de polarització sobre I_L .

Suposant a partir d'ara que $V_1 = 20 + 5\sin(\omega t)$, $V_2 = 20 - 5\sin(\omega t)$ i $Z_L = 10 \text{ k}\Omega$. Es demana

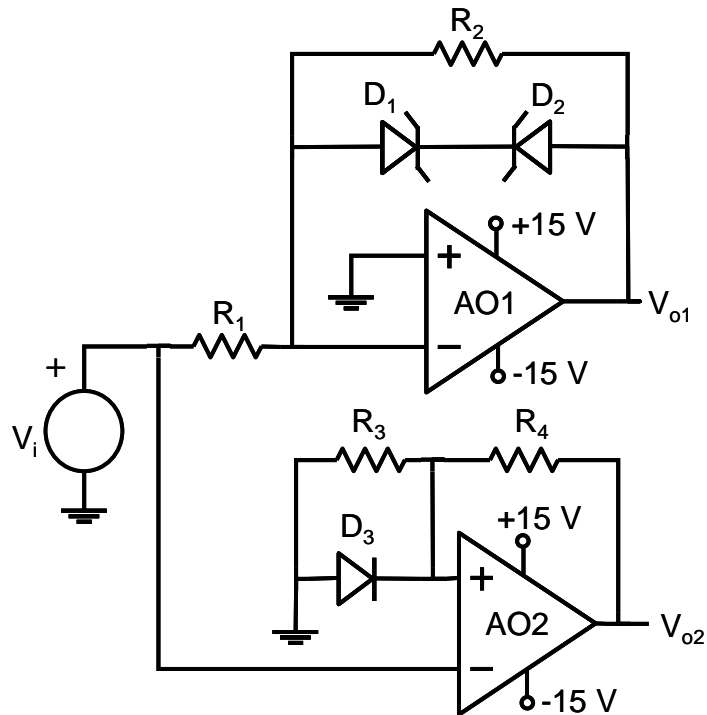
- Les tensions en mode comú a l'AO1 i a l'AO2.
- L'efecte del CMRR dels AOs sobre I_L .

Circuits i Sistemes Electrònics III
Examen final
Quadrimestre de primavera 05/06

Problema 2 (25%)

Donat el circuit de la figura es demana:

- Dibuixar $V_{o1}(t)$, donant valors significatius de temps i amplitud.
- Dibuixar $V_{o2}(t)$, donant valors significatius de temps i amplitud, i calcular el cicle de treball.
- Indicar el valor màxim del cicle de treball del senyal V_{o2} si podem variar els valors de les resistències R_3 i R_4 .



Dades :

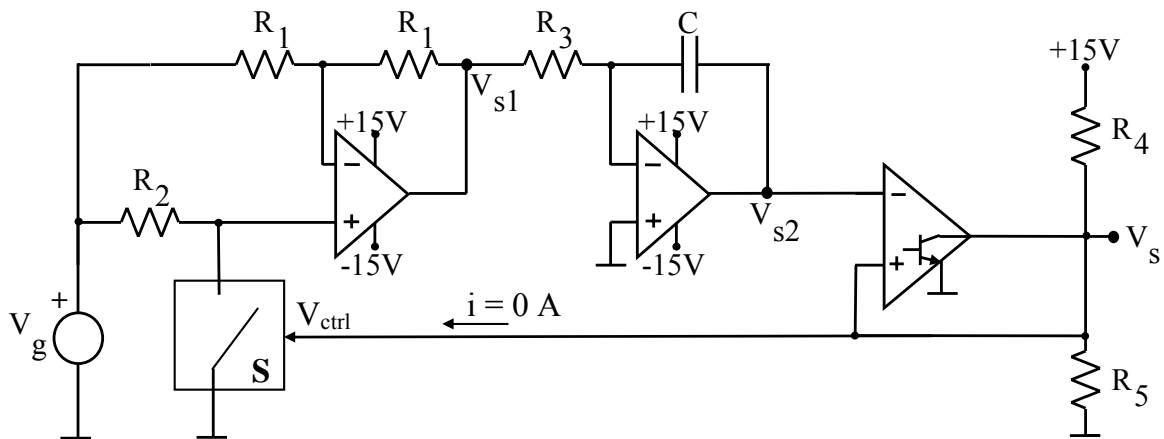
$V_z (D1, D2) = 3 \text{ V}$, $V_{on} (D1, D2, D3) = 0,6 \text{ V}$, $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 2 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 3 \text{ k}\Omega$, $R_4 = 12 \text{ k}\Omega$
 V_i és un senyal triangular de $f = 100 \text{ Hz}$ i 8 Vpp d'amplitud.

Circuits i Sistemes Electrònics III
Examen final
Quadrimestre de primavera 05/06

Problema 3 (25%)

En el circuit de la figura següent, trobeu:

- La tensió de sortida de la primera etapa V_{s1} en funció de la tensió d'entrada (V_g) quan l'interruptor S està obert i tancat.
- La tensió de sortida de la segona etapa V_{s2} en el domini temporal.
- La característica sortida-entrada de l'última etapa V_s (V_{s2}). Dibuixeu-la.
- Les formes d'ona de V_{s2} i V_s si inicialment (en $t = 0$ s) el condensador està descarregat i V_s és igual a 10 V. Dibuixeu-les.
- La freqüència d'oscil·lació de la tensió de sortida V_s . Quina funció realitza el circuit?



Dades:

$R_1 = 20 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 40 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 200 \text{ k}\Omega$, $R_4 = 2 \text{ k}\Omega$, $R_5 = 4 \text{ k}\Omega$, $R_6 = 100 \text{ }\Omega$,

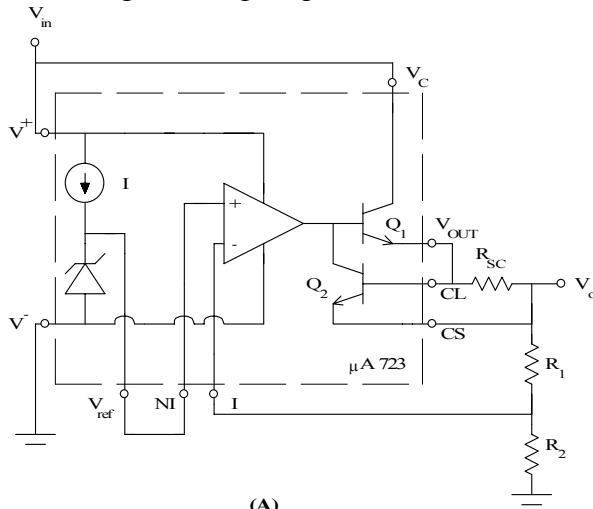
$C = 500 \text{ pF}$, $V_{CESAT} = 0 \text{ V}$

L'interruptor S està obert quan $V_{ctrl} < 1 \text{ V}$.

Circuits i Sistemes Electrònics III
Examen final
 Quadrimestre de primavera 05/06

Problema 4 (25%)

La figura A representa un circuit regulador de tensió realitzat amb un circuit integrat $\mu A 723$. Aquesta és la configuració típica per obtenir tensions de sortida altes.



Dades:

$$V_{in} = 15 \text{ V}$$

$$V_{ref} = 7,15 \text{ V}$$

$$R_2 = 5,6 \text{ k}\Omega$$

$$V_{BE,on} = 0,8 \text{ V}$$

Es demana:

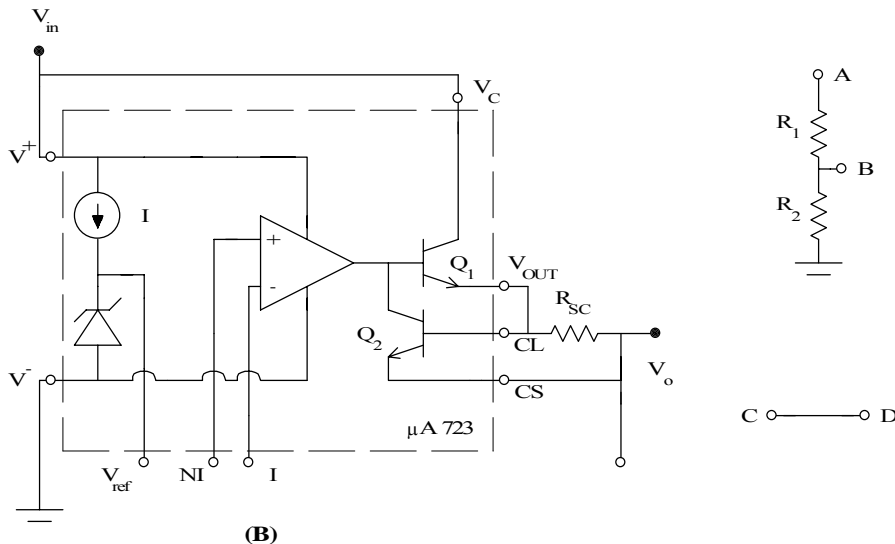
- Trobar l'expressió de la tensió de sortida V_o per al circuit de la figura A, considerant l'AO ideal.
- ¿Quina és la tensió de sortida V_o mínima que es pot obtenir amb aquesta configuració?

Si se pretén obtenir una tensió de sortida de $V_o = 10 \text{ V}$ amb un corrent nominal de $I_o = 1 \text{ A}$:

- Calcula el valor de R_1 necessari per obtenir la tensió de sortida $V_o = 10 \text{ V}$.
- Calcula el rendiment i la potència dissipada del regulador en condicions nominals de funcionament, considerant que la β dels transistors és molt més gran que la unitat.
- Calcula el valor de R_{sc} de forma que el corrent de sortida estigui limitat a $1,6 \text{ A}$.

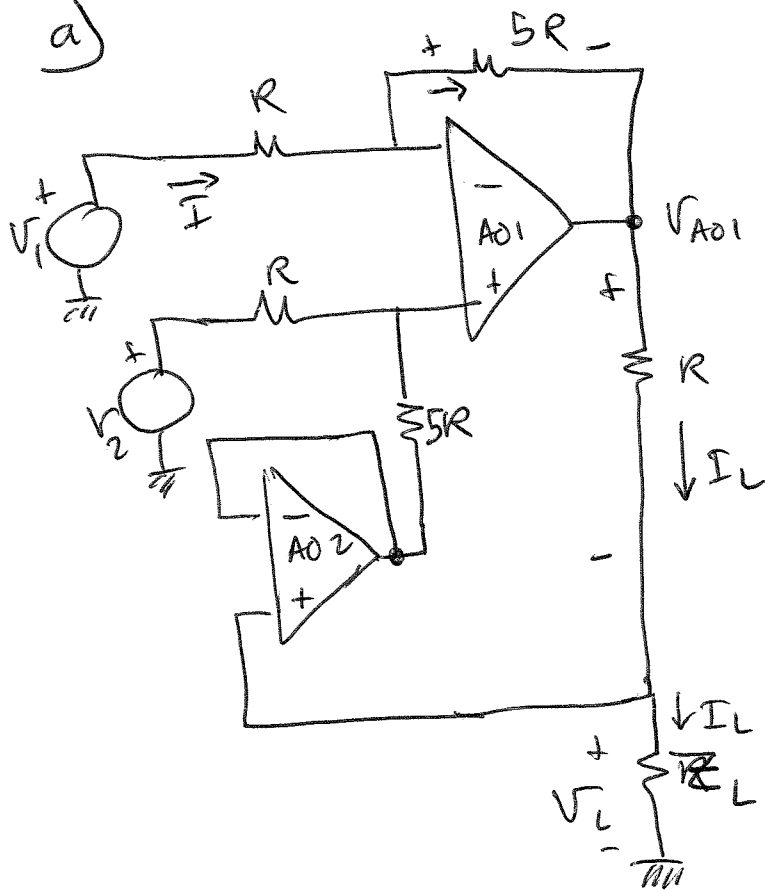
Per poder obtenir tensions de sortida baixes (menors a uns 7 V) és necessari canviar la configuració de la figura A:

- ¿Com han de connectar-se en la figura B els terminals d'entrada de l'amplificador operacional NI i I amb V_{ref} i V_o , mitjançant el divisor de tensió i el curtcircuit per a que el circuit funcioni correctament?
- ¿Quina és l'expressió de la tensió de sortida V_o amb aquesta configuració?



PROBLEMA 1

a)



$$V_{AO2} = V_L \Rightarrow V_{+1} = \frac{5}{6} V_2 + V_L \frac{1}{6}$$

$$V_{-1} = V_{+1} \Rightarrow I = \frac{V_1 - V_{+1}}{R} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow I = \frac{V_1 - \frac{5}{6} V_2 - \frac{1}{6} V_L}{R} \Rightarrow$$

$$V_{AO1} = V_{-1} - 5RI$$

$$\Rightarrow V_{AO1} = \frac{5}{6} V_2 + \frac{1}{6} V_L - 5R \left(\frac{V_1 - \frac{5}{6} V_2 - \frac{1}{6} V_L}{R} \right) =$$

$$= \frac{5}{6} V_2 + \frac{1}{6} V_L - 5V_1 + \frac{25}{6} V_2 + \frac{5}{6} V_L =$$

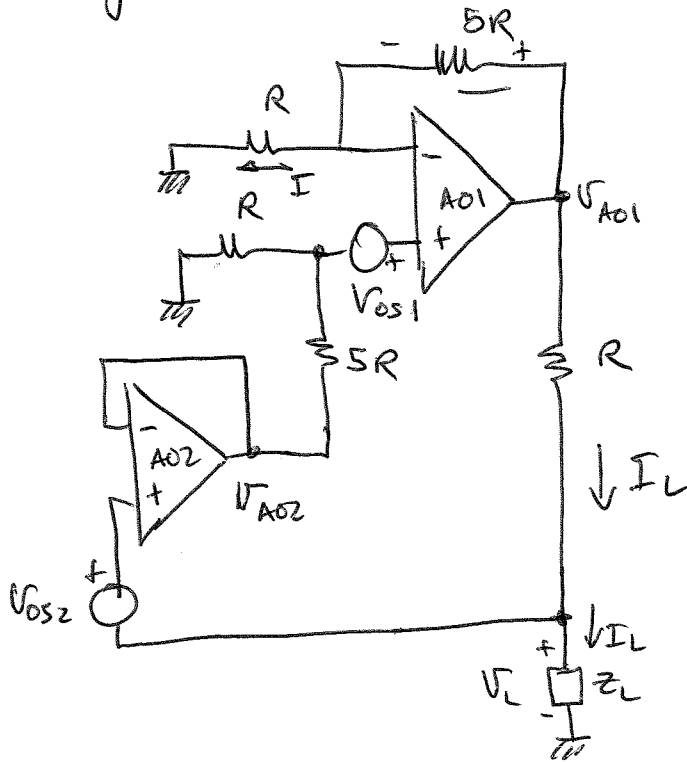
$$= 5V_2 - 5V_1 + \frac{6}{6} V_L \Rightarrow I_L = 5 \frac{(V_2 - V_1)}{R} \Rightarrow$$

$$I_L = \frac{V_{AO1} - V_L}{R}$$

$$\Rightarrow \boxed{I_L = 5(V_2 - V_1) \text{ mA}}$$

b) És un convertidor de tensió diferencial a corrent

c) Efecte de la tensió d'offset



$$\left. \begin{aligned} V_{A02} &= V_L + V_{0s2} \\ V_{+1} &= V_{0s1} + \frac{1}{6} V_{A02} \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

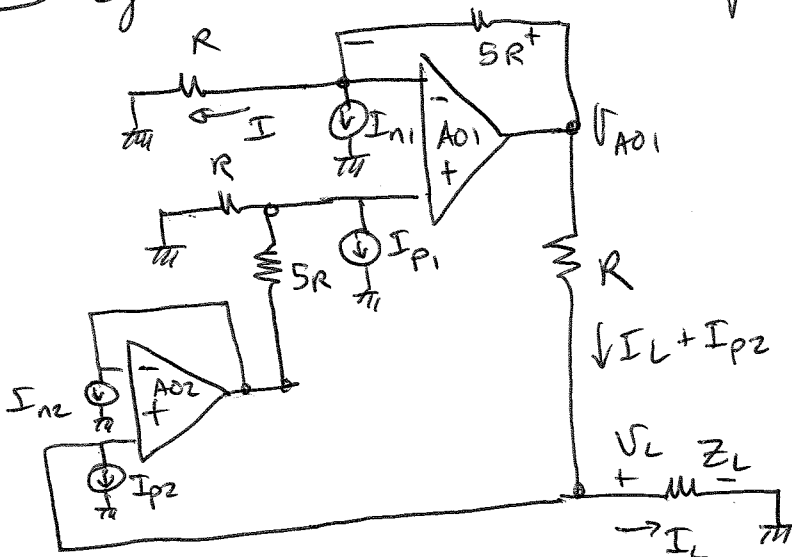
$$\Rightarrow V_{+1} = V_{0s1} + \frac{V_L}{6} + \frac{V_{0s2}}{6} \quad \left. \begin{aligned} V_{-1} &= V_{+1} \\ I &= \frac{V_{-1}}{R} \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow I = \frac{V_{+1}}{R} = \frac{1}{R} \left(V_{0s1} + \frac{V_L}{6} + \frac{V_{0s2}}{6} \right) \quad \left. \begin{aligned} \Rightarrow V_{A01} &= 6V_{0s1} + V_L + V_{0s2} \\ V_{A01} &= V_{-1} + 5RI \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$V_{-1} = RI \quad I_L = \frac{V_{A01} - V_L}{R}$$

$$\Rightarrow I_L = \frac{6V_{0s1} + V_{0s2}}{R} \quad \text{cas pitjor} \quad \left[I_L = \frac{\pm 70 \text{ mV}}{1 \text{ k}\Omega} = \pm 70 \mu\text{A} \right]$$

d) Efecte dels corrents de polarització



$$\left. \begin{aligned} V_{+2} &= V_L = V_{-2} = V_{A02} \\ V_{+1} &= V_{A02} \cdot \frac{1}{6} - R \parallel 5R \cdot I_p \\ V_{-1} &= V_{+1} \\ I &= \frac{V_{-1}}{R} \\ V_{A01} &= 5R(I + I_{in1}) + V_{-1} \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$V_{A01} = 5R \left(\frac{V_{-1}}{R} + I_{n1} \right) + V_{-1} = 6V_{-1} + 5R I_{n1} =$$

$$= V_{A02} - \frac{5}{6} R I_{P1} \cdot 6 + 5R I_{n1} = V_L + 5R (I_{n1} - I_{P1})$$

$$I_L + I_{P2} = \frac{V_{A01} - V_L}{R} = \frac{5R (I_{n1} - I_{P1})}{R} \Rightarrow I_L = 5(I_{n1} - I_{P1}) - I_{P2}$$

$$\left. \begin{aligned} I_{n1} &= I_{B1} \mp I_{os1}/2 \\ I_{P1} &= I_{B1} \pm I_{os1}/2 \\ I_{P2} &= I_{B2} \pm I_{os2}/2 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \boxed{I_L = 5(\mp I_{os1}) - I_{B2} \mp I_{os2}/2}$$

$$I_L = \mp 5 I_{os1} - I_{B2} \mp I_{os2}/2 \begin{cases} \xrightarrow{\text{max}} -I_{B2} + 5 I_{os1} + I_{os2}/2 = -90 \text{ nA} + 50 \text{ nA} + 5 \text{ nA} = -35 \text{ nA} \\ \xrightarrow{\text{min}} -I_{B2} - 5 I_{os1} - I_{os2}/2 = -90 \text{ nA} - 50 \text{ nA} - 5 \text{ nA} = -145 \text{ nA} \end{cases}$$

$$\boxed{-145 \text{ nA} \leq I_L \leq -35 \text{ nA}}$$

e) Tensions en mode comú.

A partir del circuit de l'apartat a):

$$V_{+2} = V_L = V_{-2} \Rightarrow \boxed{V_{cm2} = V_L = Z_L \cdot I_L = 5 \frac{Z_L}{R} (V_2 - V_1)}$$

$$V_{+1} = \frac{5}{6} V_2 + \frac{1}{6} V_L \Rightarrow V_{cm1} = \frac{5}{6} V_2 + \frac{1}{6} \cdot Z_L I_L$$

$$\Rightarrow \boxed{V_{cm1} = \frac{5}{6} V_2 + \frac{1}{6} Z_L \cdot \frac{5(V_2 - V_1)}{R} = \frac{5}{6} \left(V_2 + \frac{Z_L}{R} (V_2 - V_1) \right)}$$

f) Es pot calcular l'efecte del CMRR sobre I_L aprofitant els càlculs fet a l'apartat c) i substituint

$$V_{os1} \text{ per } \frac{V_{cm1}}{CMRR}$$

$$i$$

$$V_{os2} \text{ per } \frac{V_{cm2}}{CMRR}$$

Per tant

$$I_L = \frac{1}{R} \left(6 \cdot \frac{V_{cm1}}{CMRR} + \frac{V_{cm2}}{CMRR} \right) \stackrel{\text{apartat e)}}{=} \downarrow$$

$$= \frac{1}{R \cdot CMRR} \left(5V_2 + 5 \frac{Z_L}{R} (V_2 - V_1) + 5 \frac{Z_L}{R} (V_2 - V_1) \right)$$

$$I_L = \frac{5}{R \cdot CMRR} \cdot \left(V_2 + 2 \frac{Z_L}{R} (V_2 - V_1) \right)$$

$$I_L = \frac{5}{1k\Omega \cdot 10^4} \left(V_2 + 2 \frac{Z_L}{10^3} (V_2 - V_1) \right) = 5 \cdot 10^{-7} (V_2 + 2 \cdot 10^{-3} Z_L (V_2 - V_1))$$

$$\left. \begin{array}{l} V_1 = 20 + 5 \mu n(\omega t) \\ V_2 = 20 - 5 \mu n(\omega t) \\ Z_L = 10k\Omega \end{array} \right\} \Rightarrow I_L = 5 \cdot 10^{-7} [20 - 5 \mu n \omega t + 20(-10 \mu n \omega t)]$$

$$\Rightarrow I_L = 5 \cdot 10^{-7} [20 - 35 \mu n \omega t]$$

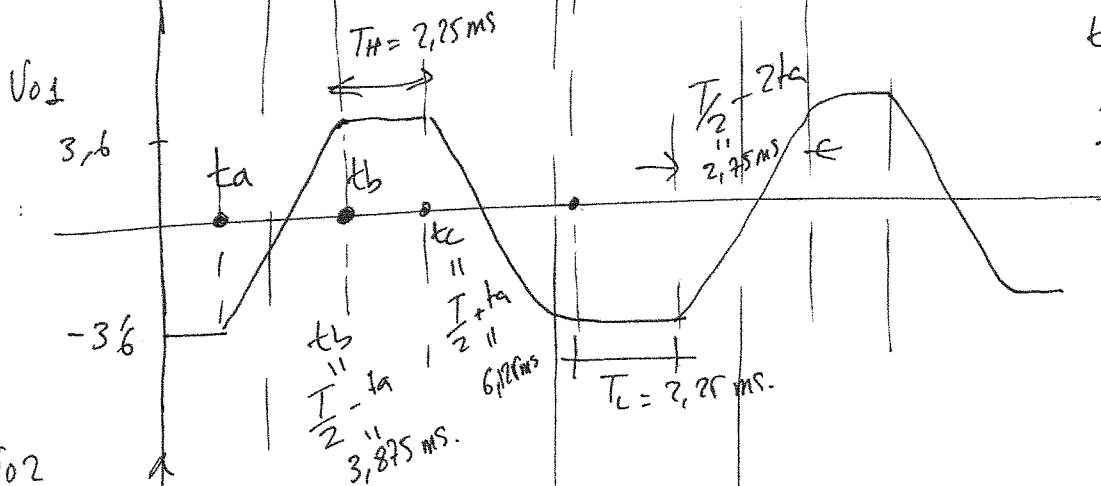
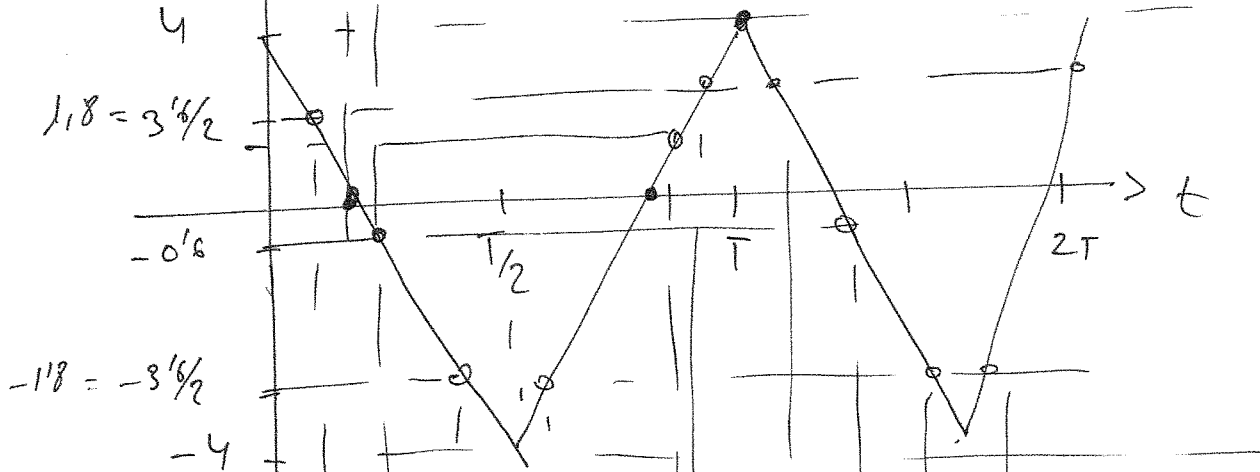
PROBLEMA 2

$V_1(t)$

$$\Delta t_{\text{eff}} = 3,75 \cdot 10^{-4} \text{ s}$$

$$T = 10 \text{ ms}$$

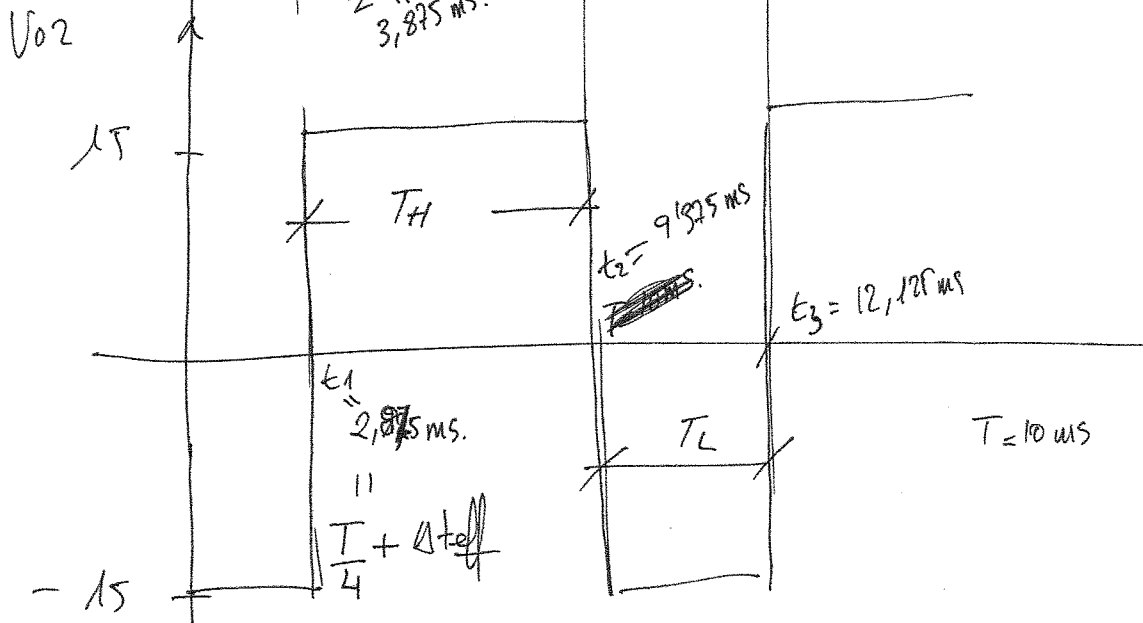
$$T/2 = 5 \text{ ms}$$



$$t_a ? = 1,125 \text{ ms}$$

$$4 \cdot t_a = -1,8$$

$$\frac{4 \cdot t_a}{T/4}$$



$$T_L = 2,25 \text{ ms}$$

$$T_H = 6,5 \text{ ms}$$

$$\rightarrow DC = 65,0\% \leftarrow$$

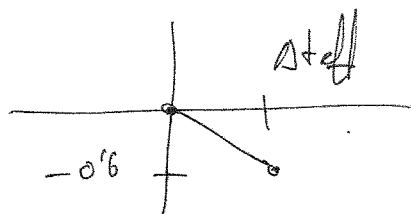
$$V_1(t) \quad 0 \leq t \leq T/2$$

$$V_1(t) = 4 - \frac{8}{T/2} t = 4 - \frac{16}{T} \Delta t_1$$

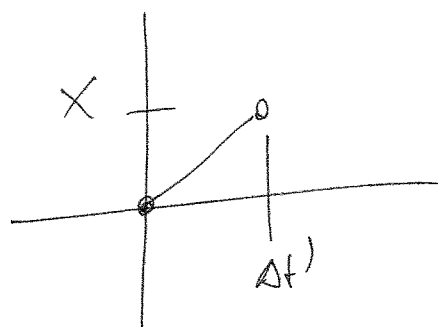
$$V_1(t) = -0.6 = 4 - \frac{16}{T} t$$

$$\Delta t_1 = 2,875 \cdot 10^{-3}$$

$$\rightarrow \Delta t_{eff} = 3,75 \cdot 10^{-4} s$$



$$T_H = \frac{T}{2} - \Delta t_{eff} + \Delta t'$$



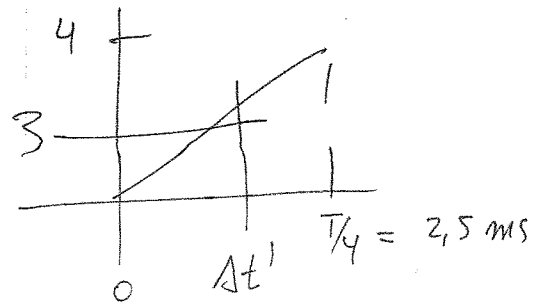
$$T_{Hmax} = \frac{3T}{4} - \Delta t_{eff} = 7,125 \cdot 10^{-3}$$

$$D_{max} = \frac{T_{Hmax}}{T} = 0.71$$

71%

$\Delta t' \rightarrow$

$$X = 15 \cdot \frac{3k}{15k} = 3V.$$

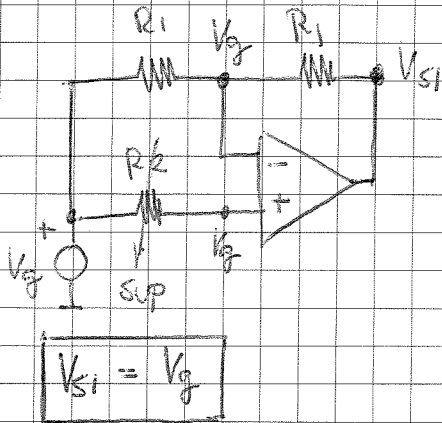


$$\frac{4}{2,5 \cdot 10^{-3}} \Delta t' = 3$$

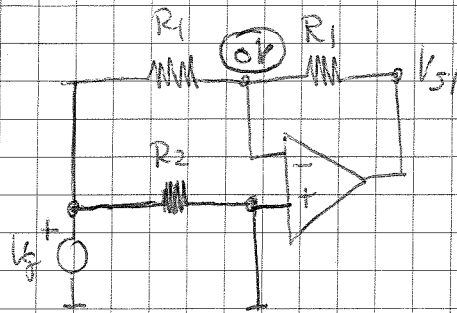
$$\Delta t' = 1,875 \text{ ms}$$

PROBLEMA 3

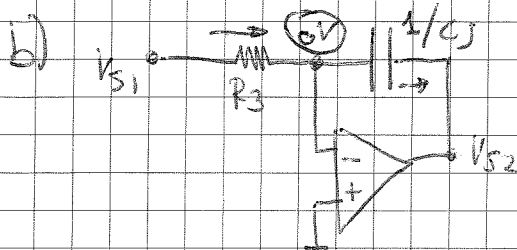
a) S OBART ($V_s = V_{CE} = 0 \text{ V}$)



S TAUCAT ($V_s = V_{CE} = 10 \text{ V}$)



$$KCL_{UM}: \frac{V_g - 0}{R_1} = \frac{0 - V_{s1}}{R_2} ; \boxed{V_{s1} = -V_g}$$



$$KCL_{UM}: \frac{V_{s1} - 0}{R_3} = \frac{0 - V_{s2}}{1/C_s} ; V_{s1} = -R_3 C_s V_{s2}$$

$$V_{s2} = -\frac{1}{R_3 C_s} \cdot \frac{V_{s1}}{s} \Rightarrow V_{s2}(t) = -\frac{1}{R_3 C_s} \int_{t_0}^t V_{s1}(t') dt' + V_{s2}(t_0)$$

c) TRT TALL ($V_p > V_m$)

$$V_p = V_s = \frac{R_5}{R_5 + R_4} \cdot 15 = \frac{4}{6} \cdot 15 = 10 \text{ V}$$

$$V_m = V_{s2}$$

$$\boxed{V_{s2} < 10 \text{ V} ; V_s = 10 \text{ V}}$$

TRT SAT ($V_p < V_m$)

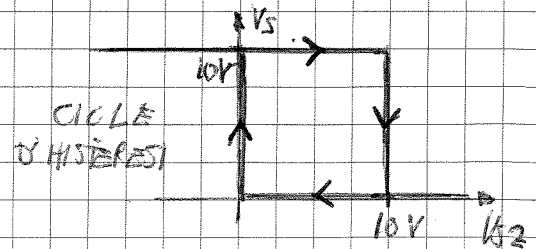
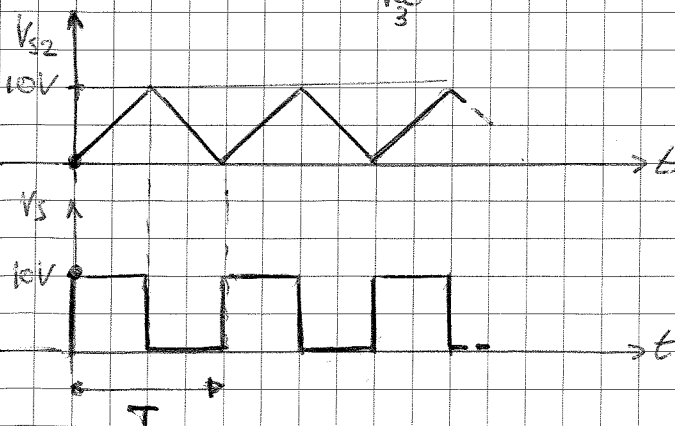
$$V_p = V_s = V_{CE, SAT} \approx 0 \text{ V} < V_m = V_{s2} \Rightarrow$$

$$\boxed{V_{s2} > 0 \text{ V} ; V_s = 0 \text{ V}}$$

d) $t = 0 : V_s = 10 \text{ V} ; V_d = 0 \text{ V} = -V_{s2}$

$$V_s = 0 \text{ V} : V_{s2} = -\frac{V_g}{R_3 C_s} (t - t_0) + V_{s2}(t_0)$$

$$V_s = 10 \text{ V} : V_{s2} = \frac{V_g}{R_3 C_s} (t - t_0) + V_{s2}(t_0)$$



$$e) \frac{V_g}{R_3 C_s} \cdot \frac{T}{2} = 10 \text{ V}$$

$$T = \frac{20 R_3 C_s}{V_g} ; \boxed{f = \frac{V_g}{20 R_3 C_s}}$$

$$f = \frac{1}{20 \cdot 200 \cdot 10^3 \cdot 500 \cdot 10^{-12}} \cdot V_g = 0.5 \cdot V_g [\text{kHz}]$$

• Oscil·lador controlat per tensió
(modulador de freqüència)

Problema 4

a) A_0 realim. negative \Rightarrow z. lineal $\xRightarrow{AO \text{ ideal}}$ \Rightarrow WRT CIRCUIT VIRTUAL

$$V_{ref} = V_0 \frac{R_2}{R_1 + R_2} \Rightarrow \underline{V_0 = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) V_{ref}}$$

b) V_0 mínima when $R_1 = 0 \Rightarrow \underline{V_{0 \min} = V_{ref} = 7.15 \text{ V}}$

c) $V_0 = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) V_{ref} = 10 \text{ V}$

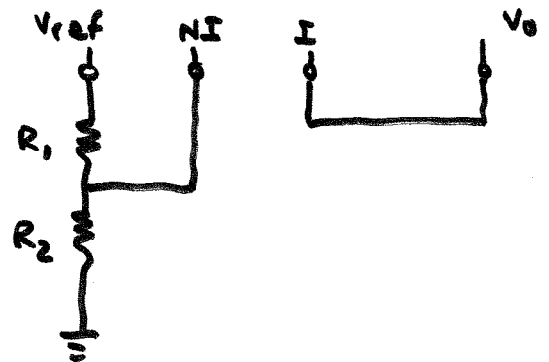
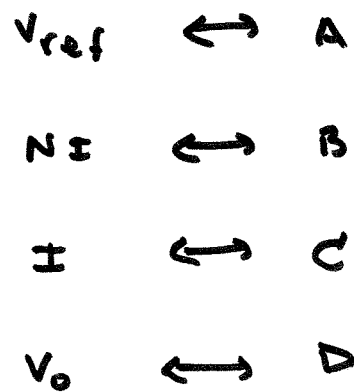
$$R_1 = \left(\frac{V_0}{V_{ref}} - 1\right) R_2 = 2.23 \text{ k}\Omega$$

d) $\underline{\eta = \frac{P_o}{P_i} \cdot 100 = \frac{V_o \cdot I_o}{V_i \cdot I_i} \cdot 100 \approx \frac{V_o}{V_i} \cdot 100 = 66.6\%}$
 $I_o \gg$ resta currents

$$\underline{P_D = P_i - P_o = (1 - \eta) P_i \approx I_o (V_i - V_o) = 5 \text{ W}}$$

e) $V_{BE_{on}} = I_{o \text{ limit}} \cdot R_{sc} \Rightarrow \underline{R_{sc} = \frac{V_{BE_{on}}}{I_{o \text{ limit}}} = 0.5 \Omega}$

f)



g)

$\Delta 0$ realim. negativa \Rightarrow z. lineal \Rightarrow ^{AO ideal} \Rightarrow WRT CIRCUIT VIRTUAL

$$V_o = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{ref}$$
