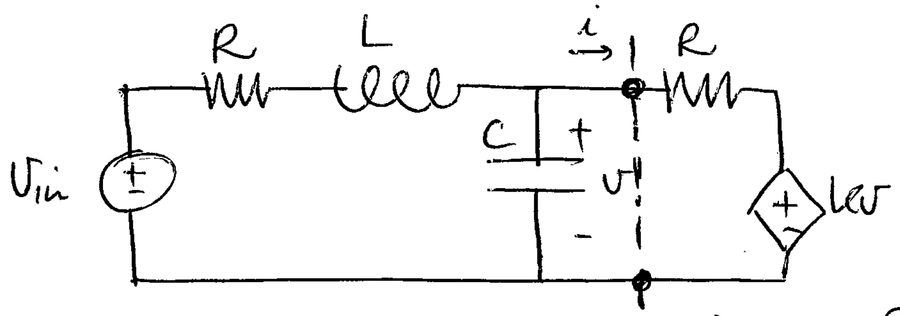
EJERCICIO 1

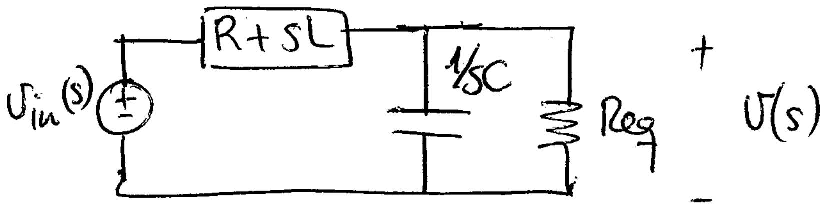


$R = 1\Omega$
$C = 1F$
$L = 1H$

$$\dashrightarrow R_{eq} = \frac{R}{1-k}$$

$$\left(v = iR + kv \Longrightarrow v = \frac{R}{1-k} \cdot i \right)$$

(a)



$$Z_{eq}(s) = R_{eq} \| Z_c(s) = \frac{R_{eq}\frac{1}{sC}}{R_{eq} + \frac{1}{sC}} = \frac{R_{eq}}{1 + sR_{eq}C}$$

$$\frac{v(s)}{v_{in}(s)} = H(s) = \frac{Z_{eq}(s)}{R + sL + Z_{eq}(s)} = \frac{\frac{R_{eq}}{1+sR_{eq}C}}{R + sL + \frac{R_{eq}}{1+sR_{eq}C}} = \frac{R_{eq}}{R + R_{eq} + sL + sR_{eq}RC + s^2LR_{eq}C} =$$

$$H(s) = \frac{R_{eq}}{R + R_{eq}} \cdot \frac{1}{1 + s\left(\frac{L}{R_{eq}+R} + \frac{R_{eq}R}{R_{eq}+R}C\right) + s^2 \frac{R_{eq}}{R_{eq}+R} LC}$$

$$\frac{\frac{R}{1-k}}{R + \frac{R}{1-k}} = \frac{1}{1-k+1} = \frac{1}{2-k}$$

$$\boxed{H(s) = \frac{1}{2-k} \cdot \frac{1}{1 + s\left(\frac{L}{R}\frac{1-k}{2-k} + \frac{RC}{2-k}\right) + s^2 \frac{LC}{2-k}}}$$

$R = 1\Omega,\ L = 1H,\ C = 1F$

$$H(s) = \frac{1}{2-k} \cdot \frac{1}{1+s\left(\frac{1-k}{2-k}+\frac{1}{2-k}\right)+s^2\frac{1}{2-k}} = \underbrace{\frac{1}{2-k} \cdot \frac{1}{1+s+s^2\frac{1}{2-k}}}$$

$$H(s) = K \cdot \frac{1}{1+s\frac{1}{\omega_p Q_p}+\frac{s^2}{\omega_p^2}}$$

donde los polos serán reales o complejos dependiendo del valor de k.

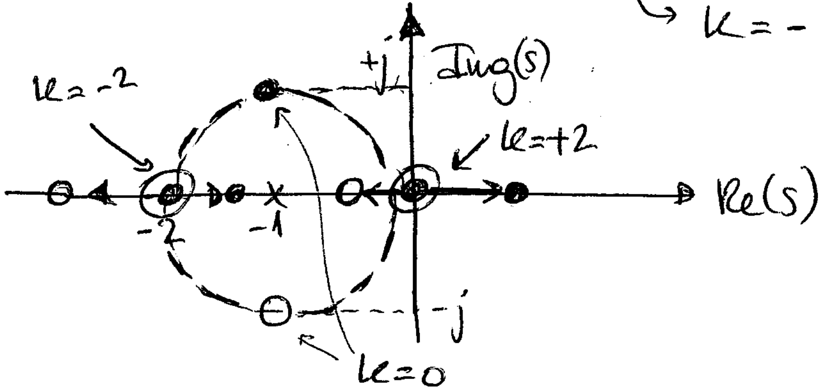
(b)

Polos $\Rightarrow D(s) = 1+s+s^2\frac{1}{2-k} = 0$

$$\Rightarrow s^2 + s(2-k) + (2-k) = 0 \quad \rightarrow 4-\cancel{4k}+k^2-8+\cancel{4k}$$

$$s_{1,2} = \frac{-(2-k) \pm \sqrt{(2-k)^2-4(2-k)}}{2} = \frac{-(2-k) \pm \sqrt{k^2-4}}{2}$$

$k^2-4 \Rightarrow k = \pm 2$ → $k = +2 \Rightarrow s_{1,2} = 0$ (polo doble en DC)
→ $k = -2 \Rightarrow s_{1,2} = -2$ (polo doble en SI en 2 rad/s)

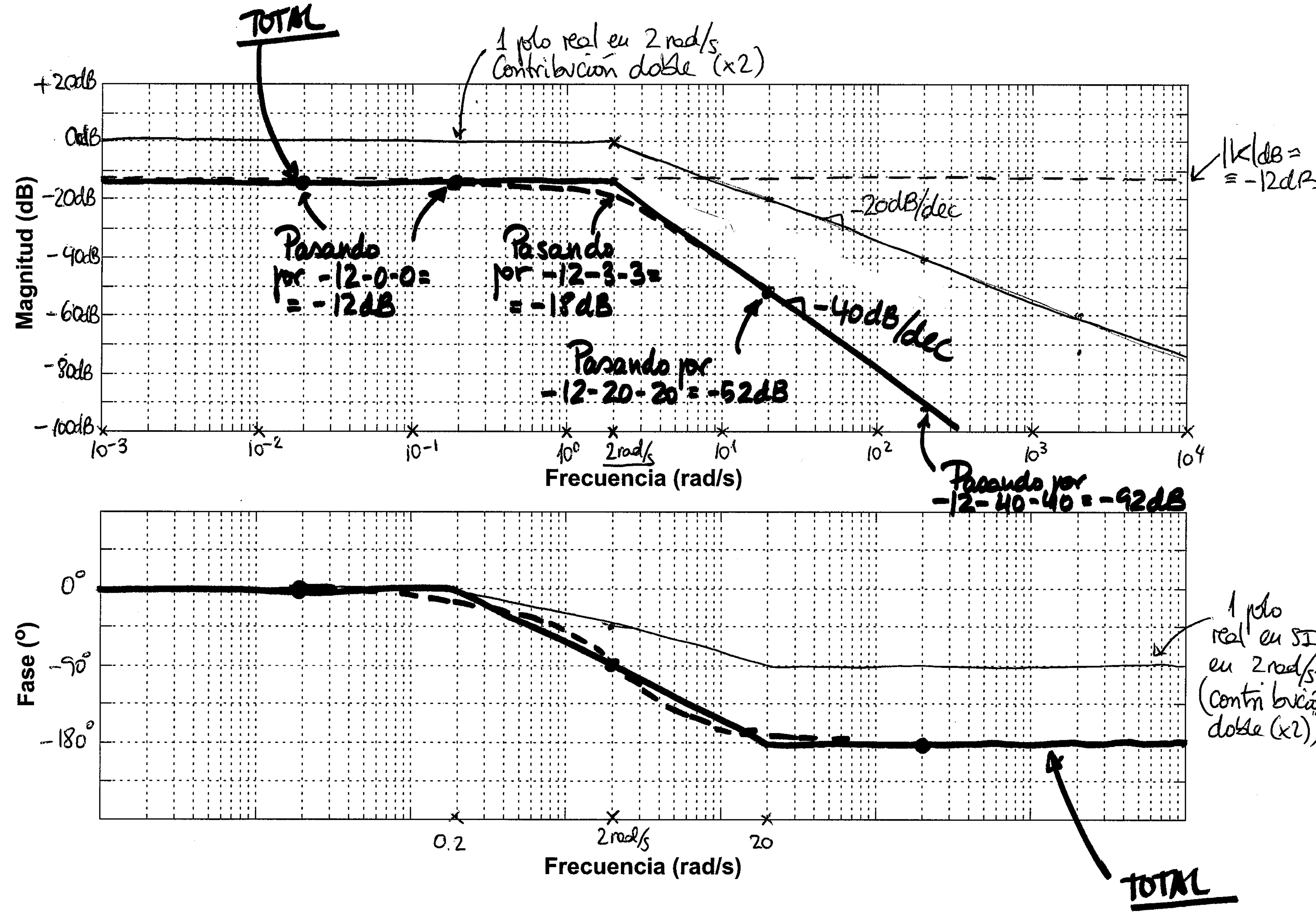


El circuito es estable siempre que sus dos polos estén situados en el semiplano izquierdo $\Longrightarrow \boxed{k \leq +2}$

(c) Si $k = -2 \Rightarrow s_{1,2} = -2$

$$\boxed{H(s) = \frac{1}{2-k} \cdot \frac{1}{1+s+s^2\frac{1}{2-k}} = \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{\left(1+\frac{s}{2}\right)^2}}$$

$K = \frac{1}{4} \cong -12dB$



TOTAL
1 polo real en 2 rad/s
Contribución doble (x2)
+20dB
0dB
-20dB
-40dB
-60dB
-80dB
-100dB
Magnitud (dB)
|K|dB =
= -12dB
-20dB/dec
-40dB/dec
Pasando por -12-0-0=
= -12dB
Pasando por -12-3-3=
= -18dB
Pasando por
-12-20-20 = -52dB
Pasando por
-12-40-40 = -92dB
10-3
10-2
10-1
10⁰
2 rad/s
10¹
10²
10³
10⁴
Frecuencia (rad/s)
0°
-90°
-180°
Fase (°)
1 polo real en SI en 2 rad/s (contribución doble (x2))
0.2
2 rad/s
20
Frecuencia (rad/s)
TOTAL

(d) $v_{in}(t) = 0.1\cos(0.02t) + \cos(2t) + 10\cos(200t)$

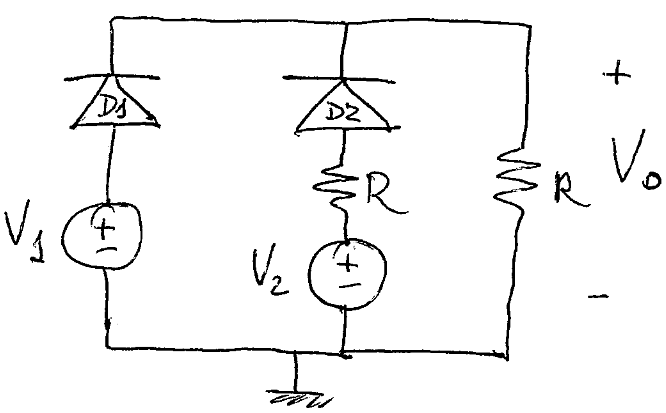
$$v(t) = 0.1\,|H(j\omega)|_{0.02\,rad/s}\cos(0.02t + \phi_{H(j\omega)}|_{0.02\,rad/s}) +$$
$$+ 1\cdot|H(j\omega)|_{2\,rad/s}\cos(2t + \phi_{H(j\omega)}|_{2\,rad/s}) +$$
$$+ 10\,|H(j\omega)|_{200\,rad/s}\cos(200t + \phi_{H(j\omega)}|_{200\,rad/s})$$

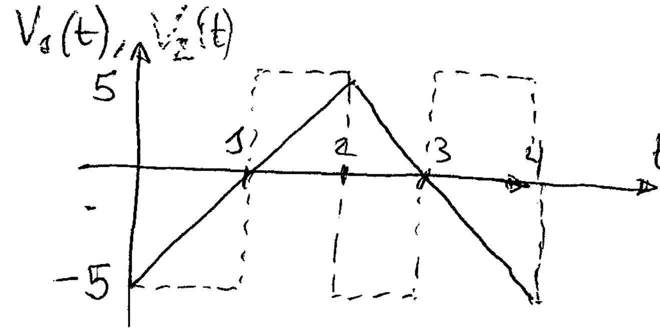
$$\left\{\begin{array}{l} |H(j\omega)|_{0.02\,rad/s} = -12\,dB = 0.25 \\ \phi_{H(j\omega)}|_{0.02\,rad/s} = 0^\circ \end{array}\right\} \quad \left\{\begin{array}{l} |H(j\omega)|_{2\,rad/s} = -18\,dB = 0.125 \\ \phi_{H(j\omega)}|_{2\,rad/s} = -90^\circ \end{array}\right\}$$

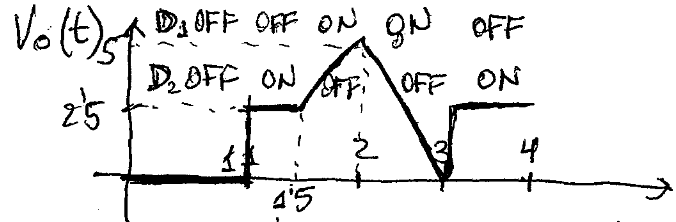
$$\left\{\begin{array}{l} |H(j\omega)|_{200\,rad/s} = -92\,dB = 2.5\times10^{-5} \\ \phi_{H(j\omega)}|_{200\,rad/s} = -180^\circ \end{array}\right\}$$

$$\boxed{v(t)} = 0.1\times0.25\cos(0.02t + 0^\circ) +$$
$$+ 1\times0.125\cos(2t - \pi/2) +$$
$$+ 10\times2.5\times10^{-5}\cos(200t - \pi) =$$
$$= \boxed{0.025\cos(0.02t) + 0.125\cos(2t - \pi/2) + 2.5\times10^{-4}\cos(200t - \pi)}$$

PROBLEMA 2



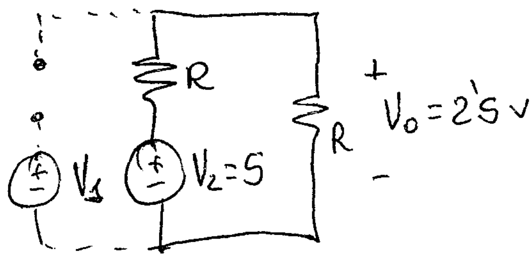




a)

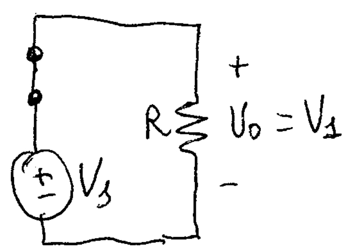
En el rango $0 \leq t < 1s$, ambos diodos están en OFF y $\underline{V_o = 0}$ ya que V_1 y V_2 son < 0 y forzarían el paso de intensidad en sentido contrario al permitido por el diodo

En $t = 1s$, V_2 cambia a 5v, lo que fuerza a D_2 en ON, quedando el siguiente circuito:



El diodo D_1 permanece en OFF, al ser 2'5 v mayor que V_1 (divisor de tensiones)

Justo cuando V_1 alcanza 2'5 v, D_1 se pone en ON, siendo $V_o = V_1$; el diodo D_2 se pone en OFF y el circuito equivalente es:

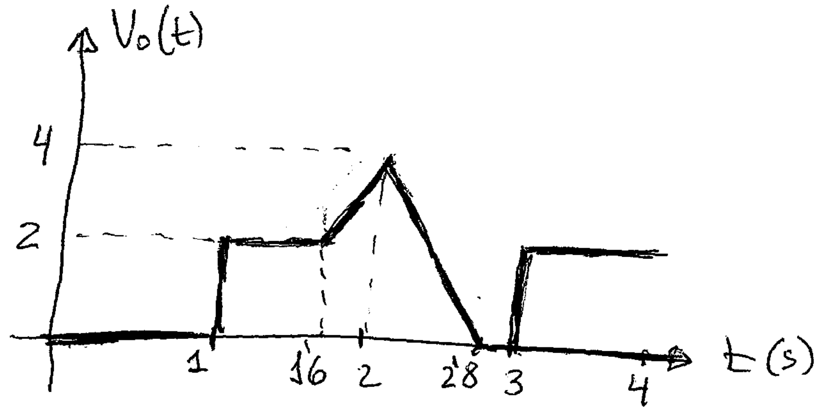


, situación que dura hasta $t = 3s$ (el circuito equivale a un rectificador de 1/2 onda positiva)

En $t = 3s$, V_2 vuelve a valer 5v, con lo cual D_2 se pone en ON, como $V_1 < V_2/2$, D_1 se pone en OFF y tenemos de nuevo un divisor de tensiones, $V_o = 2'5$ v

Las transiciones bruscas en V_o están causadas por las transiciones bruscas en V_2

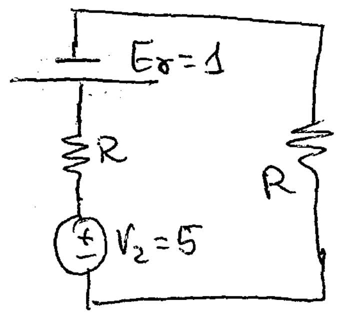
b) En un modelo con tensión de encendido, la forma de onda sería:



Ya que sólo se modifica la característica cuando alguno de los diodos está en ON:

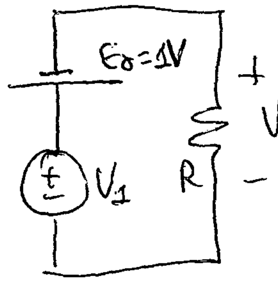
en $t<1s$ D_1, D_2 OFF $\Rightarrow V_o = 0V$

D_2 se pone en ON en $t=1s$, quedando el circuito como:



$V_o = \frac{5-1}{2} = 2v$

D_1 se pone en ON cuando $V_1 - V_o = 1v \Rightarrow V_1 = 3v$ y eso ocurre en $t = 1'6s$, instante a partir del cual, al estar D_1 en ON el circuito equivalente sería:

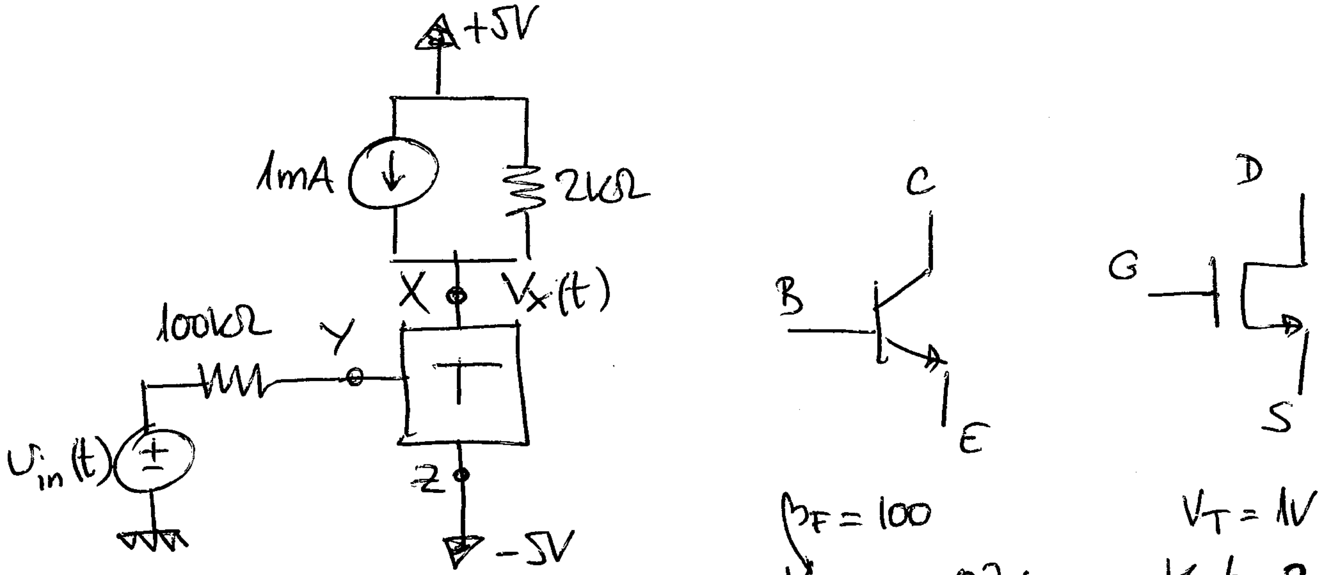


$V_o = V_1 - 1$

Esta situación permanece hasta que D_1 se pone en OFF cuando alcanza $V_1 = 1v$, situación que ocurre en $t = 2'8s$

En $t=3$, D_2 se pone en ON, con $V_o = 2v$, tal y como ocurría en $1s \leq t \leq 1'6s$

EJERCICIO 3



$\beta_F = 100$

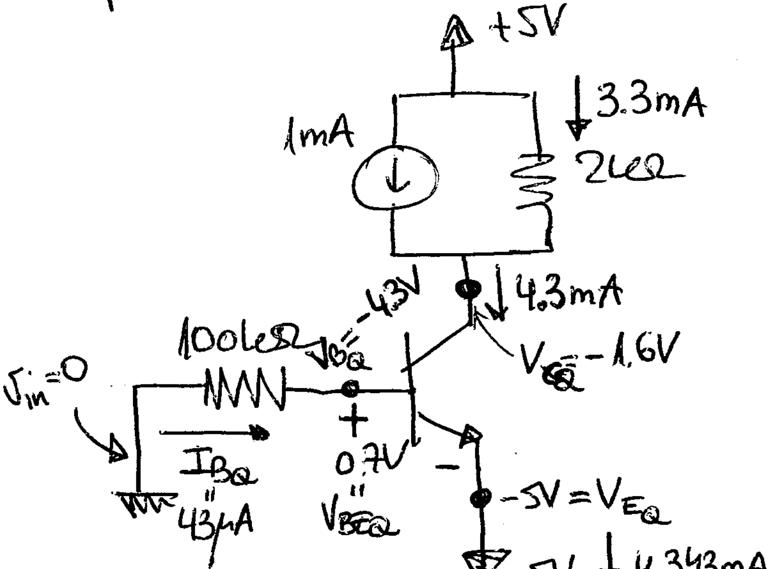
$V_{BE,ZAD} = 0.7V$

$V_T = 1V$

$K_{sat} = 200\mu A/V^2$

(a) Si el transistor es un BJT npn, éste debe operar en ZAD para que funcione como amplificador.

Resolvemos el punto de operación para ver si efectivamente opera en ZAD:



Asumiendo $V_{BEQ} = 0.7V$

$\Rightarrow V_{BQ} = -4.3V$, ya que $V_{EQ} = -5V$

$\Rightarrow I_{BQ} = \dfrac{-V_{BQ}}{100k\Omega} = 43\mu A$

$\Rightarrow I_{CQ} = 4.3mA = \beta_F I_{BQ}$

$\Rightarrow I_{EQ} = (\beta_F + 1) I_{BQ} = 4.343mA$

$\Rightarrow I_{2k\Omega} = 3.3mA$

$\Rightarrow V_{2k\Omega} = 3.3mA \times 2k\Omega = 6.6V$

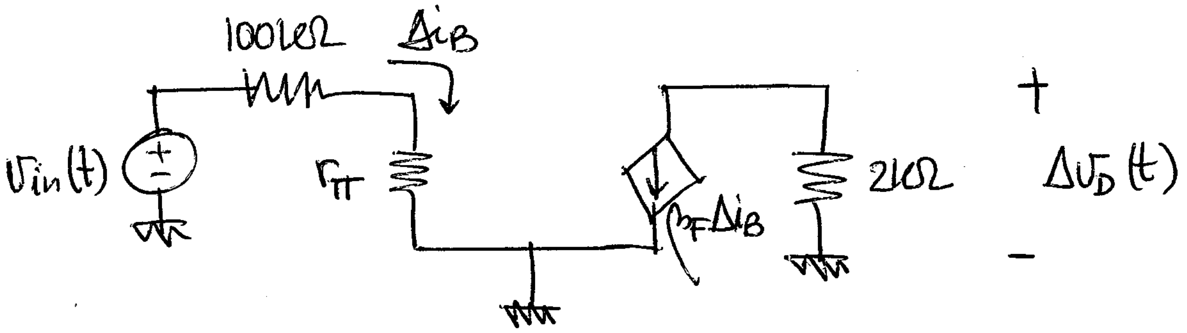
$\Rightarrow V_{CQ} = 5 - 6.6 = -1.6V$

$V_{BCQ} = -4.3 - (-1.6) = -2.7V < 0$

$V_{BEQ} = 0.7V$

$\Rightarrow$ Luego, el BJT opera en ZAD.

Calculamos la ganancia en pequeña señal.

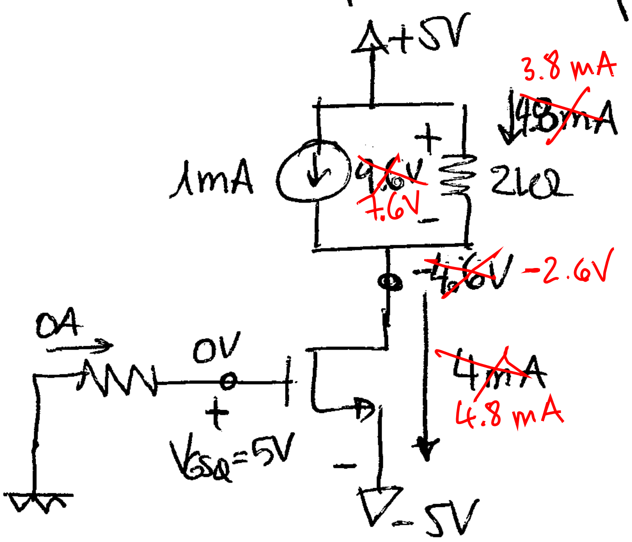


$$r_\pi = \frac{U_T}{I_{BQ}} = \frac{25mV}{43\mu A} \cong 581.4\Omega$$

$$\Delta v_D(t) = -\beta_F \, \Delta i_B(t) \times 2k\Omega = -200k \times \frac{v_{in}(t)}{r_\pi + 100k}$$

$$\boxed{\frac{\Delta v_D(t)}{v_{in}(t)} = \text{ganancia en peq. señal} = -\frac{\beta_F \times 2k}{r_\pi + 100k} \cong -2}$$

(b) Si el transistor es un MOS (de canal n), debe estar polarizado en saturación para poder funcionar como amplificador.
Resolvemos el punto de operación:



$V_{GSQ} = 5V$

$\Rightarrow I_{DSQ} = K_{sat}(V_{GSQ} - V_T)^2$, asumiendo saturación

$= 300\mu A/V^2 (5-1)^2 =$

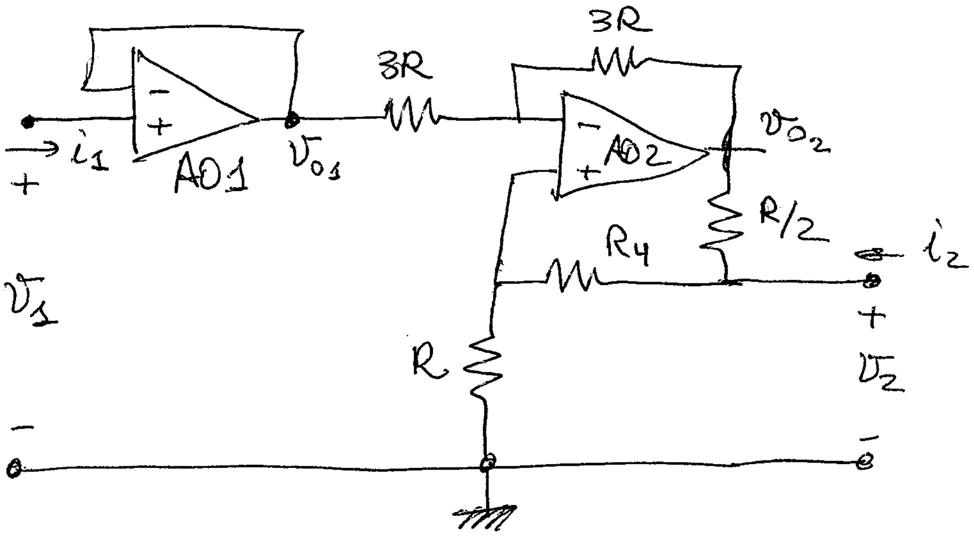
$= 4.8mA$

$\Longrightarrow V_{DQ} = 5 - \cancel{4.8mA}\ 3.8mA \times 2k = \cancel{-4.6V}\ -2.6V$

$$\left.\begin{array}{l} V_{DSQ} = -\cancel{4.6V}\,(-2.6V) - (-5V) = \cancel{0.4V}\ 2.4V \\ V_{GSQ} = 5V \end{array}\right\} \Longrightarrow \left\{\begin{array}{ll} V_{DS} > V_{GS} - V_T & (4V)\ \times \\ V_{GS} > V_T & (1V)\ \checkmark \end{array}\right\}$$

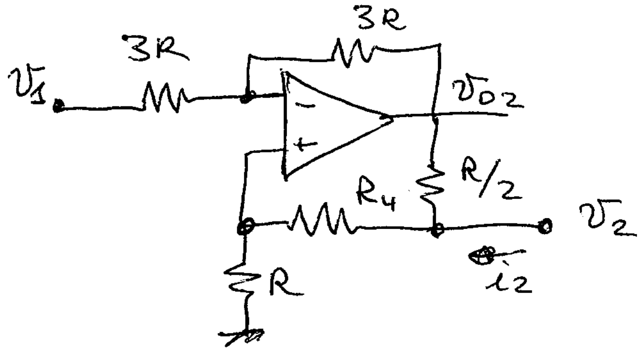
Luego el transistor no opera en saturación $\Longrightarrow$ NO AMPLIFICARÁ

PROBLEMA 4



El AO1 actúa como buffer ⇒ $i_1 = 0$ y $v_{O1} = v_1$

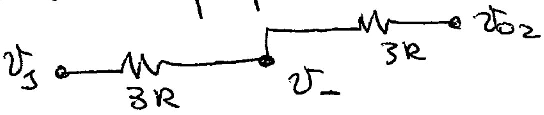
La bipuerta queda reducida a:



Como la realim ⊖ es dominante, el sistema es estable y aplicamos operación en zona lineal ($v_+ = v_-$).

$$v_- = \frac{v_{O2}}{2} + \frac{v_1}{2}$$

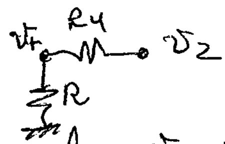
(aplicando superposición o analizando la rama



).

$$v_+ = \frac{R}{R+R_4} v_2$$

(analizando la rama



)

Aplicando KCL en el nudo de entrada v_2:

$$i_2 = \frac{v_2 - v_{O2}}{R/2} + \frac{v_2 - v_+}{R_4} \quad (*)$$

Por un lado $v_+ = v_- \Rightarrow v_{O2} = \frac{2R}{R+R_4} v_2 - v_1 \quad (**)$

Por otro lado, de la Fig 1-b se deduce claramente que $i_2 = \mu v_1$

sustituyendo (**) en (*) nos queda:

$$i_2 = v_2 \left[\frac{2R_4 - R}{R\ (R+R_4)} \right] + \frac{2}{R} v_1$$

Al ser $i_2 = \mu v_1$, debe ser: $\begin{cases} \mu = \frac{2}{R} \\ 2R_4 - R = 0 \Rightarrow R_4 = R/2 \end{cases}$

b) La entrada de alguno de los AOs en saturación forzaría la no-linealidad en la operación:

AO1 satura si v_1 está en el rango $-E_{sat} > v_1 > E_{sat}$

El AO2 satura si, tomado de (**):

$$-E_{sat} > v_{o2} > E_{sat}, \quad \text{siendo } v_{o2} = \frac{2R}{R+R_4} v_2 - v_1 = \frac{4}{3} v_2 - v_1$$

$$-E_{sat} > \frac{4}{3} v_2 - v_1 > E_{sat}$$

Por tanto para asegurar la operación como la de la puerta de la figura 1-b:

$$\boxed{\begin{array}{l} -E_{sat} < v_1 < E_{sat} \\ -E_{sat} < \frac{4}{3} v_2 - v_1 < E_{sat} \end{array}}$$