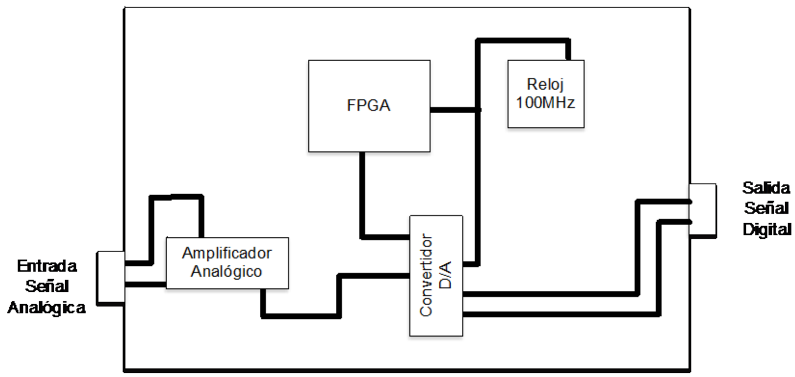
Normas de examen

- 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, 15 minutos)

1. El circuito de la figura presenta una 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. Identificar 2 posible mejoras que se podrían realizar en el diseño del circuito de cara a mejorar su compatibilidad electromagnética. (0,75 puntos)

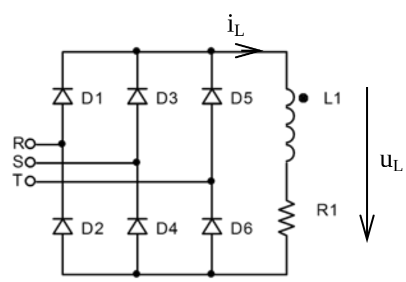


2. Supongamos que tenemos dos cables que circulan en paralelo, uno de ellos apantallado. Comentar el efecto que tiene poner a tierra un solo extremo del blindaje respecto a los acoplamientos capacitivos e inductivos que se pudieran dar. (0,5 puntos)

3. Indicar qué es la tensión de offset, qué efecto tiene en lazo abierto y en lazo cerrado, y cómo puede corregirse (citar dos formas). (0,75 punto)
4. En el circuito de la figura, ¿qué valor debe tomar la R para anular el efecto de la corriente de polarización?

Ejercicio 1 (3 puntos, 35 minutos)

El circuito de la figura alimenta una carga RL desde una red trifásica de 380 V. Se pide:

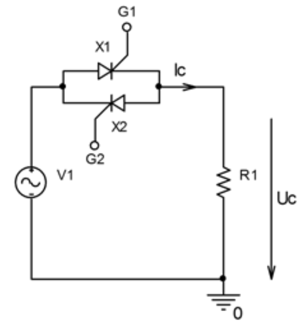


1. Dibujar, durante al menos 40 ms las formas de onda de la tensión sobre la carga, u_L, las corrientes por la carga, i_L, el diodo D1, i_{D1}, el diodo D2, i_{D2}, y la fase R, i_R. Indicar en todas las gráficas los valores más significativos.
2. Deducir las expresiones del valor medio de la tensión sobre la carga, $\overline{U}_L$ y de la corriente que la atraviesa, $\overline{I}_L$.
3. Hallar la tensión inversa máxima y la corriente máxima que deben soportar los diodos.
4. Calcular la potencia disipada en cada diodo.

Datos: $U_{red} = 380$ V, $f_{red} = 50$ Hz, $R_1 = 1$ kΩ, $L_1 \to \infty$, $V_F = 1,1$ V. Suponer todos los componentes ideales salvo para el apartado 4.

Ejercicio 2 (3 puntos, 35 minutos)

Para el circuito con carga resistiva de la figura adjunta:

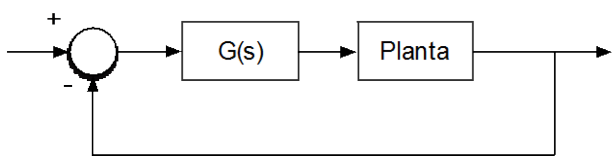


1. Dibuje las formas de onda de $\boldsymbol{u_c}$, $\boldsymbol{u_{X2}}$, $\boldsymbol{i_c}$ e $\boldsymbol{i_{X1}}$ durante al menos 40 ms para un ángulo de disparo $\boldsymbol{\alpha}$ = 3π/4 rad. Indique los valores numéricos más significativos.
2. Deduzca la expresión que da la tensión eficaz de salida sobre la carga en función del ángulo de disparo, $U_c = f(\alpha)$.
3. Deduzca la expresión de la corriente media por los tiristores en función del ángulo de disparo, $\bar{I}_X = f(\alpha)$.
4. Plantee por el método de Newton-Raphson el cálculo del ángulo de disparo que proporciona a la carga el 30% de la potencia máxima.

Datos: R_1 = 220 Ω; U_{red} = 220 V; f = 50 Hz

Ejercicio 3 (2 puntos, 35 minutos)

Un determinado sistema (planta) presenta problemas de inestabilidad a unas determinadas frecuencias de trabajo. Para solucionar ese problema hemos diseñado una red de compensación que tiene la siguiente función de transferencia G(s).

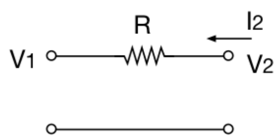
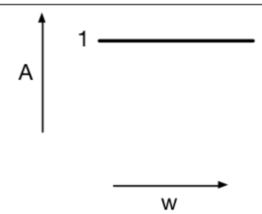
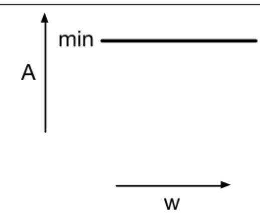


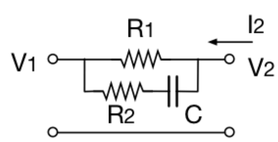
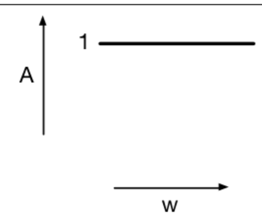
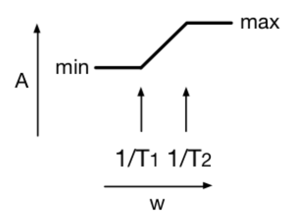
$$G(s) = 10 \cdot \frac{s+2}{s+12}$$

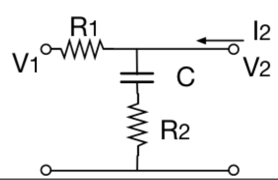
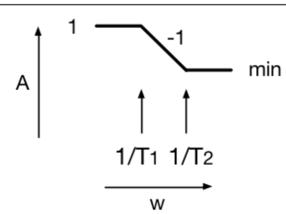
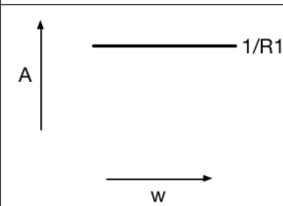
Se pide:

1. Indicar si el sistema G(s) es una red de adelanto o atraso. Razonar. (0,5 puntos)
2. Implementar el sistema G(s) mediante un circuito con un amplificador operacional (en modo inversor o no inversor) y uno o varios cuadripolos de las tablas del anexo 1. (1 punto)
3. Proponer valores numéricos razonables para los componentes (R,C) del circuito diseñado (0,5 puntos)

Anexo 1 – Tablas de cuadripolos

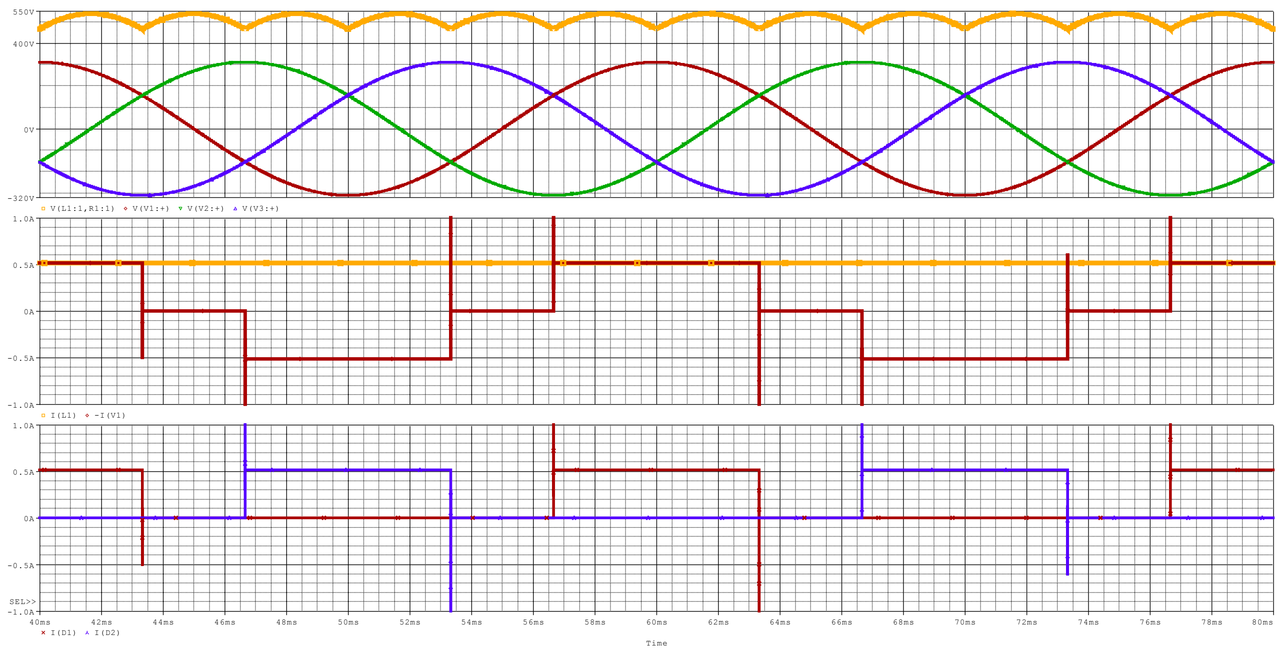
Cuadripolo 1	**A**	**Z**
	1	$-\frac{1}{R}$
$min = \frac{1}{R}$		

Cuadripolo 7	**A**	**Z**
	1	$\frac{1+s\cdot T_1}{R1(1+s\cdot T_2)}$
$T1 = (R1+R2)C$ $T2 = R2C$ $max = \frac{1}{R1}+\frac{1}{R2}$ $min = \frac{1}{R1}$		

Cuadripolo 15	**A**	**Z**
	$\frac{1+s\cdot T_2}{1+s\cdot T_1}$	$-\frac{1}{R1}$
$T1 = (R1+R2)C$ $T2 = R2C$ $min = \frac{R2}{R1+R2}$		

Ejercicio 1 (3 puntos, 35 minutos)

1. FF.OO. durante 40 ms de $\boldsymbol{u_L}$, $\boldsymbol{i_L}$, $\boldsymbol{i_{D1}}$, $\boldsymbol{i_{D2}}$, e $\boldsymbol{i_R}$:



2. Deducir las expresiones de $\overline{U}_L$ e $\overline{I}_L$:
Se trata de un rectificador no controlado de onda completa. El número de fases es impar. La tensión media sobre la carga será:

$$\overline{U}_L = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} u_L(\theta)\, d\theta = \frac{n_c}{2\pi}\int_{-\frac{\pi}{n_c}}^{\frac{\pi}{n_c}} \widehat{U}_L \cos(\theta)\ d\theta = \widehat{U}_L \frac{n_c}{\pi}\operatorname{sen}\frac{\pi}{n_c} = \widehat{U}_L \frac{2n_F}{\pi}\operatorname{sen}\frac{\pi}{2n_F}$$

Dado que no se especifica nada sobre la tensión de red, se entiende que es la tensión eficaz de línea. Para los cálculos se necesita la amplitud de la tensión de fase:

$$U_F = \frac{U_{LINE}}{2\operatorname{sen}\dfrac{\pi}{n_F}} = 220\ \mathrm{V} \ \Rightarrow\ \widehat{U}_F = U_F\sqrt{2} = 310\ \mathrm{V}$$

Dado que el número de fases es impar, la tensión de pico sobre la carga será:

$$\widehat{U}_L = 2\widehat{U}_F \operatorname{sen}\frac{\pi}{n_F} = 537\ \mathrm{V}$$

Para los valores del enunciado el valor numérico de la tensión media sobre la carga será:

$$\overline{U}_L = 513\ \mathrm{V}$$

La corriente media por la carga será:

$$\overline{I}_L = \frac{1}{T}\int_0^T i_L(\tau)\, d\tau = \frac{1}{T}\int_0^T \frac{u_L(\tau) - L_1\dfrac{di_L}{d\tau}}{R_1}\, d\tau = \frac{1}{R_1}\left[\frac{1}{T}\int_0^T u_L(\tau)\, d\tau - \frac{L_1}{T}\int_0^T di_L\right] = \frac{\overline{U}_L}{R_1} - \frac{L_1 \Delta i_L}{R_1 T}$$

Dado que en régimen permanente el incremento de corriente neto a lo largo de un ciclo es nulo:

$$\bar{I}_L = \frac{\bar{U}_L}{R_1} = 513 \text{ mA}$$

3. Tensión inversa máxima y corriente máxima que deben soportar los diodos:

   Todos los diodos soportarán los mismos valores, por lo que nos basta estudiar uno: por ejemplo, D1.

   Cuando D2 conduce, D1 está inversamente polarizado y queda en antiparalelo con la carga, por lo que el peor caso coincidirá con la tensión máxima sobre la carga:

   $$\hat{U}_R = -\hat{U}_L = -537 \text{ V}$$

   Cuando D1 conduce queda en serie con la carga, por lo que la corriente máxima que lo atraviesa coincidirá con la corriente máxima por la carga, que en este caso es constante y coincide con su valor medio:

   $$\hat{I}_{D1} = \hat{I}_L = \bar{I}_L = 513 \text{ mA}$$

4. Potencia disipada en cada diodo:

$$\bar{P}_{Dn} = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} p_{Dn}(\theta)\, d\theta = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} u_{Dn}(\theta)\cdot i_{Dn}(\theta)\, d\theta = \frac{1}{2\pi}\int_{-\frac{\pi}{n_F}}^{\frac{\pi}{n_F}} V_F\cdot\bar{I}_L\, d\theta = \frac{V_F\cdot\bar{I}_L}{2\pi}\int_{-\frac{\pi}{n_F}}^{\frac{\pi}{n_F}} d\theta = \frac{V_F\cdot\bar{I}_L}{n_F} = 188{,}2 \text{ mW}$$

Ejercicio 2 (3 puntos, 35 minutos)

1. FF.OO. $\boldsymbol{u_c}$, $\boldsymbol{u_{X2}}$, $\boldsymbol{i_c}$ e $\boldsymbol{i_{X1}}$ durante 40 ms para $\boldsymbol{\alpha} = 3\pi/4$ rad:

2. Tensión eficaz de salida $U_c = f(\alpha)$:

$$U_c^2 = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} u_c^2(\theta)\, d\theta = \frac{1}{\pi}\int_\alpha^{\pi} \hat{U}_c^2 \operatorname{sen}^2\theta\, d\theta = \frac{\hat{U}_c^2}{\pi}\int_\alpha^{\pi}\frac{1-\cos 2\theta}{2}\, d\theta = \frac{\hat{U}_c^2}{2\pi}\left(\pi - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2}\right)$$

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

3. Deduzca la expresión de la corriente media por los tiristores en función del ángulo de disparo, $\bar{I}_X = f(\alpha)$.

$$\bar{I}_{Xn} = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} i_{Xn}(\theta)\, d\theta = \frac{1}{2\pi}\int_\alpha^{\pi}\hat{I}_{Xn}\operatorname{sen}\theta\, d\theta = \frac{\hat{U}_c}{2\pi R_1}\int_\alpha^{\pi}\operatorname{sen}\theta\, d\theta = \frac{\hat{U}_F}{2\pi R_1}(1+\cos\alpha)$$

4. Planteamiento cálculo del ángulo de disparo 30% de potencia máxima:

$$\bar{P}_L = \frac{U_L^2}{R_1}$$

$$\frac{\bar{P}_L(\alpha)}{\bar{P}_{Lmax}} = \frac{\bar{P}_L(\alpha)}{\bar{P}_L(0)} = \frac{U_L^2(\alpha)}{U_L^2(0)} = 1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi} = 0{,}3$$

$$f(\alpha) = 0{,}7 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi}$$

$$f'(\alpha) = \frac{\cos 2\alpha}{\pi} - \frac{1}{\pi}$$

   a. Se elige un valor de partida en el intervalo posibles soluciones, en este caso [0, π), p.ej.: $\alpha_0 = \pi/2$
   b. Se calcula el nuevo valor $\alpha_{k+1} = \alpha_k - \frac{f(\alpha_k)}{f'(\alpha_k)}$
   c. Se repite b hasta que $|\alpha_{k+1} - \alpha_k| < \varepsilon$, donde ε es la precisión de cálculo deseada.

Ejercicio 3 (2 puntos, 35 minutos)

Nota.- Hay un error en la tablas del enunciado y en vez de Z (impedancia) es Y (admitancia). Además, la admitancia del cuadripolo 7 es negativa.

1. Expresamos la función de transferencia en la forma conocida:

$$F(s) = 10 \cdot \frac{s+2}{s+12} = \frac{10 \cdot 2}{12} \cdot \frac{\frac{s}{2}+1}{\frac{s}{12}+1}$$

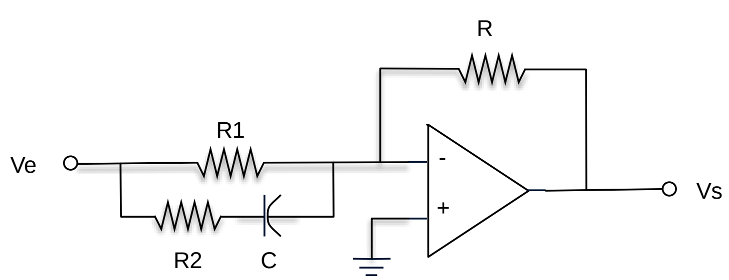
   Por ser T1 mayor que T2 (1/2 > 1/12) se trata de una red de adelanto.

2. Para su implementación tenemos libertad para elegir una configuración inversora o no inversora. Por el diagrama de Bode del cuadripolo 15 vemos que no podemos utilizar este cuadripolo para una configuración no inversora, porque nos saldría una red de retraso.

   Así que optamos por una configuración inversora con los cuadripolos 1 y 7.

$$\frac{V_s}{V_e} = -\frac{Y1}{Y2} = \frac{1+s\cdot T_1}{R_1\cdot(1+s\cdot T_2)} \cdot \frac{1}{-\frac{1}{R}} = -\frac{R}{R_1} \cdot \frac{1+s\cdot T_1}{1+s\cdot T_2}$$

   Obteniendo el circuito siguiente:



   de donde:

$$T_1 = (R_1 + R_2)C = \frac{1}{12}$$

$$T_2 = R_2 C = \frac{1}{2}$$

$$K = -\frac{R}{R_1} = -\frac{20}{12}$$

Comprobamos que, en efecto, T1 > T2.

3. Como hay más incógnitas que ecuaciones, tomamos por ejemplo C = 1 μF, y obtenemos que R2 = 83 kΩ. Despejando en el resto de ecuaciones obtenemos que R = 694 kΩ, R1 = 416,6 kΩ.