

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.

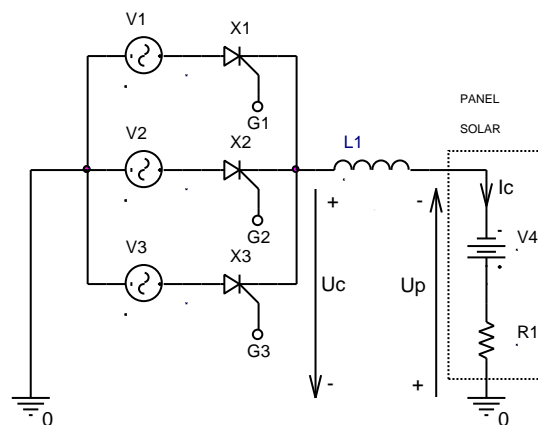
Teoría**(2 puntos)**

1. Explicar de forma detallada la respuesta en frecuencia del amplificador operacional y sus limitaciones.
2. Explicar de forma detallada las tres formas más habituales de conectar los distintos subsistemas de un equipo a masa.

Ejercicio 1**(3 puntos)**

El rectificador de la figura se emplea como inversor no autónomo para inyectar en la red la energía generada por un panel solar, modelado por su equivalente Thevenin. La tensión de fase es de 48 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 $\alpha = 2\pi/3$ rad.
2. Deduzca 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: $L_1 \rightarrow \infty$, $R_1 = 100 \text{ m}\Omega$, $V_4 = 28,4 \text{ V}$, $I_{\text{max}} = 8,3 \text{ A}$

NOTA: considere los semiconductores ideales.

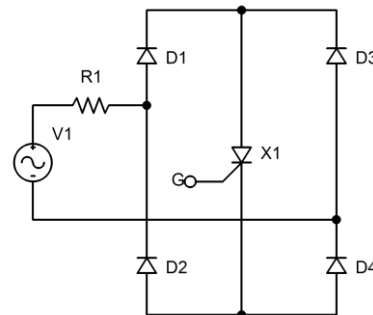
Ejercicio 2**(3 puntos)**

El convertidor CA/CA de la figura se alimenta con una tensión de 220 V a 50 Hz. Se pide:

1. Dibujar las formas de onda de u_{SCR} , u_{D1} , u_{carga} , i_{D1} e i_{carga} durante al menos 20 ms para $\alpha = \pi/2$. Indíquense los valores más significativos.
2. Calcular la tensión eficaz sobre la carga en función del ángulo de disparo α .
3. Calcular el ángulo de disparo α para suministrar el 75% de la potencia máxima que puede entregar el convertidor.
4. Calcular la potencia media máxima que puede llegar a disipar el tiristor, $P_{d \text{ máx}}$.

Datos: $R_1 = 11 \Omega$, $V_\gamma = 1,02 \text{ V}$, $r_d = 9,74 \text{ m}\Omega$

NOTA: considere los semiconductores ideales salvo en el apartado 4.

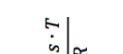

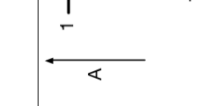
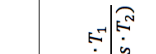
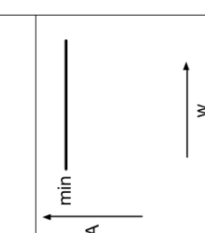



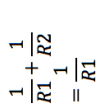
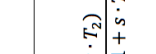
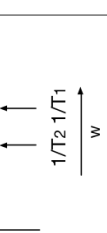


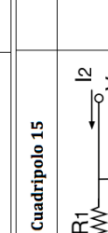
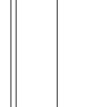
**Ejercicio 3****(2 puntos)**

Diseñar un circuito que implemente una red de retraso mediante un amplificador operacional en modo inversor y uno o varios cuádruplos de las tablas del anexo. Es imprescindible dar valores numéricos a los componentes.

$$F(s) = K \cdot \frac{1 + T_1 \cdot s}{1 + T_2 \cdot s}$$

Datos: $k = 5$, $T_1 = 1,2 \text{ ns}$, $T_2 = 2 \text{ ns}$.

Anexo 1 – Tablas de cuadripolos

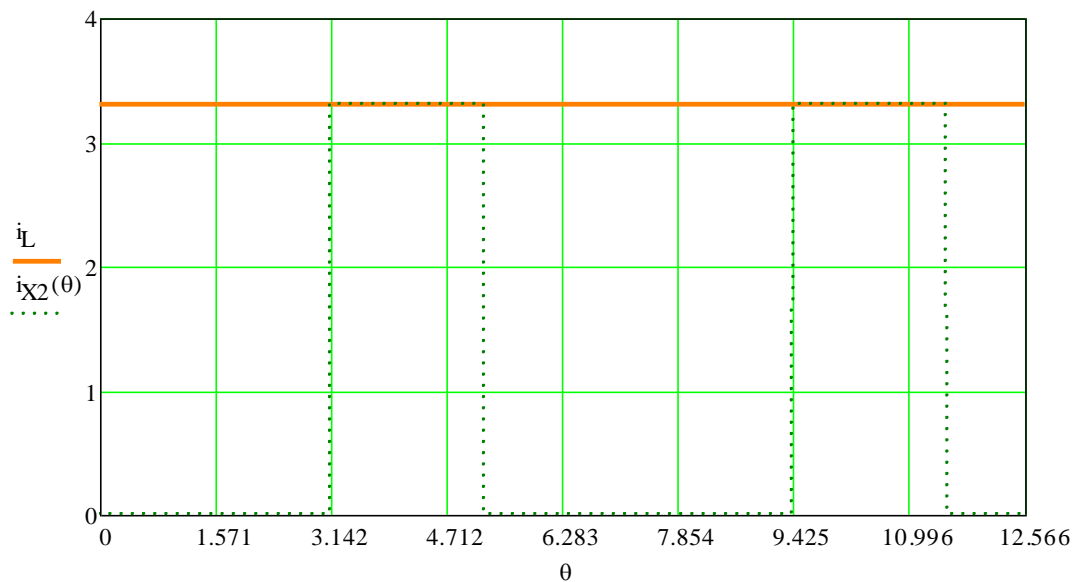
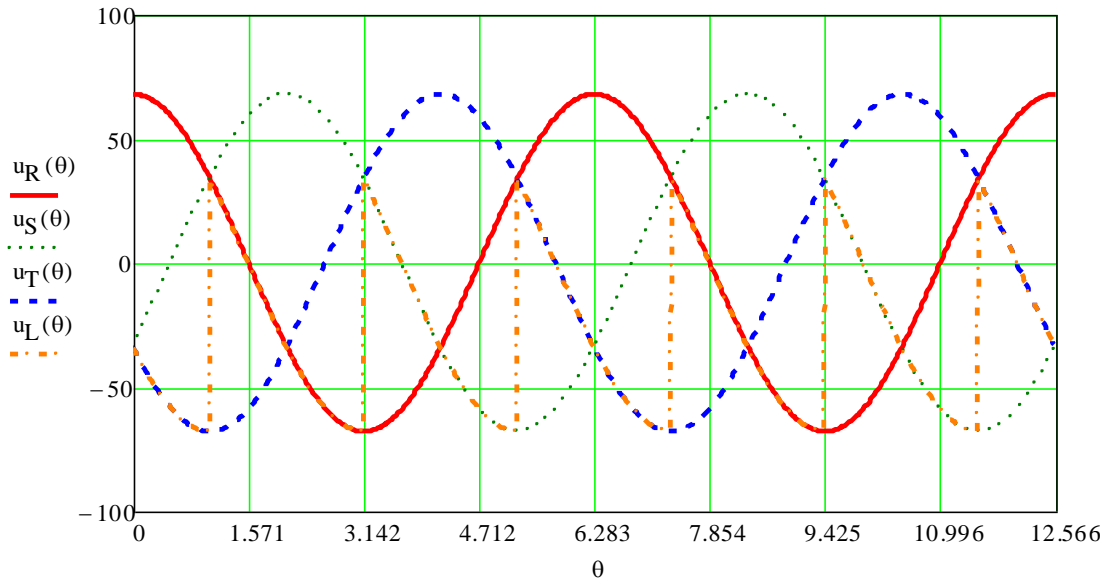
<p>Cuadripolo 5</p> 	<p>1</p>	<p>Z</p> <p>$-\frac{1+s \cdot T}{R}$</p>
<p>$T = RC$ $\min = \frac{1}{R}$</p>		
<p>Cuadripolo 7</p> 	<p>1</p>	<p>Z</p> <p>$\frac{1+s \cdot T_1}{R1(1+s \cdot T_2)}$</p>
<p>$T1 = (R1 + R2)C$ $T2 = R2C$ $\max = \frac{1}{R1} + \frac{1}{R2}$ $\min = \frac{1}{R1}$</p>		
<p>Cuadripolo 1</p> 	<p>1</p>	<p>Z</p> <p>$-\frac{1}{R}$</p>
<p>$\min = \frac{1}{R}$</p>		
<p>Cuadripolo 9</p> 	<p>1</p>	<p>Z</p> <p>$\frac{-(1+s \cdot T_2)}{(R1 + R2)(1+s \cdot T_1)}$</p>
<p>$T1 = \frac{R1R2C}{R2 + R2}$ $T2 = R2C$ $\min = \frac{1}{R1 + R2}$ $\max = \frac{1}{R1}$</p>		
<p>Cuadripolo 15</p> 	<p>$\frac{1+s \cdot T_2}{1+s \cdot T_1}$</p>	<p>Z</p> <p>$-\frac{1}{R1}$</p>
<p>$T1 = (R1 + R2)C$ $T2 = R2C$ $\min = \frac{R2}{R1 + R2}$</p>		

Ejercicio 1

(3 puntos)

1. FF.OO. de $v_1, v_2, v_3, u_c, i_{X2}$ e i_c para un ángulo de disparo $\alpha = 2\pi/3$ rad:

El carácter inductivo de la carga obliga a los tiristores seguir conduciendo más allá del paso por cero de la tensión de fase hasta que se dispara el siguiente.



2. Valor medio de la tensión a la salida de los tiristores, \bar{U}_c , en función del ángulo de disparo α :

$$\bar{U}_c = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} u_c(\theta) d\theta = \frac{n_F}{2\pi} \int_{-\frac{\pi}{n_F} + \alpha}^{\frac{\pi}{n_F} + \alpha} \hat{U}_c \cos \theta d\theta = \frac{n_F}{2\pi} \hat{U}_c [\sin \theta]_{-\frac{\pi}{n_F} + \alpha}^{\frac{\pi}{n_F} + \alpha} = \hat{U}_F \frac{n_F}{\pi} \sin \frac{\pi}{n_F} \sin \alpha$$

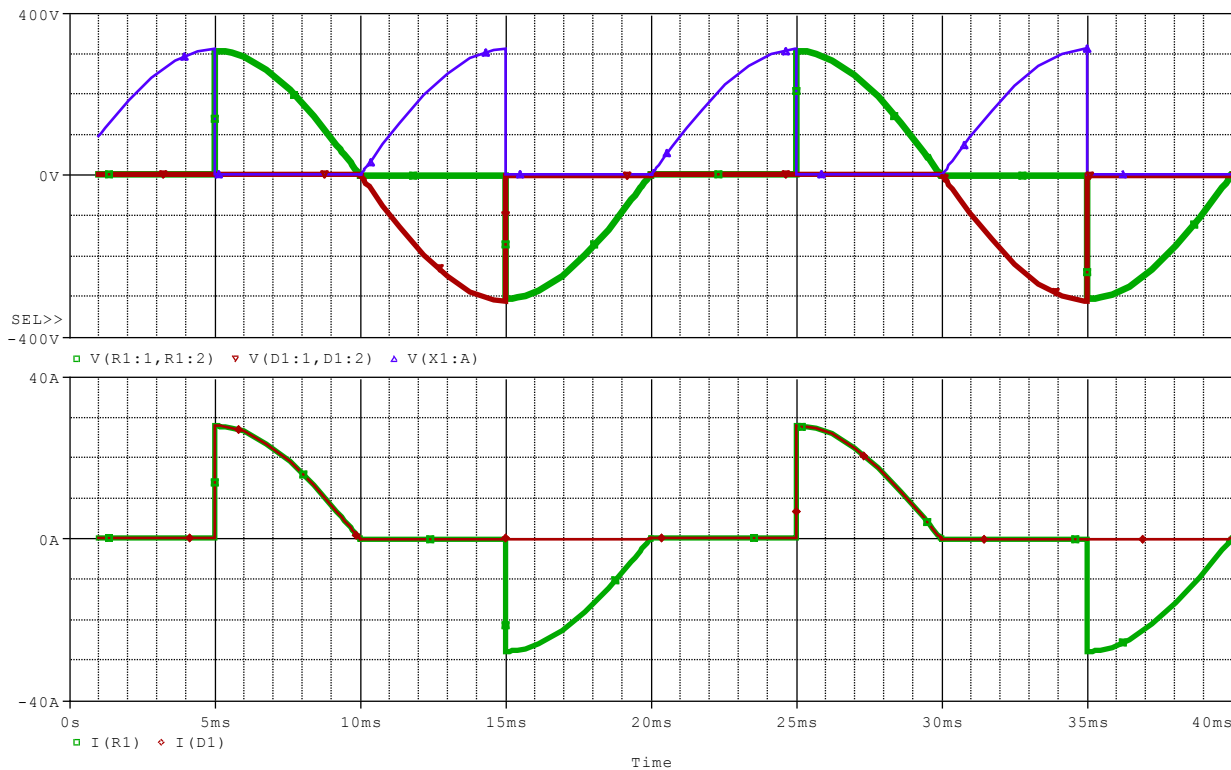
3. Rango de valores de α dentro del que debe trabajar el circuito para que se inyecte energía en la red y no se superen los límites máximos del panel:

$$\left. \begin{aligned} i_c(\alpha) &= \frac{V_4 + \bar{U}_c(\alpha)}{R_1} \\ 0 &= \frac{V_4 + \bar{U}_c(\alpha_{max})}{R_1} \\ I_{cmax} &= \frac{V_4 + \bar{U}_c(\alpha_{min})}{R_1} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \left. \begin{aligned} \bar{U}_c(\alpha_{max}) &= -V_4 = -28,4V \\ \bar{U}_c(\alpha_{min}) &= R_1 I_{cmax} - V_4 = 0,1\Omega \times 8,3A - 28,4V = -27,57V \end{aligned} \right\} \Rightarrow \left. \begin{aligned} \alpha_{max} &= 2,101 \text{ rad} \\ \alpha_{min} &= 2,084 \text{ rad} \end{aligned} \right\}$$

Ejercicio 2

(3 puntos)

1. FF.OO. u_{SCR} , u_{D1} , u_{carga} , i_{D1} e i_{carga} durante al menos 20 ms para $\alpha = \pi/2$. Indíquense los valores más significativos:



2. Tensión eficaz sobre la carga en función del ángulo de disparo α :

$$U_c = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} u_c^2(\theta) d\theta} = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} u_c^2(\theta) d\theta} = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \hat{U}_c^2 \sin^2 \theta d\theta}$$

$$U_c = \frac{\hat{U}_c}{\sqrt{2}} \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi}}$$

3. Ángulo de disparo α para suministrar el 75% de la potencia máxima:

$$\frac{P_c(\alpha)}{P_{cmax}} = \frac{U_c^2(\alpha)}{R_1} / \frac{\hat{U}_c^2}{2R_1} = 1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi} = 0,75$$

$$f(\alpha) = 0,25\pi - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2}$$

$$f'(\alpha) = \cos 2\alpha - 1$$

$$\alpha_{i+1} = \alpha_i - \frac{f(\alpha)}{f'(\alpha)}$$

α	$f(\alpha)$	$f'(\alpha)$
2 rad	-1.593	-1.654
1.037 rad	+0.187	-1.482
1.163 rad	-0.013	-1.685
1.155 rad	-4.511×10^{-5}	-1.674
1.155 rad		

4. Calcular la potencia media máxima que puede llegar a disipar el tiristor, $P_{d\text{máx}}$:

$$\bar{P}_d = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} u_{SCR}(\theta) i_{SCR}(\theta) d\theta = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} [V_T + r_d i_{SCR}(\theta)] i_{SCR}(\theta) d\theta$$

$$\bar{P}_d = V_T \left[\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} i_{SCR}(\theta) d\theta \right] + r_d \left[\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} i_{SCR}^2(\theta) d\theta \right] = V_T \bar{I}_{SCR} + r_d I_{SCR}^2$$

El peor caso se da para $\alpha = 0$, ya que el SCR conduce permanentemente y la corriente por la carga, que está en serie con el SCR, es máxima:

$$I_{SCR\text{ máx}} = I_{c\text{ máx}} = \frac{U_{c\text{ máx}}}{R_1} = \frac{U_1}{R_1}$$

$$\bar{I}_{SCR\text{ máx}} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} i_{SCR}(\theta) d\theta = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} i_{SCR}(\theta) d\theta = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} \frac{u_c(\theta)}{R_1} d\theta = \frac{1}{R_1 \pi} \int_0^{\pi} \hat{U}_1 \sin \theta d\theta = \frac{2\hat{U}_1}{R_1 \pi}$$

$$\bar{P}_{d\text{ máx}} = V_T \frac{2\hat{U}_1}{R_1 \pi} + r_d \left(\frac{U_1}{R_1} \right)^2 = 1,02\text{V} \times \frac{2 \times 220\sqrt{2}\text{V}}{11\Omega \times \pi} + 9,74\text{m}\Omega \times \left(\frac{220\text{V}}{11\Omega} \right)^2 = 22,262\text{W}$$

Ejercicio 3

(2 puntos)

Al ser una configuración inversora tenemos que:

$$\frac{V_s}{V_e} = -\frac{Y_1}{Y_2} = K \cdot \frac{1 + T_1 \cdot s}{1 + T_2 \cdot s}$$

Hay varias posibilidades para elegir los cuadripolos: el 7 y el 9, o el 5 dos veces. Elegimos esta última opción.

$$Y_1 = -\frac{1 + T_1 \cdot s}{R_1} ; T_1 = R_1 C_1$$

$$Y_2 = -\frac{1 + T_2 \cdot s}{R_2} ; T_2 = R_2 C_2$$

$$F(s) = \frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{1 + T_1 \cdot s}{1 + T_2 \cdot s}$$

$$K = \frac{R_2}{R_1} = 5$$

$R_1 = 1\text{ k}\Omega$, $R_2 = 5\text{ k}\Omega$

$$T_1 = R_1 C_1 = 1,2\text{ns}$$

Por lo tanto $C_1 = 1,2\text{ pF}$

$$T_2 = R_2 C_2 = 2\text{ns}$$

Por lo tanto $C_2 = 0,4\text{ pF}$