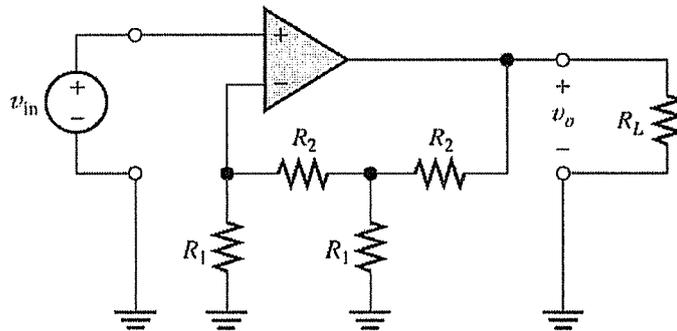


EXAMEN DE ELECTRÓNICA ANALÓGICA.- CONVOCATORIA 29-1-2002
2º CURSO DE INGENIERÍA TÉCNICA EN ELECTRÓNICA INDUSTRIAL

APELLIDOS Y NOMBRE: SOLUCIONES 1

1ª PARTE DEL EXAMEN

Sea el circuito de la figura:



A) A.O. ideal. $R_1 = 1k$ $R_2 = 10k$. $R_L = 1k$,

Se pide:

1º) Expresión literal simplificada de la ganancia en tensión en función de las resistencias representadas: (Sugerencia: aplicar Thévenin)

1ª $A_v = v_o/v_{in} = 1 + \left(\frac{R_2}{R_1}\right)^2 + 3 \frac{R_2}{R_1}$

2º) Valor numérico anterior:

2ª Calcular la ganancia en tensión v_o/v_{in} 131

B) Si el A.O. es un LM741, con las siguientes características típicas:

$V_{OS} = 2$ mV (Tensión de desviación a la entrada.)

$I_{OS} = 50$ nA (Corriente de desviación a la entrada)

$I_{BIAS} = 150$ nA Corriente de polarización de las entradas (entrantes).

$A_{VOL} = 200$ V/mV = 200.000 (Ganancia en modo diferencial en lazo abierto en continua)

$R_{in} = 2$ Megohms (Resistencia de entrada en modo diferencial)

$R_{OUT} = 75$ ohmios (Resistencia de salida en lazo abierto)

$I_{SC} = 25$ mA (Corriente máxima antes de entrar la protección contra sobre corriente)

$SR = 0,5$ V/ μ s

$f_r = 1$ Mhz. $V_{sat\ positiva} = +15$ voltios $V_{sat\ negativa} = -15$ voltios

Si en el circuito de la figura, la ganancia en continua v_o/v_i vale 131, se pide:

3ª	Si la señal de entrada es senoidal, a qué frecuencia la tensión de salida estará desfasada respecto de la entrada 60° en retraso	1322 Hz
4ª	Trabajando a una frecuencia de 10 KHz, (senoidal), si la señal de entrada tiene un valor de pico positivo de 100 mV, cual es el valor de pico positivo a la salida:	7'948 V.
5ª	Con la entrada a masa, y considerando nada mas el efecto de V_{OS} , evaluar el máximo valor previsible de la tensión de salida, (valor absoluto)	262 mV
6ª	Con la entrada a masa, y considerando nada mas el efecto de I_{BIAS} , evaluar el máximo valor previsible de la tensión de salida, (valor absoluto)	18 mV.
7ª	Con la entrada a masa, y considerando nada mas el efecto de I_{OS} , evaluar el máximo valor previsible de la tensión de salida, (valor absoluto)	3 mV.
8ª	Evaluar la máxima tensión previsible a la salida en el peor de los casos de que los tres efectos anteriores se superpongan	288 mV.
9ª	Valor de la resistencia que pondría en serie con la fuente, para minimizar el efecto de I_{BIAS}	916 Ω
10ª	Con $R_L = 1k$, Máximo valor de la tensión continua y constante que podemos aplicar a la entrada, antes de que el amplificador se sature en tensión ó corriente	114'5 mV.

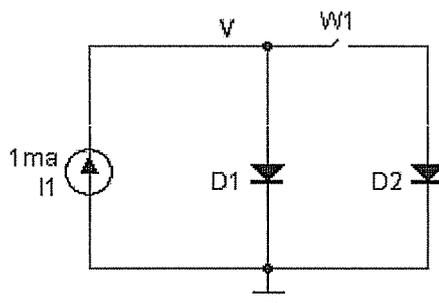
Nota: Se deben rellenar las casillas con los datos pedidos. Cada respuesta numérica correcta 1 pto. Las justificaciones de las respuestas se entregarán en hojas adjuntas. El valor de la 1ª parte del examen es del 70% del total. (La segunda parte 30%)

EXAMEN DE ELECTRÓNICA ANALÓGICA.- CONVOCATORIA 29-1-2002
2º CURSO DE INGENIERÍA TÉCNICA EN ELECTRÓNICA INDUSTRIAL

APELLIDOS Y NOMBRE: *SOLUCIONES*

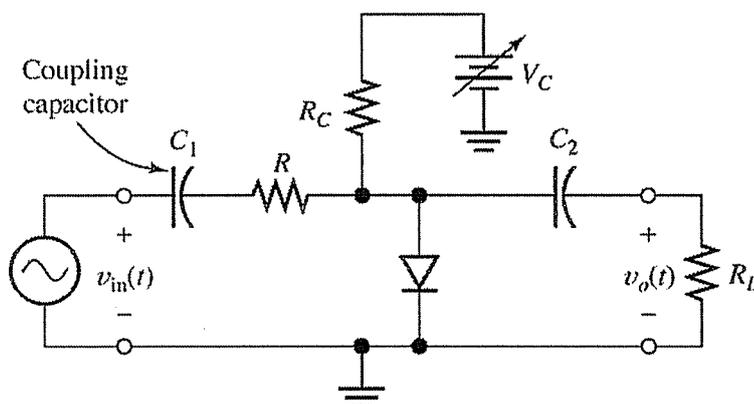
<i>11)</i>	Con $R_L = 270$ ohmios, y $v_{in} = +1$ v. (c.c.), valor de la tensión V_o	<i>6'75</i> v.
<i>12)</i>	Con $R_L = 270$ ohmios, y $v_{in} = +1$ v. (c.c.), valor de la tensión v'	<i>5'15</i> mV.
<i>13)</i>	El LM741 anterior se configura como amplificador no inversor de ganancia 5. V_{in} senoidal de 50 KHz. Se pide máximo valor de pico de V_{in} antes de que empiece a aparecer distorsión a la salida debida al S.R.	<i>3'1831</i> mV.

Sea la figura:



<i>14</i>	Los diodos son idénticos. Tienen un valor de $\eta=1$, y están a 300° K.. Antes de cerrar el interruptor la tensión v es de 600mV. Hallar v después de cerrar el interruptor	<i>582</i> mV
<i>15</i>	Los diodos son idénticos. Tienen un valor de $\eta=2$, y están a 300° K.. Antes de cerrar el interruptor la tensión v es de 600mV. Hallar v después de cerrar el interruptor	<i>564</i> mV.
<i>16</i>	Con el interruptor abierto, la temperatura de la unión aumenta a 100° C. ¿Cuál será la nueva tensión en terminales de D1. ($\eta=1$, y $T_f = 300^\circ$ K) $I_{D1} = 1mA$.	<i>454</i> mV.

Sea el circuito de la figura:



$R=1k$. $R_C=10k$. $R_L=1Meg$. Diodo de silicio a 27° C. ($V_{DQ} \approx 0,6$ voltios). Capacidades los suficientemente elevadas como para suponerlas cortocircuitos a efectos de la componente alterna.

Se pide:

<i>17)</i>	Con V_C ajustada a 1,6 voltios, en ausencia de señal, valor de I_{DQ}	<i>0'1</i> mA
<i>18)</i>	Valor de la resistencia dinámica del diodo (r_d) en ese punto de trabajo	<i>260</i> Ω
<i>19</i>	Si superponemos una señal alterna $v_{in}(t)$, incremental, ¿Cuánto valdrá la atenuación v_o/v_i	<i>0'2</i>
<i>20</i>	Si deseamos que la corriente instantánea total a través del diodo no supere $+10\%$ del valor de I_{DQ} , valor máximo de pico que puede tener la señal $v_{in}(t)$	<i>102'6</i> mV.

Nota: Se deben rellenar las casillas con los datos pedidos. Cada respuesta numérica correcta 1 pto. Las justificaciones de las respuestas se entregarán en hojas adjuntas. El valor de la 1ª parte del examen es del 70% del total. (La segunda parte 30%)

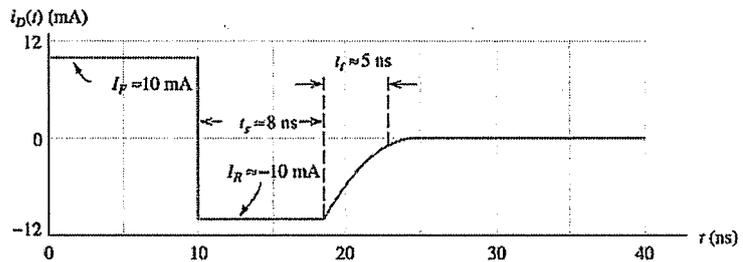
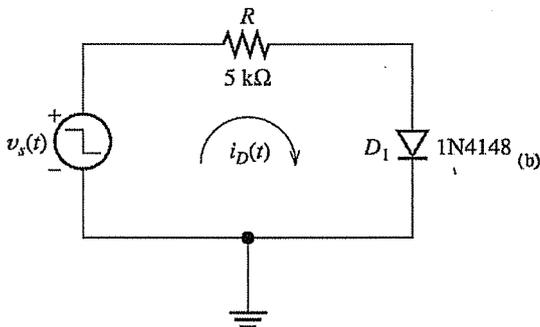
EXAMEN DE ELECTRÓNICA ANALÓGICA.- CONVOCATORIA 29-1-2002
2º CURSO DE INGENIERÍA TÉCNICA EN ELECTRÓNICA INDUSTRIAL

APELLIDOS Y NOMBRE: *SOLUCIONES*

21	Si la tensión V_c es negativa de valor 10 voltios. ¿Cuál es la máxima tensión de pico de una senoidal que se puede aplicar para que en ningún momento entre a conducir el diodo ($v_f=0,5$ voltios)	11'54	V.
22	Evaluar la capacidad C_1 para que la frecuencia de corte del circuito equivalente en alterna sea de 100 Hz.	1'29	μF
23	Evaluar la capacidad C_2 para que a 100 Hz la podamos considerar prácticamente un cortocircuito. (Frecuencia de corte de C_2-R_L 10 Hz)		nF (nanos)

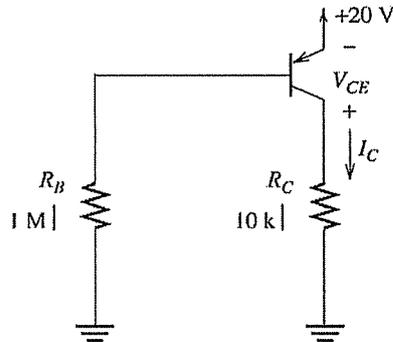
15'9

Sea el circuito de la figura. La forma de onda de la tensión $v_s(t)$ es igual a +50 voltios hasta que $t=10$ ns, pasa a -50 voltios. La corriente medida a través del diodo es la indicada.



24	Con los datos gráficos representados, evaluar la carga acumulada cuando el diodo está polarizado directamente, debida a la "capacidad de difusión", expresada en microculombios	80	$\mu C = 80 \mu C$
25	Con los datos gráficos representados, evaluar el valor de τ_p (tiempo de transición), expresado en nanosegundos	8	nseg
26	Si sustituimos la resistencia R , por otra de 500 ohmios, y la tensión negativa de $v_s(t)$ por -5 voltios, evaluar cuanto valdrá el tiempo de almacenamiento t_s .	80	nseg.

Sea el circuito de la figura: Transistor de Silicio PNP



27	Con $\beta=50$ evaluar el valor de I_C , considerando positivo el sentido indicado	0'97	mA
28	Con $\beta=50$ evaluar el valor de V_{CE} , considerando positivo el sentido indicado	-10'3	V.
29	Con $\beta=150$ evaluar el valor de I_C , considerando positivo el sentido indicado	1'98	mA
30	Con $\beta=150$ evaluar el valor de V_{CE} , considerando positivo el sentido indicado	-0'2	V.

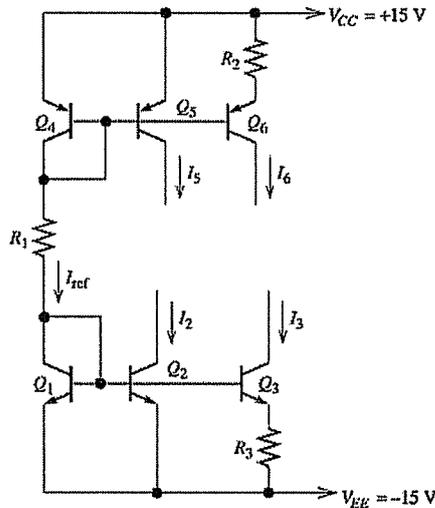
Nota: Se deben rellenar las casillas con los datos pedidos. Cada respuesta numérica correcta 1 pto. Las justificaciones de las respuestas se entregarán en hojas adjuntas. El valor de la 1ª parte del examen es del 70% del total. (La segunda parte 30%)

EXAMEN DE ELECTRÓNICA ANALÓGICA.- CONVOCATORIA 29-1-2002
2º CURSO DE INGENIERÍA TÉCNICA EN ELECTRÓNICA INDUSTRIAL

APELLIDOS Y NOMBRE:

SOLUCIONES

Sea el circuito de la figura:



Todos los transistores son iguales, salvo que unos son NPN y otros PNP, y además, Q₅ tiene diferente área relativa. Todos están a la misma temperatura. Suponga que la β tiene un valor muy alto para todos los transistores, de modo que las corrientes de base pueden despreciarse. Queremos diseñar el circuito de modo que $I_2=1\text{mA}$, $I_3=50\ \mu\text{A}$, $I_5=3\ \text{mA}$, $I_6=100\ \mu\text{A}$. Hallar los valores de las resistencias:

$R_1 =$ (31)	28'8 k	$R_2 =$ (33)	599 Ω
$R_3 =$ (32)	1'56 k	A_5 (Área relativa respecto a los demás) = (34)	3

Sea el circuito de la figura:

Considere el amplificador en fuente común de la figura. Las capacidades se pueden considerar cortocircuitos para las frecuencias de trabajo. El transistor NMOS tiene los parámetros siguientes:

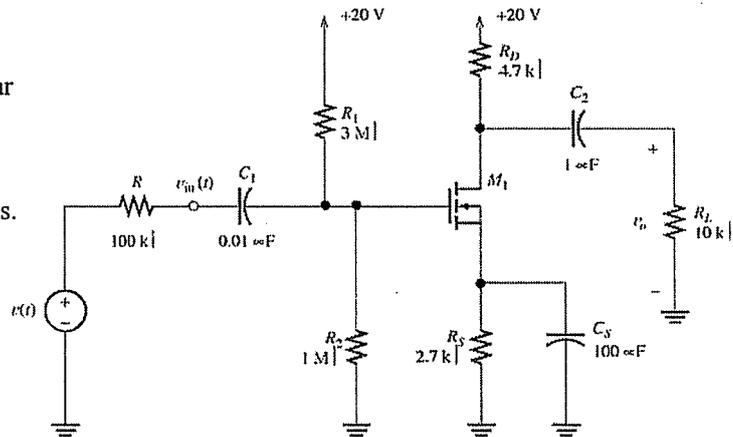
$K = (k/2) = 1\text{mA/V}^2$ $\lambda = (1/V_A) = 0$ $v_{to} = 2$ voltios.

Se pide:

1º) En ausencia de señal:

Punto de operación del transistor:

35	$I_{DQ} =$	0'783 mA
36	$V_{DSQ} =$	14'21 V.
37	$V_{GSQ} =$	2'885 V.



2º) Con señal aplicada

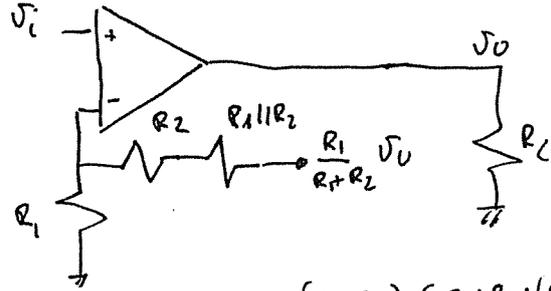
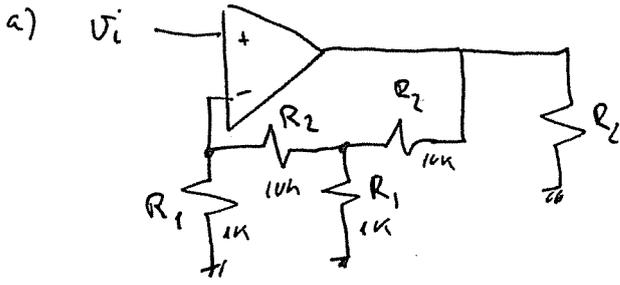
38	Abcisa en el origen de la recta estática de carga en voltios	20V	Máximo valor pico a pico de la c.a. a la salida sin distorsión (\uparrow en v_{in})	5V.	42
39	Ordenada en el origen de la recta estática de carga en mA	2'7 mA	Ganancia en tensión v_o/v_{in} (suponiendo señal incremental)	-5'66	43
40	Abcisa en el origen de la recta dinámica de carga en voltios	16'704V.	Impedancia de entrada v_{in}/i_{in} (suponiendo señal incremental)	750k	44
41	Ordenada en el origen de la recta dinámica de carga en mA	5'22 mA.	Impedancia de salida (Excluyendo R_L) (suponiendo señal incremental)	4'7k	45

Nota: Se deben rellenar las casillas con los datos pedidos. Cada respuesta numérica correcta 1 pto. Las justificaciones de las respuestas se entregarán en hojas adjuntas. El valor de la 1ª parte del examen es del 70% del total. (La segunda parte 30%)

EXAMEN ELECTRONICA ANALOGICA. 29-I-2.002
SOLUCIONES

(1)

1º EJERCICIO



$V^+ = V^- = V_i$ $V^- = \frac{R_1}{R_1 + R_2 + (R_1 || R_2)} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_0$ $\Rightarrow V_0 = \frac{(R_1 + R_2) (R_1 + R_2 + (R_1 || R_2))}{R_1^2} V_i$

(1ª) = $1 + \left(\frac{R_2}{R_1}\right)^2 + 3 \frac{R_2}{R_1} = 131 = \frac{V_0}{V_i}$

$\frac{V_0}{V_i}(1\omega) = \frac{A_0}{1 + j \frac{\omega}{\omega_B}}$

donde $\omega_z = A_0 \omega_B$ $f_z = A_0 f_B$
 $f_B = \frac{12}{A_0} = \frac{10^6}{131} = 7633$

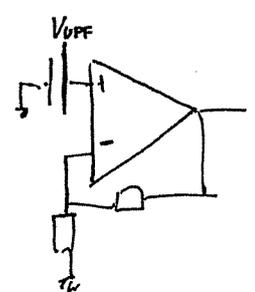
(2ª) at $\frac{V_0}{V_i} = 0$ - ar $\frac{\omega}{\omega_B} = -60^\circ \Rightarrow +30^\circ = \frac{\omega}{\omega_B} = \frac{f}{f_B}$ $f = f_B \times 1960 = \frac{f_B}{A_0} \times 1960$

(3ª) $f = \frac{1 \text{ MHz}}{131} \times \sqrt{3} = 13122 \text{ KHz}$

$\left| \frac{V_0}{V_i}(1\omega) \right| = \frac{A_0}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_B}\right)^2}} = \frac{A_0}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_B}\right)^2}} = \frac{131}{\sqrt{1 + \left(\frac{10}{7633}\right)^2}} = 7948$

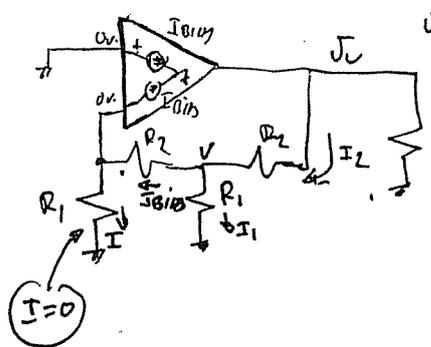
$|V_0| = |V_i| \times 7948 = 100 \text{ mV} \times 7948 = 7948 \text{ V}$

(4ª) $|V_0|_p @ 10 \text{ KHz} \times V_i = 100 \text{ mV}_p = 7948 \text{ V}$



(5ª) $V_0 = 131 V_{OFF} = 131 \times 2 \text{ mV} = 262 \text{ mV}$

e)



$V^+ = V^- = 0$

$V = R_2 I_{B1(A)}$
 $I_1 = \frac{V}{R_1} = \frac{R_2 I_{B1(A)}}{R_1}$

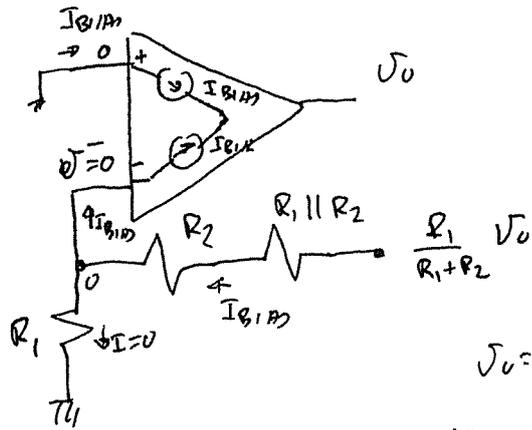
$I_2 = I_{B1(A)} + I_1$

$V_0 = R_2 I_2 + V = R_2 (I_{B1(A)} + \frac{R_2 I_{B1(A)}}{R_1}) + R_2 I_{B1(A)}$

$V_0 = R_2 I_{B1(A)} [1 + 1 + \frac{R_2}{R_1}]$

(6ª) $V_0 = 18 \text{ mV}$

Otra opción:



$$\frac{R_1}{R_1 + R_2} V_0 = [(R_1 || R_2) + R_2] I_{BIAS}$$

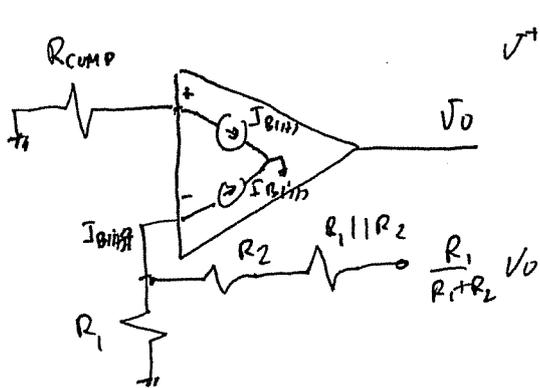
$$V_0 = \frac{R_1 + R_2}{R_1} [(R_1 || R_2) + R_2] I_{BIAS}$$

$$V_0 = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \left[\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + R_2 \right] I_{BIAS}$$

$$V_0 = \left[\frac{R_2 R_1}{R_1} + \frac{(R_1 + R_2) + R_2}{R_1} \right] I_{BIAS} = \left[R_2 + \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) R_2 \right] I_{BIAS}$$

$$V_0 = R_2 I_{BIAS} \left[2 + \frac{R_2}{R_1} \right]$$

8.5) RESISTENCIA DE COMPENSACION:



$$V^+ = V^- = - R_{COMP} I_{BIAS}$$

Aplicando SUPERPOSICION:

$$V^- = \frac{R_1}{R_1 + R_2 + R_1 || R_2} V_0 - I_{BIAS} \cdot R_1 || (R_2 + (R_1 || R_2))$$

$$- R_{COMP} I_{BIAS} = K V_0 - I_{BIAS} \cdot [R_1 || (R_2 + (R_1 || R_2))]$$

$$K V_0 = [R_1 || (R_2 + (R_1 || R_2))] I_{BIAS} - R_{COMP} I_{BIAS}$$

Si deseamos $V_0 = 0$

$$R_{COMP} = R_1 || (R_2 + (R_1 || R_2))$$

$$R_1 = 1k$$

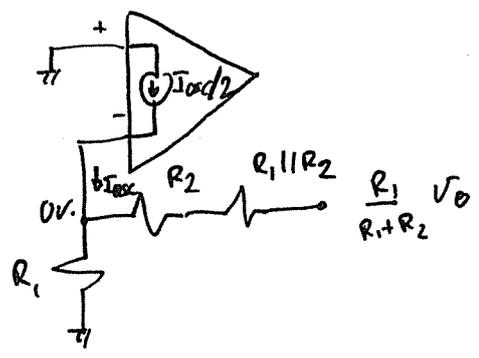
$$R_2 = 10k$$

$$\Rightarrow R_{COMP} = 1k || 10.91k = \underline{\underline{0.916k}}$$

8.6) LOS TRES EFECTOS SUPERPUESTOS:

CORRIENTE OFFSET

EL análisis idéntico salvo el sentido de la corriente



$$V_0 = -I_{osc} R_2 \left(2 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

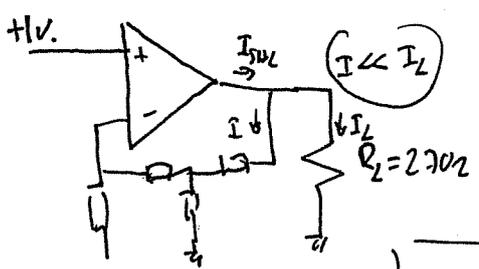
7ª) $|V_0| = \frac{50 \times 10^{-9}}{2} \times 10k \left(2 + 10 \right) = \frac{6}{2} mV = 3 mV$

8ª) Los tres efectos superpuestos: $262 mV + 18 mV + 3 mV = 283 mV$

10ª) $V_0 = 131 V_i$ $|V_d|_{max} = 15 \Rightarrow I_{i,max} = \frac{15}{131} = 114.5 \mu V$

Com. $V_0 = 15V \Rightarrow I_{sat} \approx I_{R2} = \frac{15}{1k} = 15 mA < I_{os} \Rightarrow$ se saturan en entranada y $R_2 = 1k$

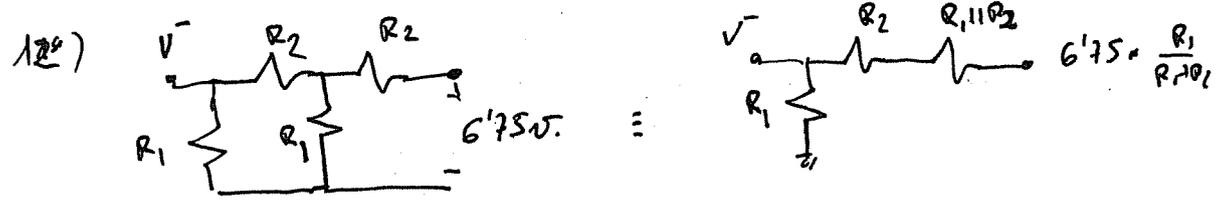
10ª) $V_{i,max} = 114.5 \mu V$



Com $V_i = +1V$. $V_0 \rightarrow +V_{sat}$, pero entonces $I_{R2} \approx \frac{15}{270} = 55.5 \mu A > I_{osc} (25 \mu A) \Rightarrow$ entra la protección contra sobrecorriente.

$$I_{R2} \approx I_{os} + R_2 = 25 \mu A + 270 = 6.75 V$$

11ª) $V_0 \approx 6.75 V$



$$V^- = \frac{R_1}{R_1 + R_2 + (R_1 || R_2)} \cdot \frac{R_1}{R_1 R_2} \cdot 6.75 = \frac{1k}{1k + 10k + 0.91k} \cdot \frac{1}{11} \cdot 6.75 = +51.5 \mu V$$

12ª) $V^- = 51.5 \mu V$

13ª)

$V_0 = E_m \sin \omega t$ $\frac{dV_0}{dt} = \omega E_m \cos \omega t$ $\left. \frac{dV_0}{dt} \right|_{max} @ \omega t = 0 = SR_{max}$
 de la señal: $\omega E_m = 2\pi f E_m$, que debe ser menor que el máx. S.R. que nos puede dar el A.O.

$$2\pi f E_m < SR_{AO} \Rightarrow E_m < \frac{0.5 \times 10^6}{2\pi \times 50000} = 1.59 V$$

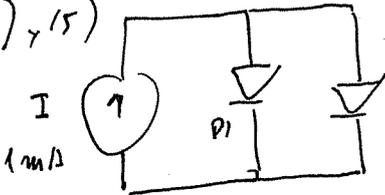
$E_m = 5 E_{m,inv} \Rightarrow V_{i,max} = \frac{1.59}{5} = 318.31 \mu V$

13^s)

$$V_{i, \max} = 318.31 \text{ mV}$$

NMA : $f_z = f_B \cdot A_{op} \Rightarrow f_0 = \frac{10^6}{5} = 200 \text{ KHz}$
 , por tanto la ganancia en f_z cuando a 50 KHz, sigue siendo prácticamente 5:

14) y 15)



Si los diodos son idénticos y están a la misma T , el punto en paralelo circulari por cada uno de ellos la misma corriente = $I/2 = 0.5 \text{ mA}$.

Selección con el D1:

$$I_{D1} = I_S e^{\frac{V_{D1}}{\eta V_T}}$$

$$1 \text{ mA} = I_S e^{\frac{0.6}{\eta V_T}}$$

$$0.5 \text{ mA} = I_S e^{\frac{V_D}{\eta V_T}}$$

Haciendo el cociente:

$$\frac{1 \text{ mA}}{0.5 \text{ mA}} = 2 = e^{\frac{0.6 - V_D}{\eta V_T}}$$

y tomando logaritmos neperianos:

$$\ln 2 = \frac{0.6 - V_D}{\eta V_T} \Rightarrow 0.6 - V_D = \eta V_T \ln 2$$

$$V_T @ 300 \text{ K} = 26 \text{ mV}$$

$$V_D @ 0.5 \text{ mA} = 0.6 - \eta V_T \ln 2$$

- $\eta = 1 : V_D = 600 \text{ mV} - 13.02 \text{ mV}$
- $\eta = 2 : V_D = 600 \text{ mV} - 26.04 \text{ mV}$

14^s)

$$V_D = 582 \text{ mV} @ \eta = 1 \text{ y } I_D = 0.5 \text{ mA}$$

15^a)

$$V_D = 564 \text{ mV} @ \eta = 2 \text{ y } I_D = 0.5 \text{ mA}$$

16^s)

La tensión ANODO-CATODO de un diodo decrece a razón de $2 \text{ mV}/^\circ\text{C} \Rightarrow$

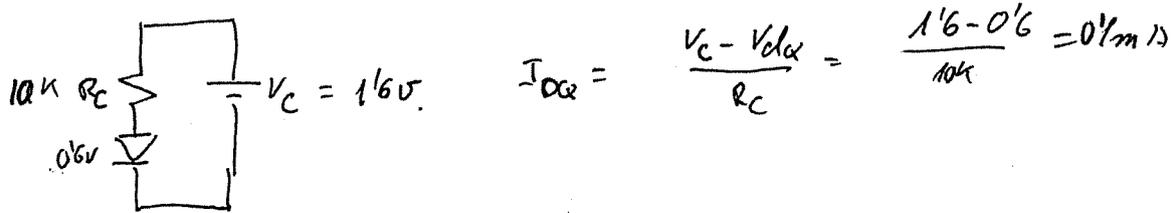
$$V_{dT} = V_{dT_{REF}} - 2 \text{ mV}/^\circ\text{C} [T - T_{REF}]$$

$$V_{D100^\circ} = V_{D300^\circ} - 2 \text{ mV}/^\circ\text{C} (100^\circ - 27^\circ)$$

$$16^a) V_{D100^\circ\text{C}} = 600 \text{ mV} - 2 \text{ mV} \cdot 73 = 454 \text{ mV}$$

17a)

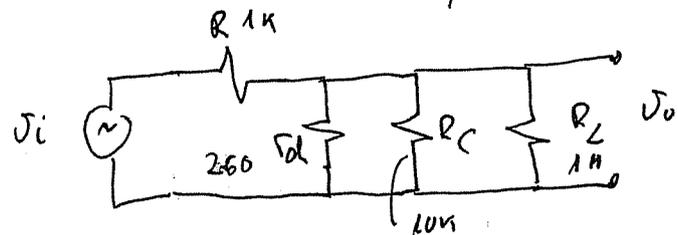
CIRCUITU EQUIVALENTI EN CONTINUA:



(17) $I_{DQ} @ V_C = 1.6V \quad I_{DQ} = 0.1mA$ ($V_T @ 27^\circ C \approx 26mV$)

(17b) $r_d = \frac{V_T}{I_{DQ}} = \frac{26mV}{0.1mA} = 260\Omega$

19a) Circuito incremental equivalente en alterna.



(RL prácticamente no influye)

(19a) $\frac{V_o}{J_i} \approx \frac{r_d || R_c}{R + (r_d || R_c)} \approx \frac{260}{1k + 260} \approx \frac{260}{1260} = 0.206$

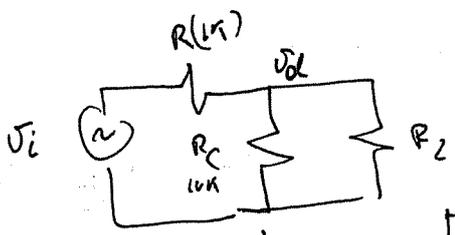
$i_D(t) = I_{DQ} + i_d(t)$

$i_{d,MAX} < 0.1 I_{DQ} = i_{d,MAX} = 100\mu A$

$v_{d,MAX} = \frac{V_{i,MAX}}{1k + 260} \approx \frac{V_{i,MAX}}{1260} = 100\mu A \Rightarrow V_{i,MAX} = 12.6mV$

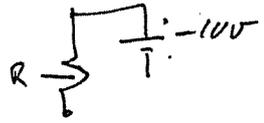
(20a) $V_{i,MAX} = 12.6mV$

20b) Circuito equivalente en alterna con el diodo a corte:



$V_d = \frac{R_c}{R + R_c} V_i = \frac{10}{11} V_i = 0.91 V_i$

Circuitos en continua:



$V_o = -10 + 0.91 V_i < V_8$

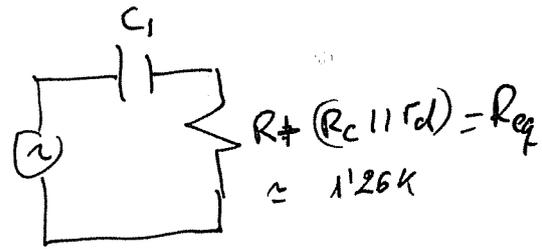
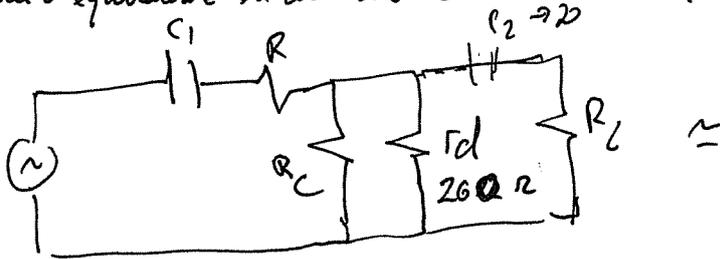
$0.91 V_i < V_8 + 10$

$V_i < (0.5 + 10) / 0.91 = 11.54V$

21)

$$V_i < 11'54V$$

Circuito equivalente en alterna considerando C_1

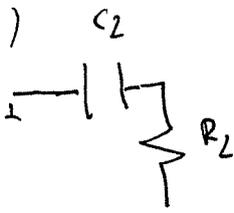


$$f_c = \frac{1}{2\pi R_c C_1} = 100 \text{ Hz} \Rightarrow$$

$$C_1 = \frac{1}{2\pi \times R_c \times 100} = 1'26 \times 10^{-6} \text{ F}$$

22) $C_1 = 1'26 \times 10^{-6} \text{ F}$

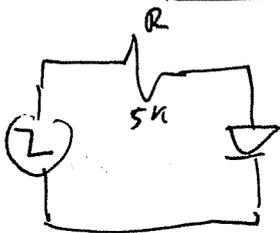
23)



$$f_c = \frac{1}{2\pi R_2 C_2} = 10 \text{ Hz}$$

$$C_2 = \frac{1}{2\pi \times 1 \times 10^6 \times 10} = 0'032 \mu\text{F} = 32 \text{ nF}$$

23) $C_2 = 32 \text{ nanofarads}$



Según el gráfico, el tiempo durante el cual, la corriente es -10 mA (debido a que V_D sigue siendo $\approx 0 \text{ V}$), es decir el tiempo de almacenamiento, vale 8 ms .

Durante este intervalo se está evacuando la carga acumulada cuando el diodo estaba polarizado directamente. (capacidad de deformación) La carga evacuada durante es q será:

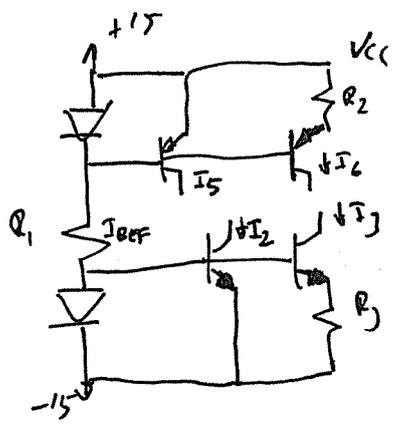
24) $q = I \cdot t = 10 \text{ mA} \times 8 \text{ ms} = 80 \mu\text{C}$ (pico-coulombios)

que coincide con la carga almacenada cuando el diodo estaba polarizado directamente a $I_F = 10 \text{ mA}$.

$$q_{\text{acumulada}} = C_p \times I_F = 80 \mu\text{C} \Rightarrow C_p = \frac{80 \mu\text{C}}{10 \text{ mA}} = 8 \text{ ns}$$

¡logio!

$C_p = 8 \text{ ns}$ 25)

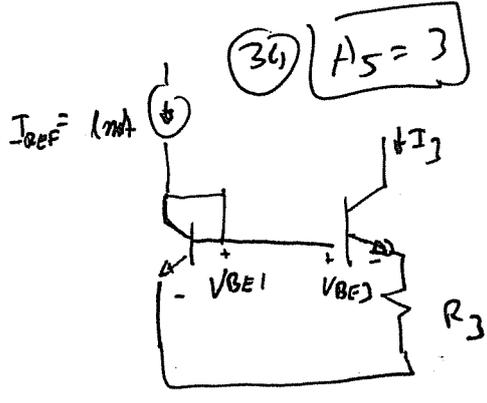


$$I_{REF} = \frac{15 - 0.6 - 0.6 - (-15)}{R_1} = I_2 = +I_5 / A_5$$

$$I_2 \text{ desired} = 1 \text{ mA}$$

$$\Rightarrow (31) \quad R_1 = \frac{30 - 1.2}{1 \text{ mA}} = 28.8 \text{ K}$$

$$I_5 = 3 \text{ mA} \Rightarrow A_5 = \frac{I_5}{I_2} = \frac{3 \text{ mA}}{1 \text{ mA}} = 3 \quad | \quad \text{ATBF}$$



(36) $A_5 = 3$

$$V_{BE1} = V_{BE3} + R_3 I_3$$

$$V_{BE1} - V_{BE3} = R_3 I_3$$

$$\left. \begin{aligned} I_{REF} &= I_5 e^{\frac{V_{BE1}}{\eta V_T}} \\ I_3 &= I_5 e^{\frac{V_{BE3}}{\eta V_T}} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{I_{REF}}{I_3} = e^{\frac{V_{BE1} - V_{BE3}}{\eta V_T}}$$

$$V_{BE1} - V_{BE3} = \eta V_T \ln \frac{I_{REF}}{I_3}$$

Si $\eta = 1$ y $V_T = 20 \text{ mV}$

$$R_3 I_3 = \eta V_T \ln \frac{I_{REF}}{I_3}$$

$$I_3 \text{ desired} = 50 \mu\text{A}$$

$$R_3 = \frac{1.26 \times 10^{-3}}{50 \times 10^{-6}} \times \ln \frac{1 \times 10^{-3}}{50 \times 10^{-6}} = 520 \times \ln \frac{1000}{50} \approx 1.56 \text{ K}$$

(32) $R_3 = 1.56 \text{ K}$

Analogamente:

$$R_2 \cdot I_6 = \eta V_T \ln \frac{I_{REF}}{I_6}$$

$$I_6 \text{ desired} = 100 \mu\text{A}$$

$$R_2 = \frac{1.26 \times 10^{-3}}{100 \times 10^{-6}} \times \ln \frac{1 \times 10^{-3}}{100 \times 10^{-6}} = 260 \times \ln 10 = 598.67 \approx 599 \Omega$$

$R_2 = 599 \Omega$

Com $R = 500$

(26)

$I_F \approx 100 \text{ mA}$

$Q = \tau_p + 0.1t = 8 \times 10^{-9} + 0.1 \times \text{Euler}$

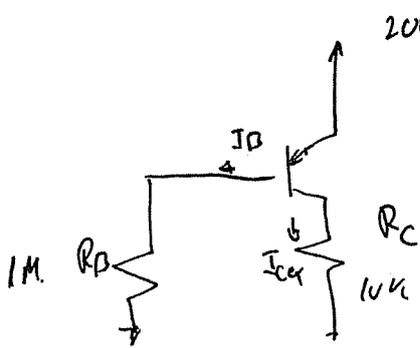
$0.8 \times 10^{-9} \text{ Euler} = I_R \times t_F$

para $I_R = \frac{5 - 0.6}{500} \approx \frac{5}{500} = 10 \text{ mA}$

$t_F = \frac{0.8 \times 10^{-9}}{10 \times 10^{-3}} = 80 \text{ ns}$

(26) $t_s \approx 80 \text{ ns}$

(27)



Suplemento R.A.U

a) $\beta = 50$ $I_{BQ} = \frac{20 - 0.6}{R_B} = \frac{19.4}{1M} = 19.4 \mu\text{A}$

$I_{CQ} = \beta I_{BQ} = 19.4 \mu\text{A} \times 50 = 0.97 \text{ mA}$

$V_{EC} = 20 - R_C I_{CQ} = 20 - 10k \times 0.97 \times 10^{-3}$

$V_{EC} = 20 - 9.7 = 10.3 \Rightarrow$

(27) $V_{CEQ} = -10.3 \text{ V}$

(27) $I_{CQ} = 0.97 \text{ mA}$

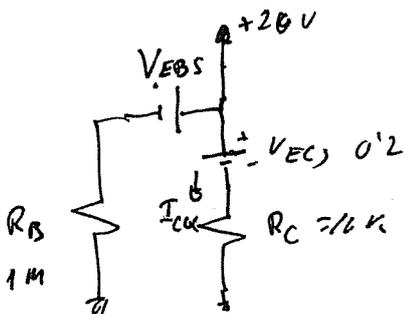
b) $\beta = 150$ (segundo sup R.A.U)

$I_{BQ} = 19.4 \mu\text{A}$

$I_{CQ} = 2.91 \text{ mA}$

$V_{ECQ} = 20 - 10k \times 2.91 \times 10^{-3} = -0.1 \Rightarrow$ NO ESTÁ EN LA R.A.U

ESTARÁ EN SAT.



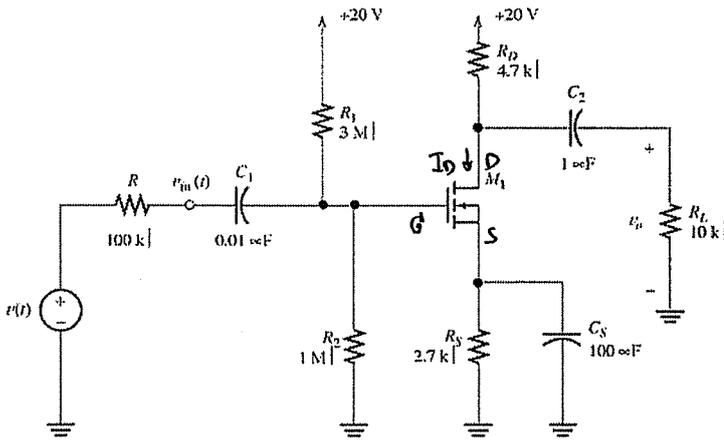
(29) $I_{BQ} = \frac{20 - 0.2}{10k} = 1.98 \text{ mA}$

30 $V_{CES} = -0.2 \text{ V}$

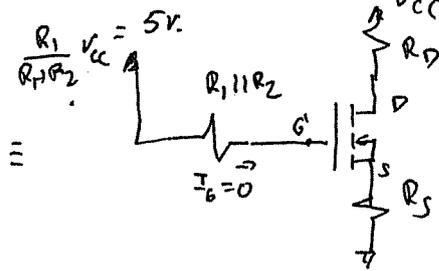
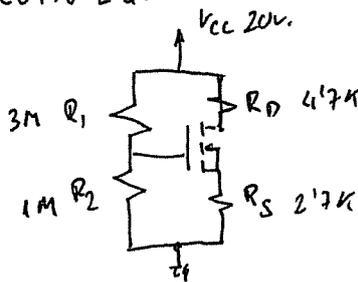
$K = 1 \text{ mA/V}^2 \quad V_A = \infty \quad V_{E0} = 2 \text{ V}$

Si el N MOS se encuentra en la ZONA ACTIVA (= REGION DE SATURACION)

$I_D = K (V_{GS} - V_{E0})^2$



CIRCUITO EQUIVALENTE EN CONTINUA



$V_G = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{CC} = 5 \text{ V}$

$V_{CC} = (R_D + R_S) I_D + V_{DS} \quad (R.E.C.) \Rightarrow V_{DS} = V_{CC} - (R_D + R_S) I_D$

Si el transistor está en la zona activa:

$I_D = K (V_{GS} - V_{E0})^2 \quad [1]$

$V_{GS} = V_G - V_S = V_G - R_S I_D \Rightarrow I_D = \frac{V_G - V_{DS}}{R_S} = \frac{5 - V_{DS}}{R_S} \quad [2]$

Sustituyendo la expresión [2] en [1].

$\frac{5 - V_{DS}}{R_S} = K (V_{GS} - V_{E0})^2 \Rightarrow 5 - V_{DS} = 10^{-3} \cdot 2.7 \cdot 10^3 (V_{GS} - V_{E0})^2$

$5 - V_{DS} = 2.7 (V_{GS} - V_{E0})^2$

$5 - V_{DS} = 2.7 [V_{GS}^2 + 4 - 4 V_{GS}]$

$V_{GS}^2 - 3.63 V_{GS} + 2.148 = 0$

$V_{GS} = \frac{3.63 \pm \sqrt{3.63^2 - 4 \cdot 2.148}}{2} = \frac{3.63 \pm 2.14}{2}$

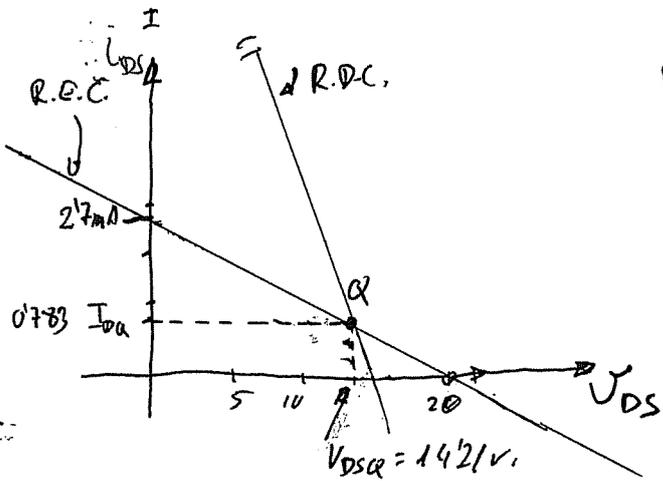
2.885

~~0.745~~ (por ser menor que V_{E0})

$I_D = (1 \text{ mA/V}^2) \cdot (2.885 - 2)^2 = 0.783 \text{ mA}$

35	$I_{DQ} = 0.783 \text{ mA}$
36	$V_{DSQ} = V_{CC} - (R_D + R_S) I_{DQ} = 20 - 7.4 \text{ k} \cdot 0.783 \text{ mA} = 14.21 \text{ V}$
37	$V_{GSQ} = 2.885 \text{ V}$

$V_{DS} > V_{GS} - V_{E0}$
 \downarrow
 REGION SATURACION
 ZONA ACTIVA
 $14.21 > 2.885 - 2$



R.E.C.1

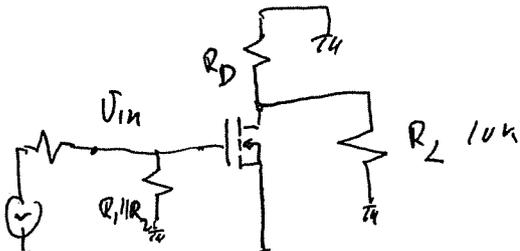
$$V_{CC} = (R_D + R_S) I_D + V_{DS}$$

$$20 = (7.4k) I_D + V_{DS}$$

para $V_{DS} = 0 \Rightarrow I_D = \frac{20}{7.4k} = \frac{2.7mA}{\text{(ordenada en el origen)}}$

para $I_D = 0 \Rightarrow V_D = 20$ (abscisa en el origen)

CIRCUITO EQUIVALENTE EN ALTERNIA



$$\frac{V_{ds}}{i_{ds}} = R_D || R_L = 4.7k || 10k \approx 3.2k$$

EL punto Q pertenece a la R.E.C. y a la R.D.C.

La recta dinámica de carga referida a los ejes principales vendrá definida por:

$$\frac{V_{DS} - V_{DSQ}}{I_{DS} - I_{DSQ}} = - (R_D || R_L) \Rightarrow V_{DS} - V_{DSQ} = - (R_D || R_L) (I_{DS} - I_{DSQ})$$

La abscisa en el origen será el valor de V_{DS} @ $I_{DS} = 0$
 La ordenada en el origen será el valor de I_{DS} @ $V_{DS} = 0$

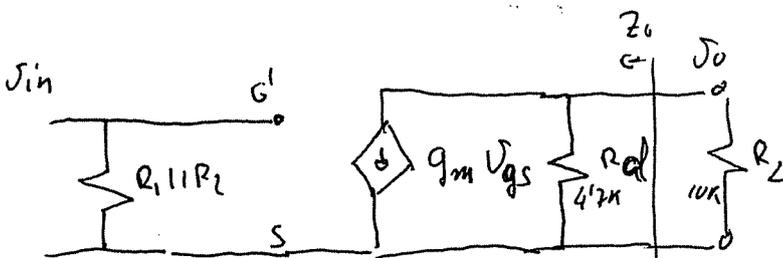
$$V \equiv V_{DS} @ I_{DS} = 0 : V = V_{DSQ} + (R_D || R_L) I_{DSQ} = 16.7V$$

$$I \equiv I_{DS} @ V_{DS} = 0 : I = \frac{V_{DSQ}}{(R_D || R_L)} = 5.22mA$$

V_{p-p} ca sin distorsión. $(16.7 - 14.2) \times 2 \approx 5V$

maximi $V_{p-p} = 5V$

C. INCREMENTAR EQUIVALENCIA



$$\frac{V_o}{V_{in}} = -g_m (R_D || R_L)$$

$$Z_i = R_1 || R_2 \quad R_D || R_L = 3.2k$$

$$Z_o = R_D$$

$$g_m = 2 \sqrt{K I_{DQ}} = 2 \sqrt{1 \times 10^{-3} \times 0.783 \times 10^{-3}} = 2 \times 0.885 \times 10^{-3} \text{ Amp/V.} = 1.77 \times 10^{-3} \text{ Amp/V.}$$

$$\frac{V_o}{V_{in}} = -3.2k \times 1.77 \times 10^{-3} = -5.66$$

$$Z_i = R_1 || R_2 = 3M || 1M = 0.75M = 750k$$

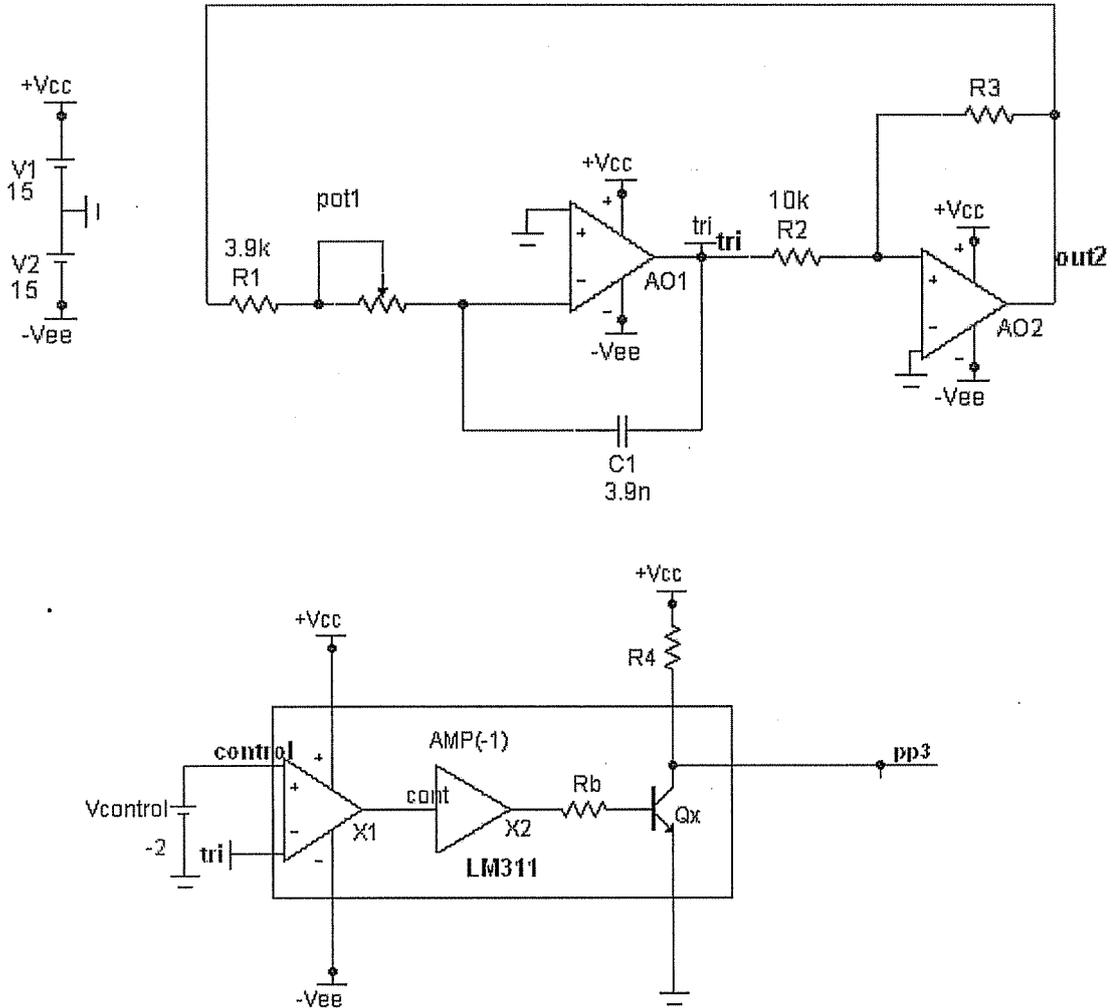
$$Z_o \approx R_D = 4.7k$$

**EXAMEN DE ELECTRÓNICA ANALÓGICA.- CONVOCATORIA 29-1-2002
2º CURSO DE INGENIERÍA TÉCNICA EN ELECTRÓNICA INDUSTRIAL**

APELLIDOS Y NOMBRE:

2ª PARTE DEL EXAMEN

Sea el circuito de la figura:



1).- Circuito generador de onda triangular y control PWM

El conjunto formado por AO1 y AO2, implementan un generador de señales triangular y cuadrada, cuya frecuencia la podemos controlar ajustando el potenciómetro pot1. El AO1 está funcionando como un integrador, y AO2 como un comparador con histéresis, cuya banda se puede ajustar en función de la relación R2/R3, y de las tensiones de saturación del AO2.

El LM311, es un C.I. comparador de elevado S.R., con salida de transistor en colector y emisor abierto. Un modelo simplificado es el de la figura. El valor de Rb es el adecuado para garantizar que Qx esté en corte o saturación

Con la alimentación de +/- 15 voltios, la triangular que deseamos obtener aproximadamente es de +/-10 voltios de pico (Vp). En la entrada no inversora del comparador se aplica una tensión de control, que puede estar comprendida entre el valor de +Vp y -Vp, si deseamos que el control de $\delta = \frac{T_{ON}}{T}$ en función

de Vcontrol, sea lineal.

La salida en colector de Qx será la señal de control a aplicar .

Nota: Se deben rellenar las casillas con los datos pedidos. Cada respuesta numérica correcta 1 pto. Las justificaciones de las respuestas se entregarán en hojas adjuntas. El valor de la 1ª parte del examen es del 70% del total. (La segunda parte 30%)

EXAMEN DE ELECTRÓNICA ANALÓGICA.- CONVOCATORIA 29-1-2002
2º CURSO DE INGENIERÍA TÉCNICA EN ELECTRÓNICA INDUSTRIAL

APELLIDOS Y NOMBRE:

2)- Circuito con bobina, transistor bipolar y Zener.

La salida pp3 de la etapa anterior se aplica al circuito representado en la figura:

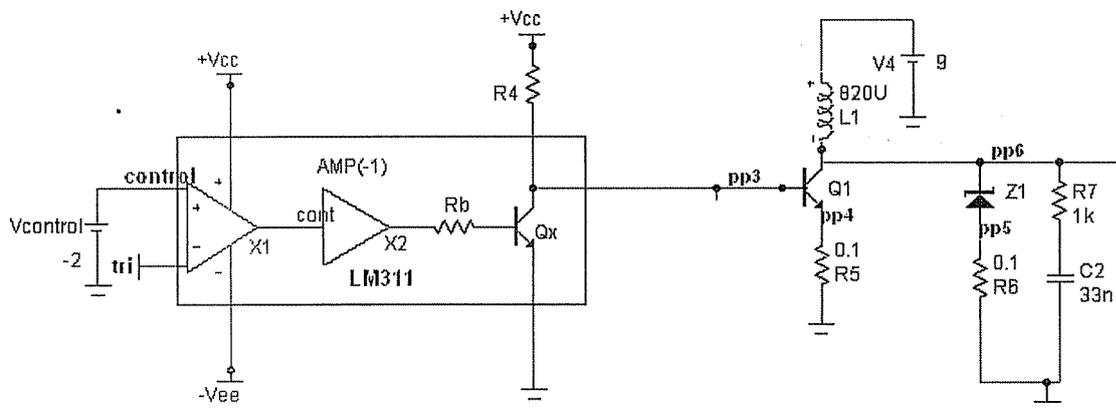
Si el transistor de potencia es un bipolar, el valor de R4 y de β_{min} es importante, para predecir la máxima corriente que puede circular por el mismo antes de entrar en la R.A.N.

Las resistencias de 0.1 ohmios se utilizan para tomar las muestras de tensión a través de los correspondientes elementos, pudiéndose suponer despreciable su efecto respecto al cálculo de las corrientes

Cuando la tensión aplicada a la base es positiva (Q_x a corte) se establece casi instantáneamente una corriente de base de $(+V_{cc} - V_{BEQ1}) / R4 = I_{BQ1}$. Debido a que la corriente a través de la bobina no puede variar bruscamente, el transistor entra en saturación hasta que la corriente a través de L1 alcanza el valor de $\beta_F * I_{BQ}$ (si es que la alcanza), pasando a partir de este momento a trabajar en la R.A.N., haciéndose la corriente a través de la autoinducción prácticamente constante, y por tanto su caída de tensión nula (salvo pérdidas resistivas). La tensión en colector de Q1 (pp6) se hace entonces constante igual a V4 (9 voltios).

Cuando Q_x pasa a saturación, el transistor Q1 pasa casi instantáneamente a corte. En ese instante está circulando una determinada corriente a través de la bobina, que no puede variar bruscamente. El camino alternativo que tiene la citada corriente es a través del diodo Zener Z1, de tensión de ruptura 24 voltios, superior a la de V4 (9 voltios), pasando éste a conducir en inversa, y estableciéndose en sus terminales (pp6) una tensión prácticamente constante igual a E_z (24 voltios), hasta que la corriente a través del mismo se anule. La corriente que circula por la bobina durante este intervalo empieza a decrecer linealmente hasta que se hace cero. A partir de este momento el Zener deja de conducir, y la tensión en sus terminales pasa a ser V4, hasta el final del período.

La red "snubber" compuesta por la resistencia R7 y la capacidad C2, se emplea para eliminar los transitorios de alta frecuencia que se originan debidos a los diferentes efectos capacitivos de los semiconductores, no influyendo en el estudio simplificado.



Se ajusta el potenciómetro pot 1 para que la señal triangular sea de 10 Khz, y la señal de control para que δ valga 0,3.

Valor aproximado de $v_{control}$: (1 punto)
Ajuste aproximado de Rp1: (1 punto)

El transistor Q1 es de Silicio, con $\beta_{mínima} = 50$ y $\beta_{máxima} = 150$. $V_{Bessat} \cong V_{BEQ} \cong 0,8$ voltios. $V_{Cesat\ máxima} = 0,2$ voltios. **Régimen periódico alcanzado.** Tensión de ruptura del Zener: 24 voltios

Nota: Se deben rellenar las casillas con los datos pedidos. Cada respuesta numérica correcta 1 pto. Las justificaciones de las respuestas se entregarán en hojas adjuntas. El valor de la 1ª parte del examen es del 70% del total. (La segunda parte 30%)

EXAMEN DE ELECTRÓNICA ANALÓGICA.- CONVOCATORIA 29-1-2002
2º CURSO DE INGENIERÍA TÉCNICA EN ELECTRÓNICA INDUSTRIAL

APELLIDOS Y NOMBRE:

Fijada la frecuencia a 10Khz, y δ a 0,3

Se pide:

1. Si se fija la resistencia R4 a 4,7 K, y el transistor que disponemos tiene una ganancia en la R.A.N. de 125,
 - a) En hoja a parte, dibujar expresiones gráficas de las corrientes a través de: bobina, transistor Q1, y diodo Zener, encontrando las expresiones literales de los tiempos y magnitudes más características. (1 punto)
 - b) En hoja aparte, dibujar las expresiones gráficas de las tensiones en los puntos pp3 y pp6, encontrando las expresiones literales de los tiempos y magnitudes más características. (1 punto)
 - c) Valor numérico de la corriente media a través de la bobina. (1 punto)
 - d) Valor numérico de la corriente media a través del colector de Q1. (1 punto)
 - e) Valor numérico de la corriente media a través del diodo Zener. (1 punto)
 - f) Valor numérico de la tensión en pp6. (1 punto)
 - g) Potencia media entregada por la fuente V4. (1 punto)
 - h) Potencia media disipada por el transistor Q1. (1 punto)
 - i) Potencia media disipada por el diodo Zener. (1 punto)

2. Si se fija la resistencia R4 a 4,7 K, y el transistor que disponemos tiene una ganancia en la R.A.N. de 50,
 - a) En hoja a parte, dibujar expresiones gráficas de las corrientes a través de: bobina, transistor Q1, y diodo Zener, encontrando las expresiones literales de los tiempos y magnitudes más características. (1 punto)
 - b) En hoja aparte, dibujar las expresiones gráficas de las tensiones en los puntos pp3 y pp6, encontrando las expresiones literales de los tiempos y magnitudes más características. (1 punto)
 - c) Valor numérico de la corriente media a través de la bobina. (1 punto)
 - d) Valor numérico de la corriente media a través del colector de Q1. (1 punto)
 - e) Valor numérico de la corriente media a través del diodo Zener. (1 punto)
 - f) Valor numérico de la tensión en pp6. (1 punto)
 - g) Potencia media entregada por la fuente V4. (1 punto)
 - h) Potencia media disipada por el transistor Q1. (1 punto)
 - i) Potencia media disipada por el diodo Zener. (1 punto)

3. A qué valor fijaría la resistencia R4, para que con un δ máximo de 0.8, en el peor de los casos el transistor Q1 no entre en le R.A.N. (1 punto)

4. ¿Qué potencia disipará esa resistencia? (1 punto)

Nota: Se deben rellenar las casillas con los datos pedidos. Cada respuesta numérica correcta 1 pto. Las justificaciones de las respuestas se entregarán en hojas adjuntas. El valor de la 1ª parte del examen es del 70% del total. (La segunda parte 30%)

RESOLUCION 2ª PARTE DEZ EXAMEN DEZ 29-1-2002. E-ANALOGICA

1:) DESCRIPCION CUALITATIVA DEZ GENERADOR DE SEÑAL TRIANGULAR.

EL A.01 es un integrador inversor. La corriente de carga y descarga de la capacidad es de $i = \frac{V_{OUT} - 0}{R_1 + R_{in1}}$

EL A.02 es una bascula no inversora. $V_{OUT} \equiv V_{SAT} - V_{INT}$ hasta que V_{INT} alcance el valor de $+\frac{R_2}{R_3} V_{SAT}$, y permanece en $+V_{SAT}$, hasta que V_{INT} baje por debajo de $-\frac{R_2}{R_3} V_{SAT}$.

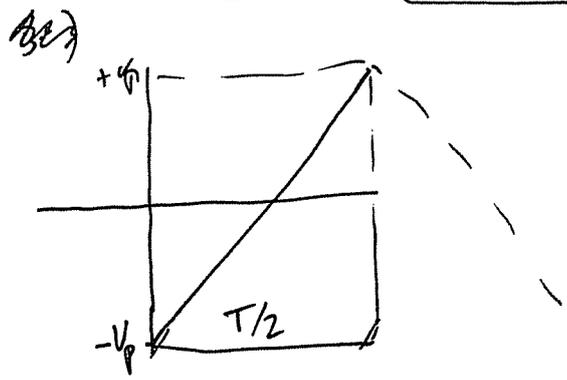
La forma de onda $V_{INT}(t)$, es una triangular de valor de pico positivo $+\frac{R_2}{R_3} V_{SAT}$, y de valor de pico negativo $-\frac{R_2}{R_3} V_{SAT}$.

2:) $V_P = \frac{R_2}{R_3} V_{SAT}$ (se deduce inmediatamente si $+V_{SAT} = -V_{INT}$)

Si deseamos que $V_P = 10V$. $\Rightarrow \frac{R_2}{R_3} V_{SAT} = 10$. Si $V_{SAT} = 15V$.

$\Rightarrow R_3 = \frac{R_2}{10} \cdot V_{SAT} = \frac{10K \cdot 15}{10} = 15K$

(2a) $R_3 = 15K$



$V_C(t) = \frac{1}{C} \int i dt + (-V_P)$

@ $t = T/2$ $V_C(T/2) = +V_P$

$+V_P = \frac{1}{C} \cdot I \cdot \frac{T}{2} - V_P \Rightarrow$

$2V_P = \frac{I}{C} \cdot \frac{T}{2}$

$T = \frac{4 \cdot V_P \cdot C}{I} = \frac{4 \cdot V_P \cdot C}{V_{SAT}} \cdot (R_1 + R_{in1})$

$T = \frac{4 \cdot \frac{R_2}{R_3} V_{SAT} \cdot C}{V_{SAT}} \cdot (R_1 + R_{in1})$

(2b) $T = 4 \frac{R_2}{R_3} C_1 (R_1 + R_{in1}) \Rightarrow f = \frac{1}{T} = \frac{1}{4(R_1 + R_{in1})C} \cdot \frac{R_3}{R_2}$

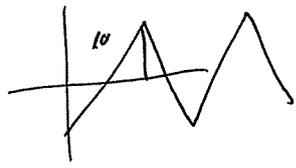
$f_{max} @ P_{out min} : \frac{1}{4 R_{IC}} = \frac{15 \mu}{10 \mu} = \frac{1.5 \times}{4 \times 3.9 \times 10^{-5} \times 3.9 \times 10^{-5}} = 24.65 \text{ kHz}$

$\frac{1}{4 R_{eq C}} = 1.5 \approx 1 \text{ kHz} \Rightarrow R_e = \frac{1.5}{4 \times 3.9 \times 10^{-5} \times 1000} = 967.15 \text{ k}\Omega$

$R_e = R_{out max} + 3.9 \text{ k}\Omega \Rightarrow R_{out MA} = 921.25 \text{ k}\Omega \rightarrow 100 \text{ k}\Omega$

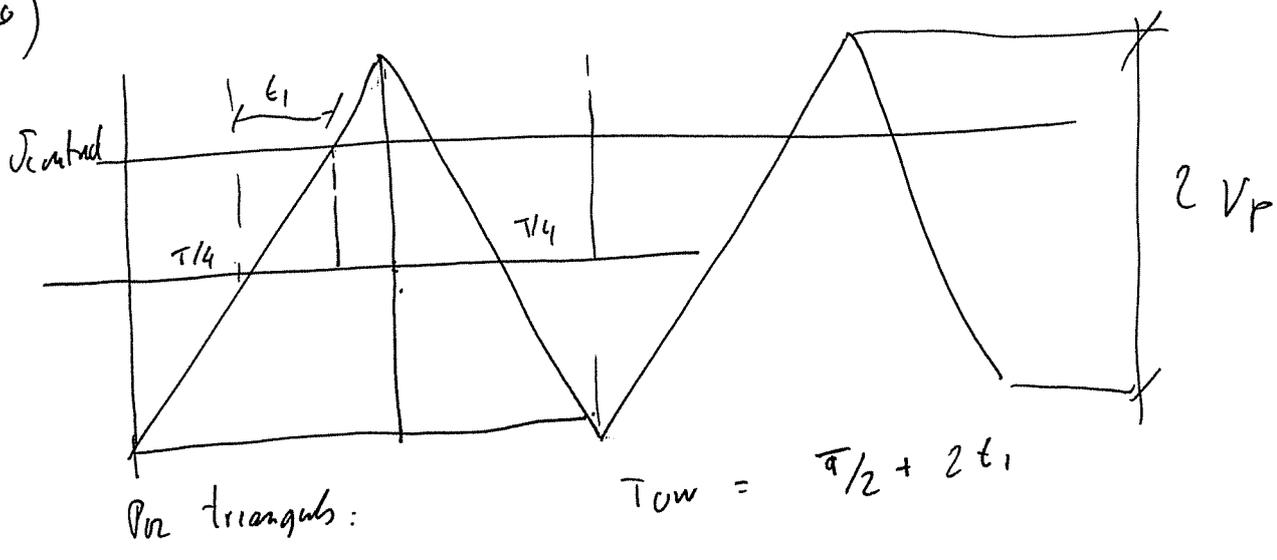
(2c) $R_{out} = 100 \text{ k}\Omega$

(2d)



$V_{eff} = \frac{V_p}{\sqrt{3}} = \frac{10}{\sqrt{3}} = 5.77 \text{ V}$

30)



$\frac{2V_p}{T/2} = \frac{V_{control}}{t_1} \Rightarrow t_1 = \frac{T}{2} \cdot \frac{V_{control}}{2V_p}$

$T_{ow} = \frac{T}{2} + \frac{T}{2} \cdot \frac{V_{control}}{2V_p} \Rightarrow$

$\frac{T_{ow}}{T} = \left[\frac{1}{2} + \frac{V_{control}}{2V_p} \right] = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{V_{control}}{V_p} \right] = \sigma$

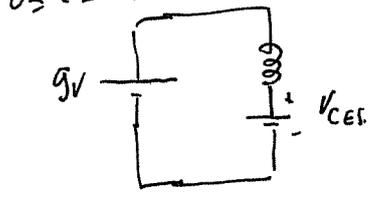
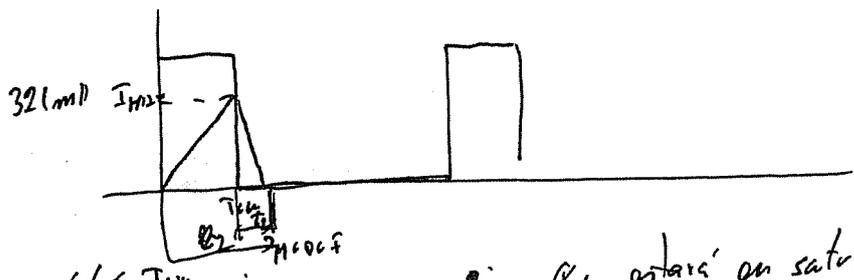
c. q. d.

2.1) $\delta = 0.3 = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{V_{control}}{10} \right) \Rightarrow \boxed{V_{control} = -4 \text{ Volts}}$

2.2) $10 \text{ kHz} = \frac{1.5}{4 R_e C} \Rightarrow R_e = \frac{1.5}{10000 \cdot 4 \cdot 3.9 \cdot 10^{-5}} = 9.615 \Omega$

$R_{pct} = 9.615 - 3.900 = \underline{\underline{5.715 \Omega}}$
 $\boxed{P_{pct} = 5.715 \Omega}$

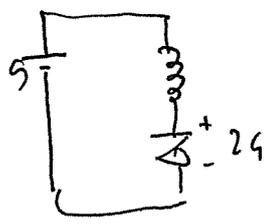
3.) $f = 10 \text{ kHz}$ $\delta = 0.1$ $I = 10 \text{ mA}$ $T = 100 \mu\text{s}$
 $R_4 = 4.7 \text{ k}$ $\beta = 125$ $T_{on} = 100 \mu\text{s} \cdot 0.1 = 30 \mu\text{s}$



si I_B estari en saturaci6 i $I_B > \frac{I_C}{\beta}$
 $I_B \approx \frac{15 \cdot 0.8}{4.7 \text{ k}} = \frac{15 \cdot 0.8}{4.7 \text{ k}} = 3 \text{ mA}$
 $I_C(t) = \frac{9 \cdot 0.2}{L} t$
 $\text{a } t = 30 \mu\text{s} \Rightarrow I_{max} = \frac{9 \cdot 0.2}{820 \cdot 10^{-6}} = 321.5 \text{ mA}$

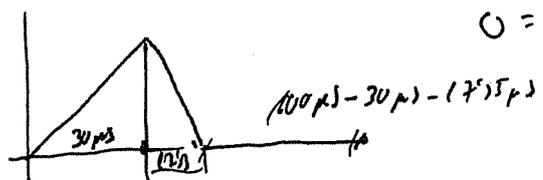
$I_B = 3 \text{ mA} > \frac{I_C}{\beta} = \frac{321.5}{125} = 2.57 \text{ mA} \Rightarrow$ se comple que estari en saturaci6.

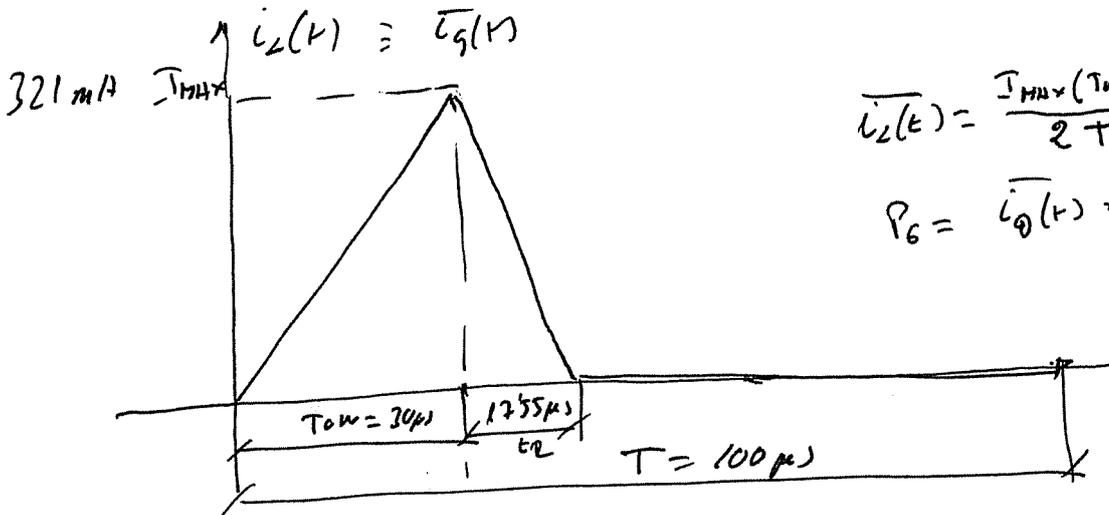
MicroE
 $T_{on} \leq t \leq T$



$i(t) = \frac{9 - 2.4}{L} t + I_{inicial}$
 @ $t = 0$ (inici de modo E) $I_{inicial} = I_{max} = 321 \text{ mA}$
 @ $t = t_2 \Rightarrow i(t_2) = 0$

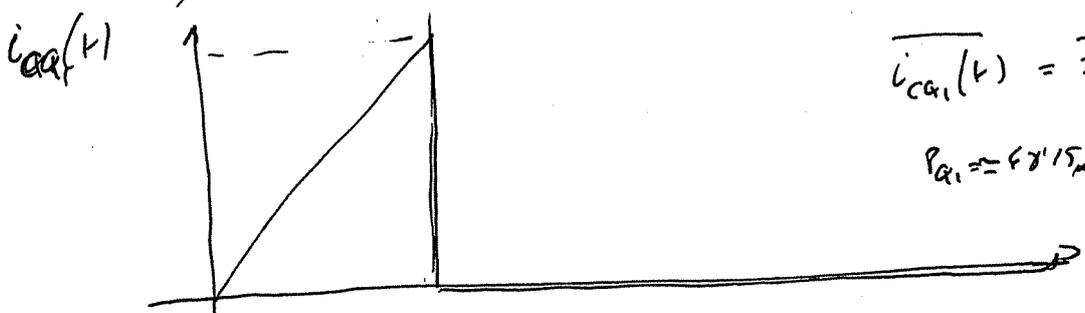
$0 = \frac{-15}{820 \cdot 10^{-6}} t_2 + 321 \text{ mA} \Rightarrow t_2 = \underline{\underline{17.55 \mu\text{s}}}$





$$\overline{i_L(t)} = \frac{I_{MAX} \times (T_{on} + t_2)}{2T} = 76.3 \text{ mA}$$

$$P_G = \overline{i_g(t)} \times V_G = 3 \times 76.3 \text{ mA} = 686.7 \text{ mW}$$

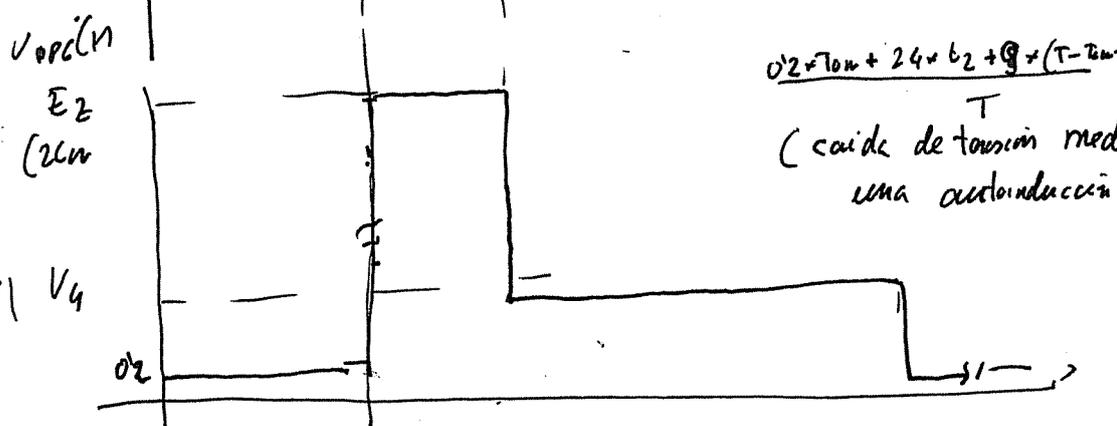
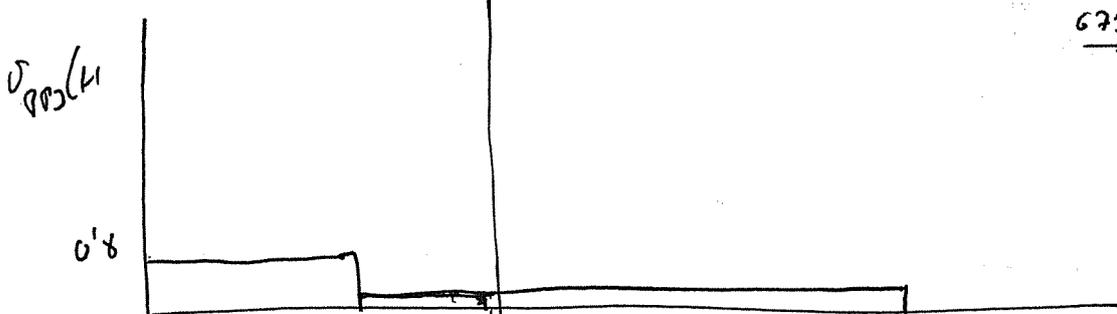


$$\overline{i_{CR1}(t)} = \frac{I_{MAX} \times T_{on}}{2T} = 48.15 \text{ mA}$$

$$P_{CR1} = 48.15 \text{ mA} \times 0.2 = 9.63 \text{ mW}$$



$$P_2(t) = 27.15 \text{ mA} \times E_2 = 24 \times 27.15 \text{ mA} = 675.6 \text{ mW}$$



$$0.2 \times T_{on} + 24 \times t_2 + 9.5 \times (T - T_{on} - t_2) = 9.5$$

(caide de tension medie on una autoinduccia ideal, real)

2.5.7. $R_4 = 4.7k$ Transistor $\beta = 50$.

a) Transistor Q_1 en estado ON.

$0 \leq t \leq t_1$ ON y en saturación
 $t_1 \leq t \leq T_{ON}$ ON y en R.A.M.

Límite: Si estamos en saturación $i_2(t) = \frac{V_4 - V_{CES}}{L} t$

$I_{MAX} = \frac{V_4 - V_{CES}}{L}$ I_{MAX} es aquella a la que el transistor entra en R.A.M.

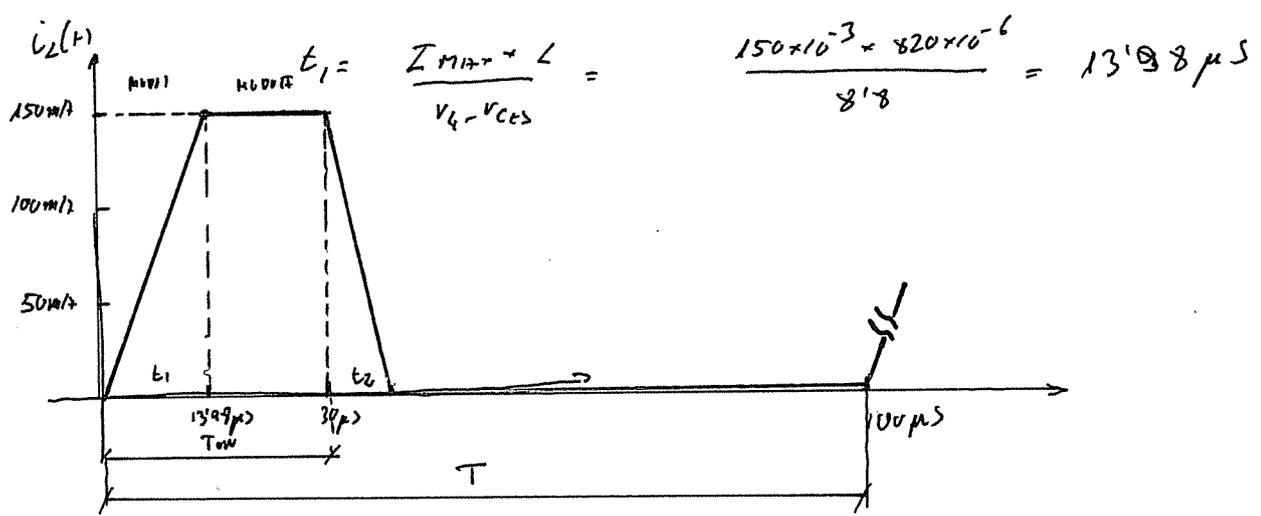
El transistor estará en saturación siempre que I_B sea mayor que $\frac{I_C}{\beta_{R.A.M.}}$

El límite es cuando $I_B = \frac{I_C}{\beta} \Rightarrow I_{MAX} = 50 \cdot I_B$

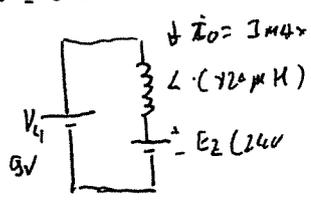
Para $I_B \approx \frac{V_{CC} - V_{BES}}{R_4} = \frac{15 - 0.8}{4.7k} = 3mA$

$I_{C MAX} = 50 \cdot 3mA = 150mA$

b) $I_{MAX} = 150mA = \frac{V_4 - 0.2}{L} b_1 \Rightarrow$

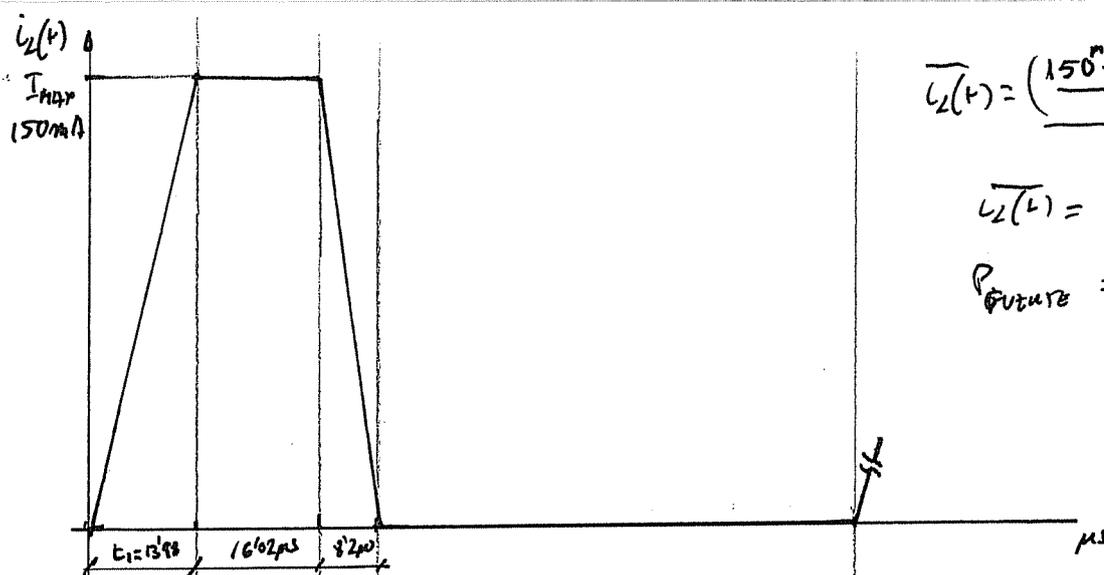


Modo 3 $T_{ON} \leq t \leq T$ CIRCUITO EQUIVALENTE hasta que $i_2 = 0$



$i(t) = \frac{V_4 - E_2}{L} t + I_{MAX}$
 en $t = t_2$ (tomando como origen el inicio del modo 3)

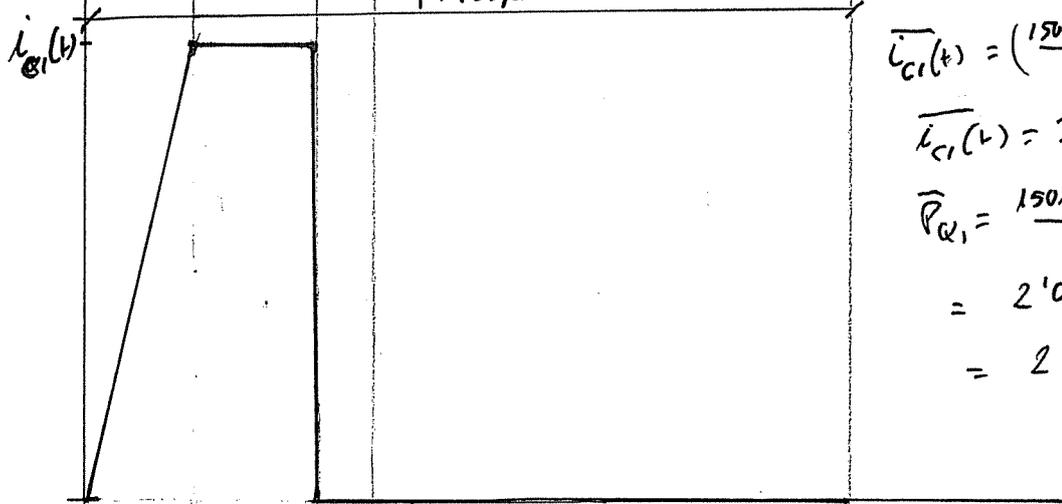
$0 = -\frac{15}{820 \times 10^{-6}} t_2 + 150mA \Rightarrow t_2 = \frac{150 \times 10^{-3} \times 820 \times 10^{-6}}{15} = 82 \mu s$



$$\overline{i_2(t)} = \frac{\left(\frac{150 \text{ mA} \times 13.98 \mu\text{s}}{2} + \frac{150 \text{ mA} \times 8.2 \mu\text{s}}{2} + 150 \text{ mA} \times 16.62 \mu\text{s} \right)}{100 \mu\text{s}}$$

$$\overline{i_2(t)} = 40.66 \text{ mA}$$

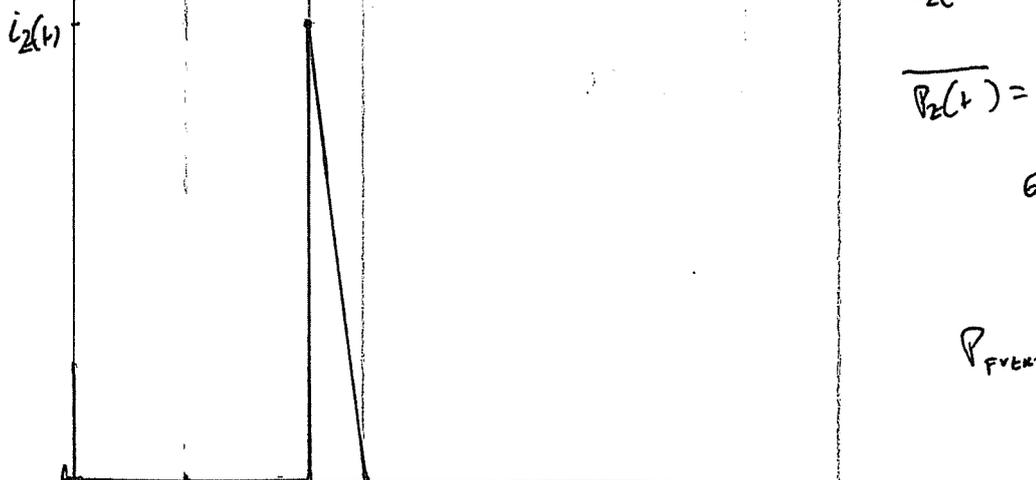
$$P_{\text{FET}} = \overline{i_2(t)} \times V_4 = \overline{i_2(t)} \times 9 = 365.94 \text{ mW}$$



$$\overline{i_{c1}(t)} = \left(\frac{150 \text{ mA} \times 13.98 \mu\text{s}}{2} + 150 \text{ mA} \times 16.62 \mu\text{s} + \frac{150 \text{ mA} \times 8.2 \mu\text{s}}{2} \right) / 100 \mu\text{s}$$

$$\overline{i_{c1}(t)} = 34.515 \text{ mA}$$

$$\begin{aligned} \overline{P_{c1}} &= \frac{150 \text{ mA} \times 13.98 \mu\text{s}}{2 \times 100 \mu\text{s}} \times 0.2 + \frac{150 \text{ mA} \times 16.62 \mu\text{s}}{100 \mu\text{s}} \times 0.3 \\ &= 2.097 \text{ mW} + 2.1627 \text{ mW} \\ &= 2.1837 \text{ mW} \end{aligned}$$



$$\overline{i_2(t)} = \frac{(150 \text{ mA} \times 8.2 \mu\text{s})}{2 \times 100 \mu\text{s}} = 6.15 \text{ mA}$$

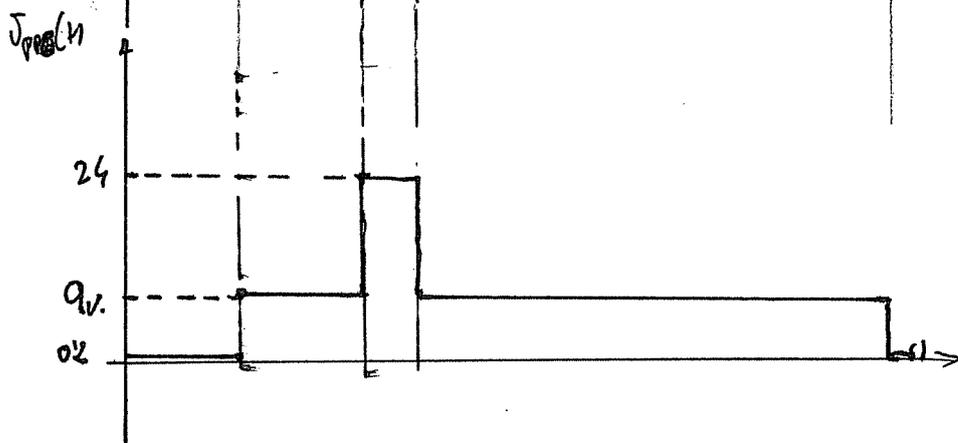
$$\overline{P_2(t)} = \overline{i_2(t)} \times E_2 =$$

$$6.15 \text{ mA} \times 24 = \underline{\underline{147.6 \text{ mW}}}$$

$$P_{\text{FET}} = V_4 \times \overline{i_2(t)} = \Sigma P$$

$$= 9 \times 40.66 \text{ mA} = 365.94 \text{ mW}$$

$$\begin{aligned} &\cong 2.1837 \text{ mW} + 147.6 \text{ mW} \\ &= 365.97 \text{ mW} \end{aligned}$$



3.5)

$$i_L(t) = \frac{E - V_{CES}}{L} t$$

$$a) \delta = 0.8 \quad y \quad f = 10 \text{ kHz} \quad (T = 100 \mu\text{s})$$

$$I_{M12} = \frac{9 - 0.2}{820 \mu\text{H}} \cdot 0.8 \cdot 100 = 858.5 \text{ mA}$$

A esta corriente debemos que esté limitada en saturación con el poca cosa, es decir con β_{min} .

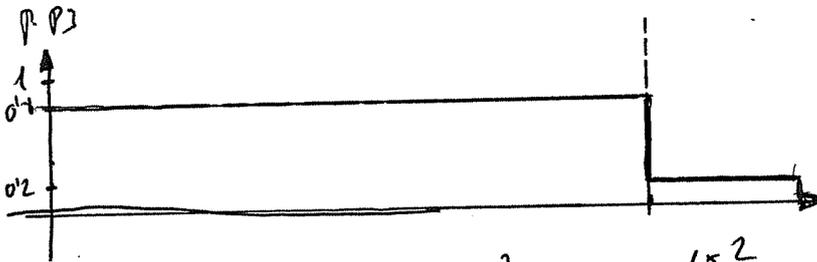
$$\beta_{min} = 50 \Rightarrow I_{B \text{ R.P.R.}} = \frac{858.5 \text{ mA}}{50} = \underline{\underline{17.17 \text{ mA}}}$$

I_B debe ser mayor o igual que 17.17 mA .

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_4} \Rightarrow 17.17 \text{ mA}$$

$$R_4 \leq \frac{15 - 0.8}{17.17 \text{ mA}} = 827 \Omega \Rightarrow \underline{\underline{R_4 = 820 \Omega}}$$

$$P_{R_4} = I_B^2 \cdot R \quad \text{o} \quad V_{CE}^2 / R$$



$$P_{R_4} \approx \frac{V_{CC}^2}{R_4} \approx \frac{15^2}{820} = 0.274 \text{ W}$$