

Normas de examen

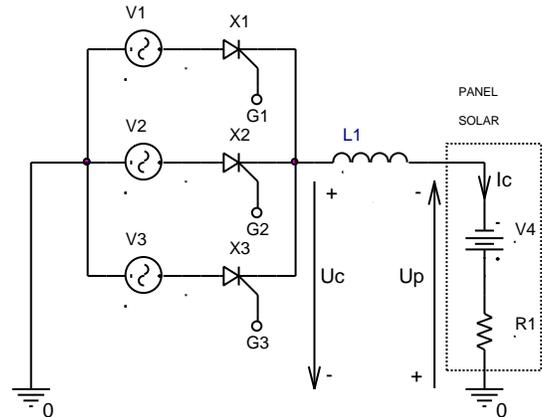
- El alumno debe dejar bien visible sobre la mesa una identificación válida (carné de la escuela, DNI...).
- No se pueden usar libros ni apuntes y, por tanto, una vez empezado el examen, no deben quedar a la vista.
- Se pueden usar calculadora y material de dibujo. No está permitido compartir las herramientas de cálculo.
- Los ejercicios han de realizarse en orden y se recogerán al finalizar el tiempo asignado a cada uno de ellos.
- No se admitirán soluciones hechas a lápiz. La tinta roja sólo podrá usarse para las gráficas.

Ejercicio 1

(3 puntos, 40 minutos)

El rectificador de la figura se emplea como inversor no autónomo para inyectar en la red la energía generada por una batería de paneles solares, modelada por su equivalente Thevenin. La tensión de red es de 380 V a 50 Hz. Se pide:

1. Dibuje durante al menos 20 ms las formas de onda de $v_1, v_2, v_3, u_c, i_{X2}$ e i_c , indicando los valores instantáneos más significativos para un ángulo de disparo $\alpha = 3\pi/4$ rad.
2. Deducir la expresión del **valor medio** de la tensión a la salida de los tiristores, \bar{U}_c , en función del ángulo de disparo α .
3. Indicar cuál es el rango de valores de α dentro del que debe trabajar el circuito para que se inyecte energía en la red y no se superen los límites máximos del panel.



Datos: $L_1 \rightarrow \infty, R_1 = 1,638 \Omega, V_4 = 181,68 \text{ V}, I_{\text{máx}} = 5,83 \text{ A}$

NOTA: considere los semiconductores ideales.

Ejercicio 2

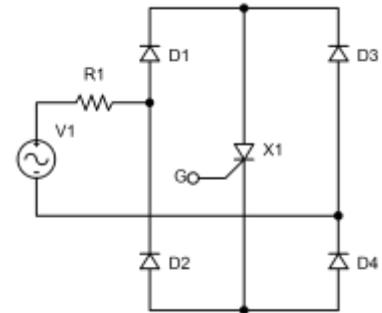
(3 puntos, 40 minutos)

El convertidor CA/CA de la figura se alimenta con una tensión de 12 V a 50 Hz. Se pide:

1. Dibujar las formas de onda de $u_{SCR}, u_{D1}, u_{\text{carga}}, i_{D1}$ e i_{carga} durante al menos 20 ms para $\alpha = \pi/4$. Indíquense los valores más significativos.
2. Calcular la tensión eficaz sobre la carga en función del ángulo de disparo α .
3. Si el ancho del impulso de puerta es de $\pi/6$ rad, calcular el valor máximo de R_1 para que tiristor se dispare correctamente para cualquier ángulo de disparo α .
4. Calcular la potencia media máxima que puede llegar a disipar el tiristor, $P_{d \text{ máx}}$.

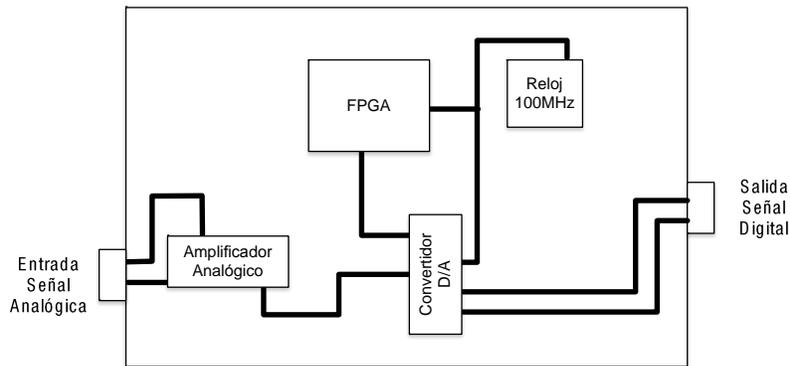
Datos: $R_1 = 11 \Omega, I_H = 5 \text{ mA}, I_L = 8 \text{ mA}, V_{\gamma \text{ SCR}} = 1,02 \text{ V}, r_{d \text{ SCR}} = 9,74 \text{ m}\Omega$

NOTA: considere los diodos ideales en todos los apartados y el tiristor ideal salvo en los apartados 3 y 4.



Teoría**(2 puntos, 20 minutos)**

1. Especificaciones reales de un A.O. Describir qué son y cómo se corrigen el “voltaje de offset de entrada”, “las corrientes de offset” y “las corrientes de polarización” (0,75 puntos)
2. Explicar de forma detallada las tres formas más habituales de conectar los distintos subsistemas de un equipo a masa. (0,75 puntos)
3. El circuito de la figura presenta un circuito diseñado para digitalizar una señal analógica. Las pistas de masa y alimentación se han eliminado (están en otras capas de la PCB), de manera que sólo se muestran las pistas de señal (0,5 puntos). Se pide:
 - a. Identificar fuentes potenciales de emisiones electromagnéticas
 - b. Identificar 2 posibles mejoras que se podrían realizar en el diseño del circuito de cara a mejorar su compatibilidad electromagnética.

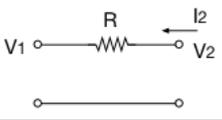
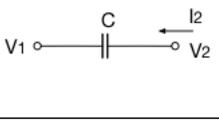
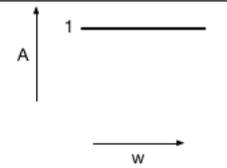
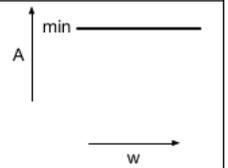
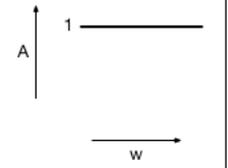
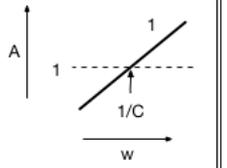
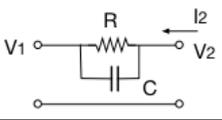
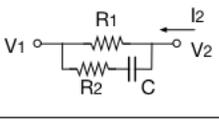
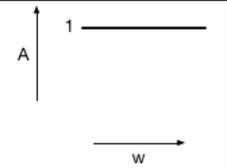
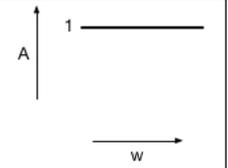
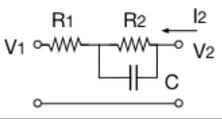
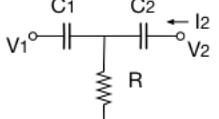
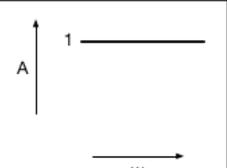
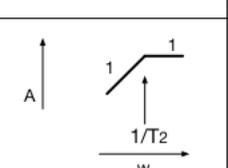
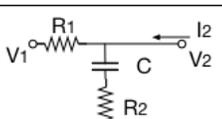
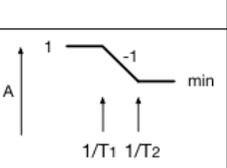
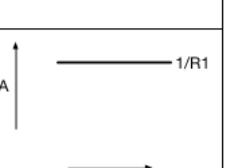
**Ejercicio 3****(2 puntos, 20 minutos)**

Diseñar un circuito que implemente la función de transferencia dada mediante un amplificador operacional, el cuadripolo número 7 y otros cuadripolos de las tablas del anexo. Es imprescindible dar valores numéricos razonables a los componentes. Indicar de qué tipo de circuito de trata.

$$F(s) = K \cdot \frac{1}{1 + T \cdot s}$$

Datos: $k = 2$, $T = 2 \text{ us}$.

Anexo 1: Tablas de cuadripolos pasivos

| | | | | | |
|---|--|--|---|---|--|
| <p>Cuadripolo 1</p>  | A | Y | <p>Cuadripolo 2</p>  | A | Y |
| <p>1</p> <p>$-\frac{1}{R}$</p> | 1 | $-\frac{1}{R}$ | 1 | 1 | $-sC$ |
| <p>$min = \frac{1}{R}$</p>  |  |  |  | | |
| <p>Cuadripolo 5</p>  | A | Y | <p>Cuadripolo 7</p>  | A | Y |
| <p>1</p> <p>$-\frac{1+s \cdot T}{R}$</p> | 1 <p>$-\frac{1+s \cdot T_1}{R1(1+s \cdot T_2)}$</p> | <p>$T = RC$</p> <p>$min = \frac{1}{R}$</p>  | <p>$T1 = (R1 + R2)C$</p> <p>$T2 = R2C$</p> <p>$max = \frac{1}{R1} + \frac{1}{R2}$</p> <p>$min = \frac{1}{R1}$</p>  | | |
| <p>Cuadripolo 9</p>  | A | Y | <p>Cuadripolo 12</p>  | A | Y |
| <p>1</p> <p>$\frac{-(1+s \cdot T_2)}{(R1 + R2)(1+s \cdot T_1)}$</p> | <p>$\frac{s \cdot T_2}{1+s \cdot T_2}$</p> <p>$\frac{-s^2 R C_1 C_2}{1+s \cdot T_1}$</p> | <p>$T1 = \frac{R1R2C}{R1 + R2}$</p> <p>$T2 = R2C$</p> <p>$min = \frac{1}{R1 + R2}$</p> <p>$max = \frac{1}{R1}$</p>  | <p>$T1 = R(C1 + C2)$</p> <p>$T2 = RC1$</p>  | | |
| <p>Cuadripolo 15</p>  | A | Y | <p>$\frac{1+s \cdot T_2}{1+s \cdot T_1}$</p> <p>$-\frac{1}{R1}$</p> | <p>$T1 = (R1 + R2)C$</p> <p>$T2 = R2C$</p> <p>$min = \frac{R2}{R1 + R2}$</p>  | <p>$1/R1$</p>  |

A= Ganancia de tensión en circuito abierto; Y= Admitancia de transferencia en cortocircuito

Normas de examen

- El alumno debe dejar bien visible sobre la mesa una identificación válida (carné de la escuela, DNI...).
- No se pueden usar libros ni apuntes y, por tanto, una vez empezado el examen, no deben quedar a la vista.
- Se pueden usar calculadora y material de dibujo. No está permitido compartir las herramientas de cálculo.
- Los ejercicios han de realizarse en orden y se recogerán al finalizar el tiempo asignado a cada uno de ellos.
- No se admitirán soluciones hechas a lápiz. La tinta roja sólo podrá usarse para las gráficas.

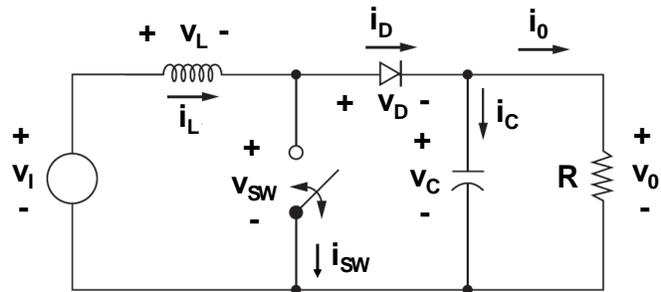
Ejercicio 1

(4 puntos, 40 minutos)

En el convertidor CC/CC de la figura, el interruptor *SW* y el diodo son ideales, y la capacidad del condensador es lo suficientemente grande para considerar que el rizado de la tensión de salida, V_o , es despreciable.

El convertidor se diseña para trabajar en modo de conducción continuo (MCC) y obtener una tensión de salida $V_o = 60\text{ V}$ a partir de una tensión de entrada constante $V_I = 12\text{ V}$.

Se pide determinar, razonando y demostrando sus respuestas:



1. Los circuitos equivalentes por los que pasa el convertidor durante un ciclo de conmutación.
2. La función de transferencia del convertidor (V_o / V_I) en función del ciclo de trabajo, *D*, y el valor de este último para las condiciones de trabajo del enunciado.
3. El valor de la inductancia de la bobina, *L*, para obtener un rizado de corriente pico a pico a través de ella de $\Delta i_L = 2\text{ A}$.
4. Las formas de onda de la corriente y la tensión, en régimen permanente durante un ciclo de conmutación, en la bobina, el interruptor, el diodo y el condensador.

Datos: $V_I = 12\text{ V}$; $V_o = 60\text{ V}$; $R = 100\ \Omega$; $f_s = 100\text{ kHz}$

Ejercicio 2

(2 puntos, 40 minutos)

En el circuito inversor de la figura 1 los transistores IGBT y los diodos son ideales. La conmutación de los transistores se realiza con un control por desplazamiento de fase obteniéndose la tensión $v_o(t)$ representada en la figura 2.

Se pide, justificando sus respuestas y las aproximaciones que considere oportunas:

1. Calcular el valor de eficaz de $v_o(t)$.
2. Representar gráficamente las señales de control de los transistores Q_1, Q_2, Q_3 y Q_4 durante un periodo.

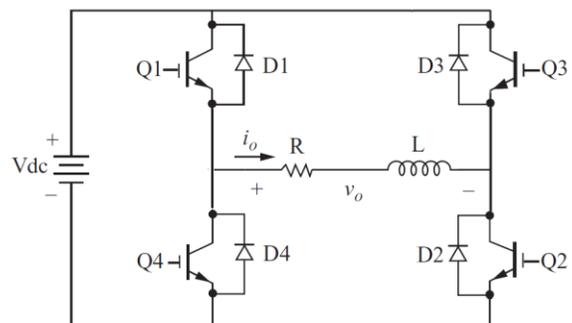


Figura 1

Calcular y representar gráficamente la forma de onda de la corriente $i_o(t)$ durante un periodo para los siguientes casos:

3. $R = 10\ \Omega$ y $L = 10\ \mu\text{H}$.
4. $R = 0,1\ \Omega$ y $L = 100\ \mu\text{H}$.

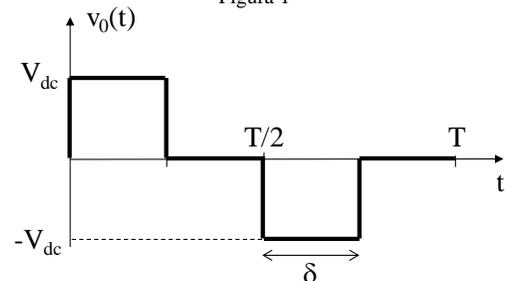


Figura 2

Datos: $T = 100\ \mu\text{s}$; $\delta = 25\ \mu\text{s}$; $V_{dc} = 100\text{ V}$

NOMBRE Y APELLIDOS: _____

Ejercicio 3

(1 punto, 10 minutos)

Cada pregunta suma 0.1 y resta 0.05

1. El ruido que tiene una densidad espectral de ruido constante se llama
 - a. Ruido Blanco
 - b. Ruido Rosa
 - c. Ruido Amarillo
2. Las interferencias electromagnéticas se consideran
 - a. Ruido intrínseco
 - b. Ruido externo
 - c. Ruido Schott
3. El ruido originado por la agitación de los electrones se llama:
 - a. Johnson
 - b. Shot
 - c. Flicker
4. De los siguientes, el ruido que no es blanco es:
 - a. Johnson
 - b. Shot
 - c. Flicker
5. La variación del ruido térmico con el aumento de la temperatura es:
 - a. Nula
 - b. Ascendente
 - c. Descendente
6. La derivada de la función de distribución es:
 - a. La función densidad espectral de potencia de ruido
 - b. La función densidad de probabilidad
 - c. No tiene derivada
7. La técnica de cancelación de ruido “Autocero” se basa en:
 - a. Muestrear la señal de y el ruido de forma alterna y restar a la señal el ruido
 - b. Utilizar un potenciómetro para anular la señal de ruido
 - c. Ninguna de las anteriores
8. La técnica de cancelación de ruido “Ping-Pong” sirve para mejorar la de:
 - a. Autocero
 - b. Chopper
 - c. Estabilización de voltaje
9. La técnica de cancelación de ruido “Chopper” se basa en:
 - a. Muestrear la señal de y el ruido de forma alterna y restar a la señal el ruido
 - b. Modular y demodular la señal de entrada, y modular el ruido, para llevar el ruido a frecuencias altas y poder filtrarlo.
 - c. Recortar la señal de entrada mediante una señal de amplitud similar al ruido esperado para poder mejorar la SNR.
10. Un amplificador Lock-In:
 - a. Puede trabajar con anchos de banda muy pequeños
 - b. Se basa en la ortogonalidad de las funciones sinusoidales
 - c. Las dos son verdaderas

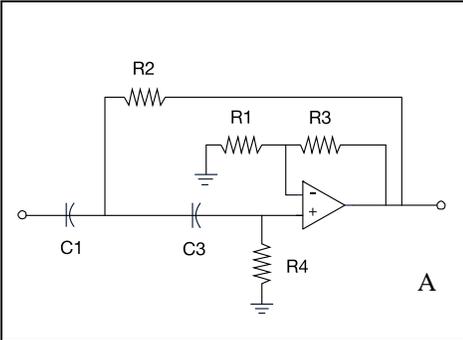
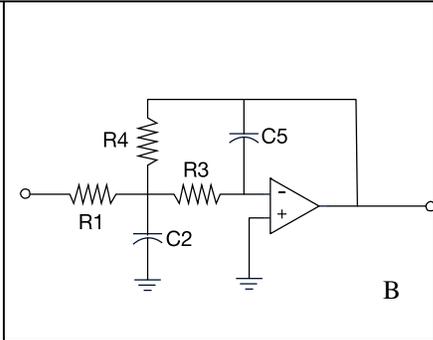
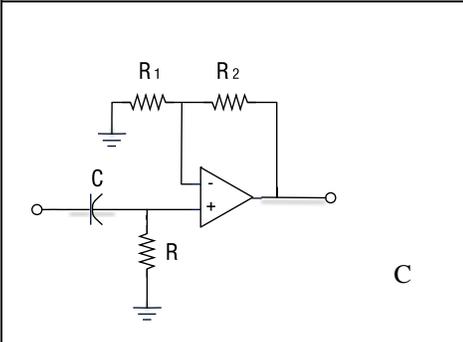
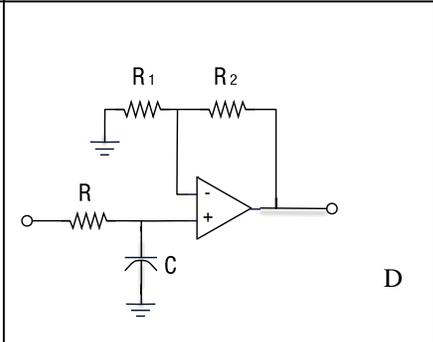
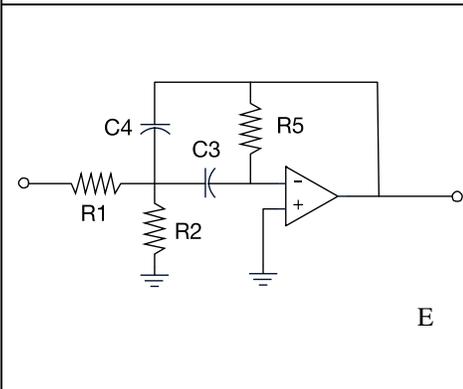
Ejercicio 4

(3 puntos, 30 minutos)

Un patrón de frecuencia preciso y barato es la tensión senoidal de 50 Hz de la red. De hecho, muchos relojes radio despertadores la utilizan como base de tiempos para contabilizar el paso del tiempo. En uno de estos diseños se pretende minimizar el efecto de las interferencias presentes en la red dejando pasar únicamente la componente fundamental de la tensión de red. Para ello se pretende utilizar un filtro con un ancho de banda de 1 Hz, y que atenúe más de 20 dB las frecuencias por debajo de 45,25 Hz y por encima de 55,25 Hz. Se pide:

1. Plantilla del filtro: diagrama de Bode, identificando los puntos característicos del filtro.
2. Selectividad, tipo, orden y etapas (si las hubiera) del filtro.
3. Función de transferencia de filtro.
4. Implementación del circuito utilizando alguno de los modelos proporcionados (dando valores numéricos a todos los componentes).
5. Añadir al circuito las modificaciones necesarias para obtener una ganancia de 0 dB en la banda pasante.

Datos:

| | | | |
|---|--|---|--|
|  <p style="text-align: right;">A</p> | $R_1 = R_3$ $\omega = \frac{1}{C\sqrt{R_2R_4}}$ $Q = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{R_4}{R_2}}$ $A_v = -1$ |  <p style="text-align: right;">B</p> | $R_1 = R_3 = R_4$ $\omega = \frac{1}{R\sqrt{C_2C_5}}$ $Q = \frac{1}{3}\sqrt{\frac{C_2}{C_5}}$ $A_v = -1$ |
|  <p style="text-align: right;">C</p> | $A_v = 1 + \frac{R_2}{R_1}$ $\omega_c = \frac{1}{RC}$ |  <p style="text-align: right;">D</p> | $A_v = 1 + \frac{R_2}{R_1}$ $\omega_c = \frac{1}{RC}$ |
|  <p style="text-align: right;">E</p> | $R_1 = R_5 = R$ $C_3 = C_4 = C$ $\omega_0 = \frac{1}{RC}\sqrt{1 + \frac{R}{R_2}}$ $Q = \frac{1}{2}\sqrt{1 + \frac{R}{R_2}}$ $A_0 = -\frac{1}{2}$ | | |

$$D = \frac{10^{0,1 \times A_{\min} - 1}}{10^{0,1 \times A_{\max} - 1}}$$

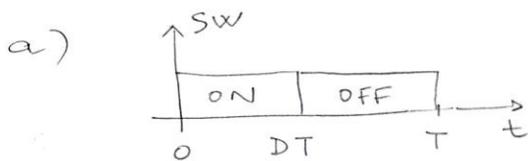
$$n_{\text{Butterworth}} \geq \frac{\log D}{2 \log \frac{1}{k}}$$

$$n_{\text{TChebyshev}} \geq \frac{\text{acosh} \sqrt{D}}{\text{acosh} \frac{1}{k}}$$

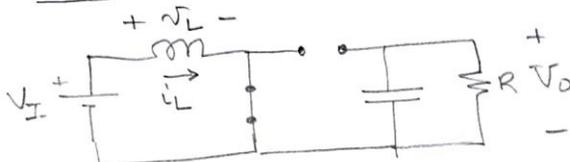
| Butterworth | | Tchebyshev 1 dB | | | |
|-------------|------------------|-----------------|---------|------------------------------------|------------|
| Orden | D(s) | Orden | N | D(s) | ω_c |
| 1 | $s+1$ | 1 | 1,96523 | $s+1,96523$ | 1 |
| 2 | $s^2+1,41421s+1$ | 2 | 0,98251 | $s^2+1,09773s+1.10251$ | 1,127 |
| 3 | $(s+1)(s^2+s+1)$ | 3 | 0,4913 | $(s+0,49417)(s^2+0,49417s+0,9942)$ | 1,094 |

Ejercicio 1

(3 puntos, 30 minutos)

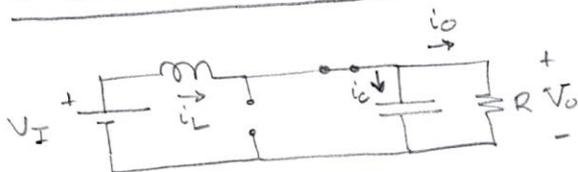


INTERVALO $0 \leq t \leq DT$: SW ON, DIODO OFF



$$\begin{aligned} i_{sw} &= i_L & v_L &= v_I \\ i_D &= 0 & v_D &= -V_0 < 0 \\ i_C &= -i_o & v_{sw} &= 0 \end{aligned}$$

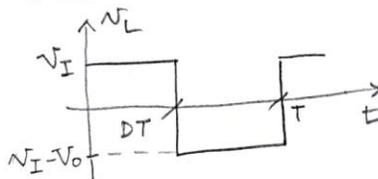
INTERVALO $DT \leq t \leq T$: SW OFF, DIODO ON



$$\begin{aligned} i_{sw} &= 0 & v_L &= v_I - V_0 < 0 \\ i_D &= i_L = i_C + i_o & v_D &= 0 \\ & & v_{sw} &= V_0 \end{aligned}$$

b) LA TENSION EN LA BOBINA VALE

$$v_L = \begin{cases} v_I & 0 \leq t \leq DT \\ v_I - V_0 & DT \leq t \leq T \end{cases}$$



En R.P. : $\bar{v}_L = 0 \Rightarrow v_I \cdot DT + (v_I - V_0)(1-D)T = 0$

DE DONDE =

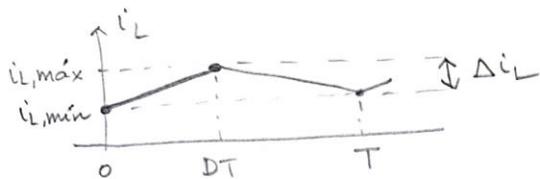
$$V_0 = \frac{1}{1-D} \cdot v_I$$

Para $V_0 = 60V$ y $v_I = 12V$
se obtiene $D = 0,8$

c) LA CORRIENTE EN LA BOBINA ESTÁ DADA POR

$$0 \leq t \leq DT : \quad v_L = L \frac{di_L}{dt} \Rightarrow \frac{di_L}{dt} = \frac{v_L}{L} = \frac{V_I}{L}$$

$$DT \leq t \leq T : \quad \frac{di_L}{dt} = \frac{(V_I - V_0)}{L}$$



$$T = \frac{1}{10^5} = 10^{-5} \text{ s} = 10 \mu\text{s}$$

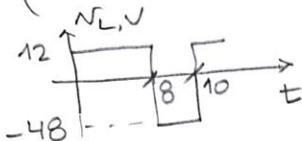
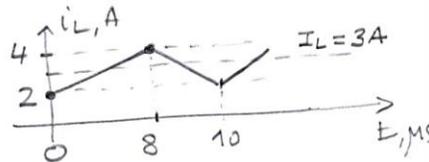
$$\frac{\Delta i_L}{DT} = \frac{V_I}{L} \Rightarrow \boxed{L = \frac{V_I \cdot D \cdot T}{\Delta i_L} = \frac{12 \cdot 0,8 \cdot 10^{-5}}{2} = 48 \mu\text{H}}$$

d) BOBINA

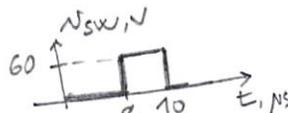
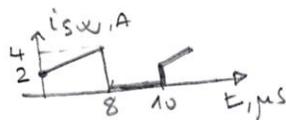
COMPONENTES IDEALES $\Rightarrow V_I \cdot I_L = V_0 \cdot I_0 = \frac{V_0^2}{R}$

$$\Rightarrow I_L = \frac{(60^2)}{12} = 3 \text{ A}$$

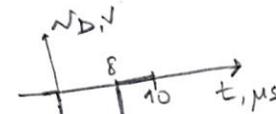
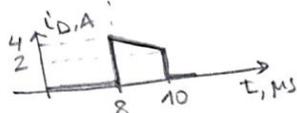
$$\begin{cases} i_{L,\text{máx}} = I_L + \frac{\Delta i_L}{2} = 4 \text{ A} \\ i_{L,\text{mín}} = I_L - \frac{\Delta i_L}{2} = 2 \text{ A} \end{cases}$$



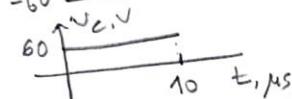
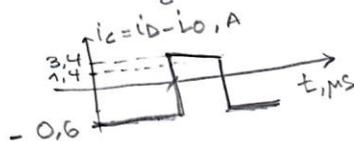
INTERRUPTOR :



DIODO :



CONDENSADOR :

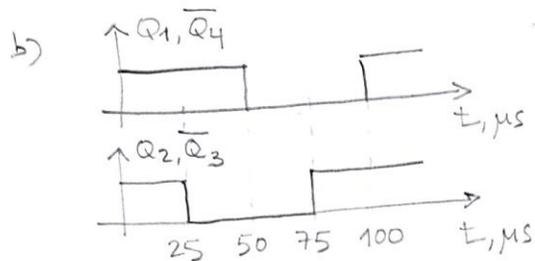


Ejercicio 2

(3 puntos, 30 minutos)

$$a) \quad V_{0,rms}^2 = \frac{1}{T} \int_0^T v_0^2 dt = \frac{2}{100} \int_0^{25} 100^2 dt = 5000 \text{ V}^2$$

$$\Rightarrow \boxed{V_{0,rms} = 70,71 \text{ V}}$$



$$c) \quad \tau = \frac{L}{R} = 1 \mu\text{s} \ll \delta = 25 \mu\text{s}$$

LAS EXPONENCIALES ALCANZAN SU VALOR FINAL EN CADA SUBINTERVALO

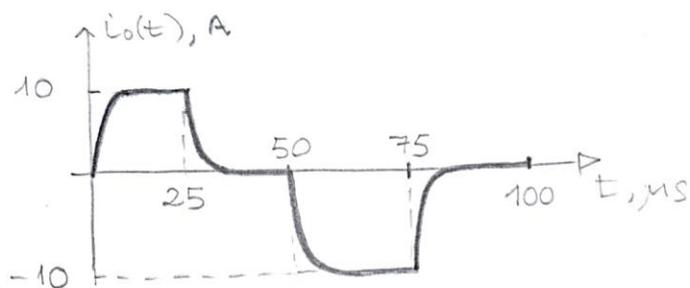
$$i_{0,final} = \frac{V_{dc}}{R} = \frac{100}{10} = 10 \text{ A}$$

$$0 < t < 25 \mu\text{s} \quad i_0(t) = 10(1 - e^{-t/\tau})$$

$$25 < t < 50 \mu\text{s} \quad i_0(t) = 10 e^{-(t-25)/\tau}$$

$$50 < t < 75 \mu\text{s} \quad i_0(t) = -10(1 - e^{-(t-50)/\tau})$$

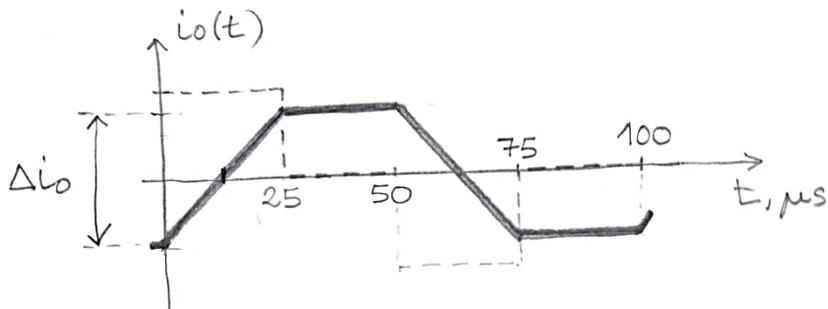
$$75 < t < 100 \mu\text{s} \quad i_0(t) = -10 e^{-(t-75)/\tau}$$



$$d) \tau = \frac{L}{R} = 1000 \mu\text{s} \Rightarrow \delta = 25 \mu\text{s}$$

LA CARGA ES MUY INDUCTIVA Y LAS EXPONENCIALES PUEDEN APROXIMARSE POR TRAMOS RECTOS

EN R.P. : $\bar{i}_o = 0$, POR LO QUE :



$$\frac{\Delta i_o}{\Delta t} = \frac{V_{dc}}{L}$$

$$\Rightarrow \Delta i_o = \frac{100 \cdot 25 \cdot 10^{-6}}{100 \cdot 10^{-6}} = 25 \text{ A}$$

Ejercicio 4

(3 puntos, 30 minutos)

1. Dado que únicamente nos interesa una frecuencia emplearemos un filtro pasabanda de banda estrecha sintonizado a $f_0 = 50$ Hz. La plantilla del filtro será:

$$\left. \begin{aligned} f_0 = \sqrt{f_2 f_3} = \sqrt{f_1 f_4} \\ f_3 - f_2 = BW \end{aligned} \right\} \Rightarrow f_0^2 = f_2(f_2 + BW) \Rightarrow f_2^2 + BW f_2 - f_0^2 = 0 \Rightarrow \left. \begin{aligned} f_1 &= 45,25 \text{ Hz} \\ f_2 &= 49,50 \text{ Hz} \\ f_3 &= 50,50 \text{ Hz} \\ f_4 &= 55,25 \text{ Hz} \end{aligned} \right\}$$

2. La selectividad, k , y el factor de calidad del filtro, Q , son:

$$k = \frac{f_3 - f_2}{f_4 - f_1} = \frac{BW}{f_4 - f_1} = \frac{1 \text{ Hz}}{55,25 \text{ Hz} - 45,25 \text{ Hz}} = 0,1$$

$$Q = \frac{f_0}{BW} = 50$$

Como no nos dan otra indicación para seleccionar la familia más apropiada, emplearemos la que sea más simple (filtro de menor orden). Probamos primero con Butterworth:

$$D_B = \frac{10^{0,1 \times 20 \text{ dB}} - 1}{10^{0,1 \times 3 \text{ dB}} - 1} = 99,471$$

$$n_B \geq \frac{\log D_B}{2 \log \frac{1}{k}} = 0,999 \Rightarrow n_B = 1$$

Y después con TChebyshev con rizado de 1 dB:

$$D_{T1dB} = \frac{10^{0,1 \times 20 \text{ dB}} - 1}{10^{0,1 \times 1 \text{ dB}} - 1} = 382,349$$

$$n_{T1dB} \geq \frac{\text{acosh} \sqrt{D_{T1dB}}}{\text{acosh} \frac{1}{k}} = 1,225 \Rightarrow n_{T1dB} = 2$$

Por coste y simplicidad elegimos Butterworth de orden 1.

3. Para hallar la función de transferencia de filtro empezamos por el filtro pasabajo equivalente:

$$F_{PB\text{eq}}(s_n') = \frac{1}{s_n' + 1}$$

Después hacemos el cambio de variable para transformarlo en pasabanda:

$$s_n' = Q \left(s_n + \frac{1}{s_n} \right) \Rightarrow F_{PBND}(s_n) = \frac{Q s_n}{s_n^2 + \frac{1}{Q} s_n + 1}$$

Y, finalmente, desnormalizamos la frecuencia:

$$s_n = \frac{s}{\omega_0} \Rightarrow F_{PBND}(s) = \frac{Q \frac{s}{\omega_0}}{\left(\frac{s}{\omega_0} \right)^2 + \frac{1}{Q} \frac{s}{\omega_0} + 1}$$

4. De las células propuestas en la tabla, elegiremos la E (una célula de Rauch) por ser la única que implementa un filtro pasabanda. La función de transferencia de dicho circuito es:

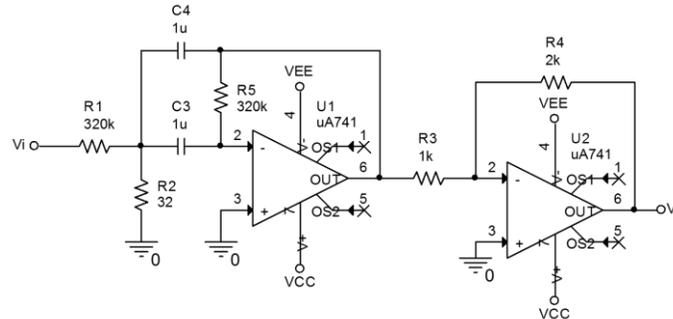
$$F(s) = - \frac{\frac{1}{Q'} \frac{s}{\omega_0'}}{\left(\frac{s}{\omega_0'} \right)^2 + \frac{1}{Q'} \frac{s}{\omega_0'} + 1}$$

Para que ambas funciones de transferencia presenten la misma respuesta dinámica, igualamos los coeficientes de los denominadores. En este caso la correspondencia es directa (no siempre lo es):

$$\left. \begin{aligned} Q = Q' = \frac{1}{2} \sqrt{1 + \frac{R}{R_2}} = 50 \\ \omega_0 = \omega'_0 = \frac{1}{RC} \sqrt{1 + \frac{R}{R_2}} = 100\pi \text{ rad/s} \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \xrightarrow{2 \text{ ec.}} \\ \xrightarrow{3 \text{ incg.}} \end{array} \left. \begin{array}{l} C = 1 \mu\text{F} \\ R = 318,31 \text{ k}\Omega \approx 320 \text{ k}\Omega \\ R_2 = 31,834 \Omega \approx 32 \Omega \end{array} \right\}$$

Como tenemos un grado de libertad hemos fijado $C = 1 \mu\text{F}$. Dado que obtenemos unos valores razonables de resistencias no es necesario probar con otros valores de C .

5. La célula elegida tiene una ganancia en tensión en la frecuencia de sintonía $|A_v| = 0,5 \text{ V/V}$. Para que la ganancia a esta frecuencia sea de 1 V/V (0 dB), debemos añadir una etapa amplificadora con una ganancia de 2 V/V :



En este caso se ha elegido un A.O. en configuración inversora para que la salida esté en fase con la entrada, pero igualmente se podría haber usado uno en configuración no inversora (en el enunciado no se impone dicha condición).