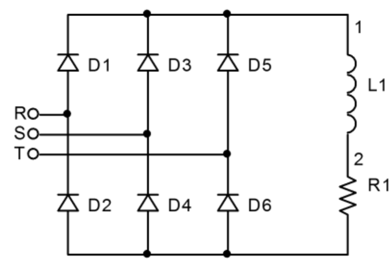
Normas de examen

- 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 para suministrar a la carga formada por L1 y R1 una tensión media $\overline{U}_c$ = 12 V. El rectificador se alimenta de los secundarios de un transformador trifásico en configuración estrella-estrella que, a su vez, está conectado a una red de 380 V a 50 Hz. Se pide:



1. Dibuje durante al menos 20 ms las formas de onda de u_c, i_R, i_S e i_T indicando sus valores instantáneos más significativos y los diodos que están conduciendo en cada instante.
2. Deducir la expresión del valor medio de la tensión sobre la carga, $\overline{U}_c$, en función de la tensión de pico sobre la carga $\widehat{U}_c$.

Calcular la relación de transformación necesaria si:

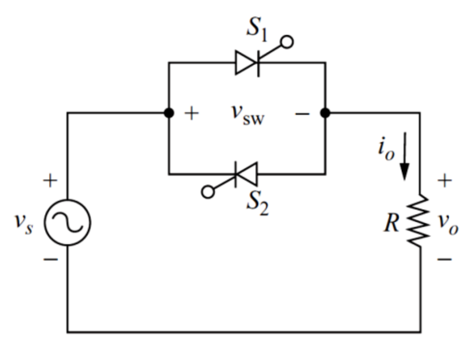
3. Los diodos se consideran ideales.
4. Los diodos tienen una caída de tensión en conducción V_F = 1 V.

Datos: $L_1 \rightarrow \infty$, $R_1 = 6\ \Omega$

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

Ejercicio 2 (3 puntos, 40 minutos)

En el convertidor AC/AC de la figura los tiristores son ideales y la fuente de tensión alterna de entrada, v_S, es senoidal y tiene un valor eficaz $V_{S,rms}$. Se pide, razonando sus respuestas:



Representar durante un periodo las formas de onda de v_o y v_{SW} para un ángulo de disparo de los tiristores α = 90º y $V_{S,rms}$ = 230 V.

1.- Determinar el valor medio de la corriente a través de los tiristores para las condiciones del apartado anterior.

Considerando a partir de ahora que el valor eficaz de la tensión alterna de entrada, $V_{S,rms}$, puede variar entre 90 V y 270 V:

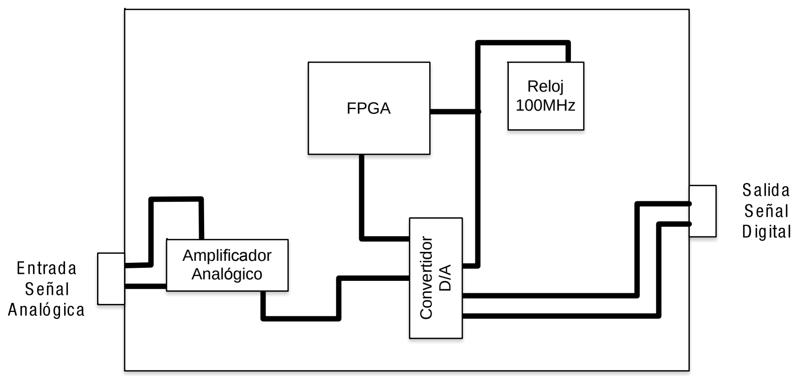
2.- Determinar el intervalo de variación del ángulo α si se pretende utilizar el convertidor para entregar a la resistencia una potencia constante de 1 kW.

3.- Calcular el valor del factor de potencia visto por la fuente para la máxima tensión de entrada, $V_{S,rms}$ = 270 V. (Si no ha resuelto el apartado anterior considere α = 130º).

Datos: R = 10 Ω

Ejercicio 3 (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.



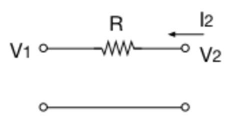
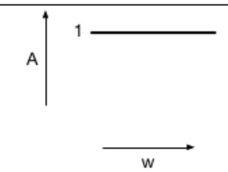
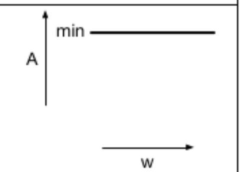
Ejercicio 4 (2 puntos, 20 minutos)

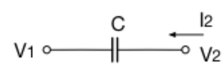
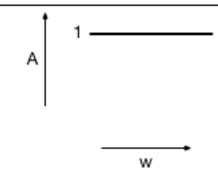
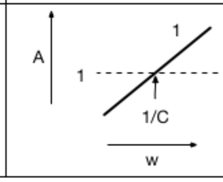
Para compensar la mala respuesta en los graves debida al pequeño tamaño de los altavoces en un equipo musical compacto de bajo coste, se ha pensado en aplicar un circuito de pre-énfasis a la señal que amplifique 12 dB las frecuencias por debajo de los 300 Hz y que no aplique ninguna ganancia (0 dB) a las altas frecuencias.

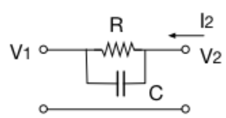
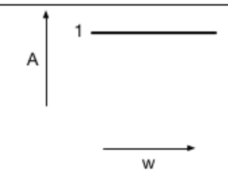
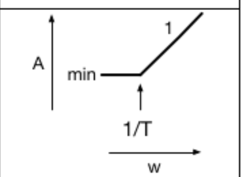
Se pide:

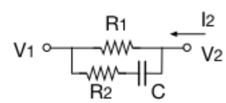
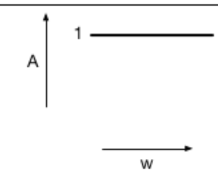
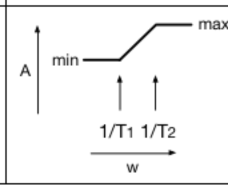
1. Seleccionar, justificándolo, el cuadripolo más adecuado para implementar la función descrita en configuración no inversora de entre los incluidos en la tabla adjunta.
2. Dibujar el esquemático del circuito completo incluyendo el A.O.
3. Dar valores numéricos razonables a los componentes para cumplir las especificaciones de diseño indicadas.

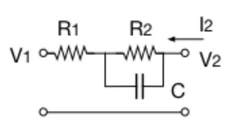
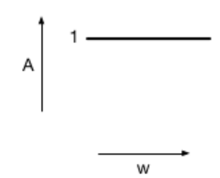
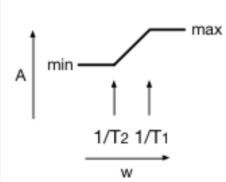
Anexo 1: Tablas de cuadripolos pasivos

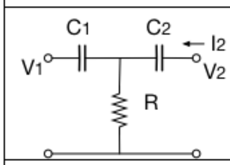
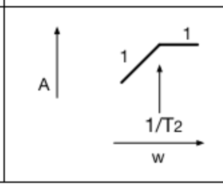
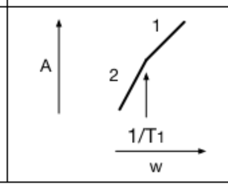
Cuadripolo 1	A	Y
	1	$-\frac{1}{R}$
$min = \frac{1}{R}$		

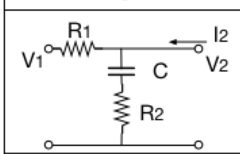
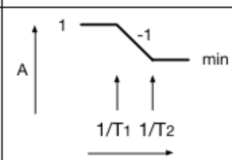
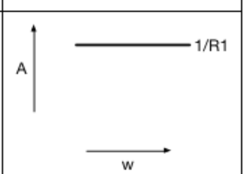
Cuadripolo 2	A	Y
	1	$-sC$
		

Cuadripolo 5	A	Y
	1	$-\frac{1+s\cdot T}{R}$
$T = RC$ $min = \frac{1}{R}$		

Cuadripolo 7	A	Y
	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 9	A	Y
	1	$\frac{-(1+s\cdot T_2)}{(R1+R2)(1+s\cdot T_1)}$
$T1 = \frac{R1R2C}{R1+R2}$ $T2 = R2C$ $min = \frac{1}{R1+R2}$ $max = \frac{1}{R1}$		

Cuadripolo 12	A	Y
	$\frac{s\cdot T_2}{1+s\cdot T_2}$	$\frac{-s^2RC_1C_2}{1+s\cdot T_1}$
$T_1 = R(C_1+C_2)$ $T_2 = RC_1$		

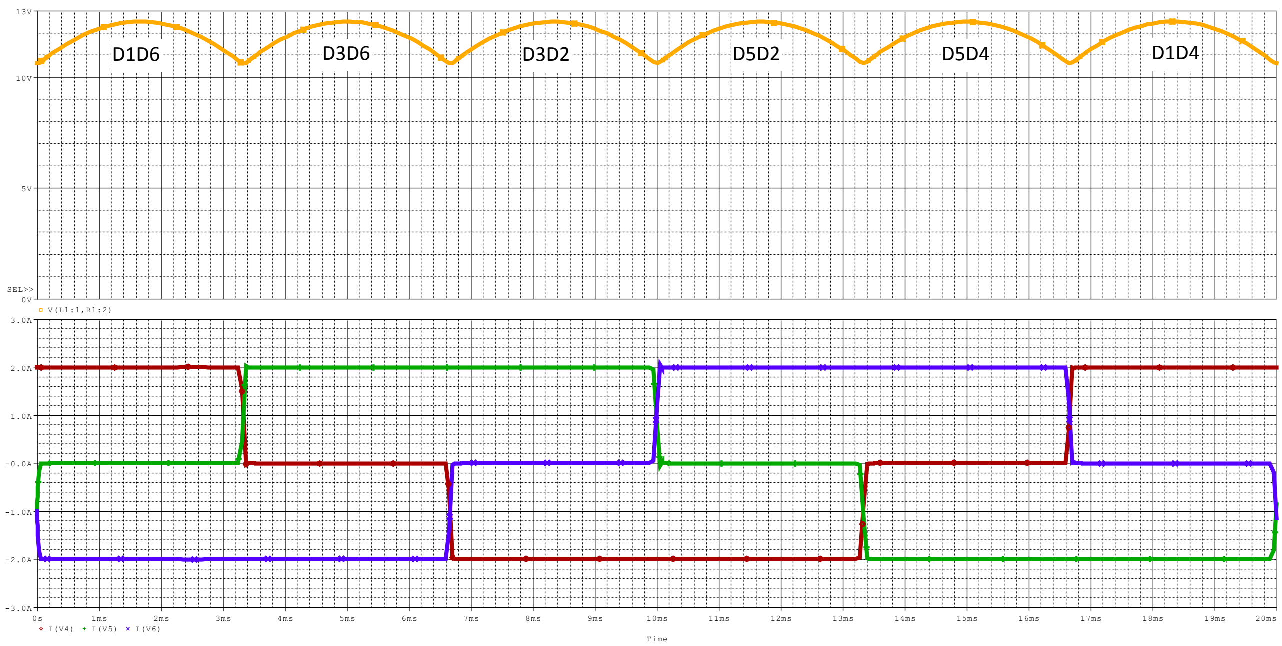
Cuadripolo 15	A	Y
	$\frac{1+s\cdot T_2}{1+s\cdot T_1}$	$-\frac{1}{R1}$
$T1 = (R1+R2)C$ $T2 = R2C$ $min = \frac{R2}{R1+R2}$		

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

Ejercicio 1 (3 puntos, 40 minutos)

El rectificador de la figura se emplea para suministrar a la carga formada por L1 y R1 una tensión media $\overline{U}_c$ = 12 V. El rectificador se alimenta de los secundarios de un transformador trifásico en configuración estrella-estrella que, a su vez, está conectado a una red de 380 V a 50 Hz. Se pide:

1. FF.OO. $\boldsymbol{u_c}$ (—), $\boldsymbol{i_R}$ (—), $\boldsymbol{i_S}$ (—) e $\boldsymbol{i_T}$ (—) y diodos activos en cada instante:



2. Expresión de $\overline{U}_c$:

$$\overline{U}_c = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} u_c(\theta)d\theta = \frac{n_c}{2\pi}\int_{-\frac{\pi}{n_c}}^{\frac{\pi}{n_c}} \widehat{U}_c \cos\theta \, d\theta = \frac{n_c}{2\pi}\widehat{U}_c[\operatorname{sen}\theta]_{-\frac{\pi}{n_c}}^{\frac{\pi}{n_c}} = \frac{n_c}{\pi}\widehat{U}_c \operatorname{sen}\frac{\pi}{n_c} = \frac{2n_F}{\pi}\widehat{U}_c \operatorname{sen}\frac{\pi}{2n_F} = \frac{6}{\pi}\widehat{U}_c \operatorname{sen}\frac{\pi}{6}$$

3. Relación de transformación $\boldsymbol{n}$ necesaria si los diodos se consideran ideales:

$$\left.\begin{aligned} n &= \frac{n_2}{n_1} = \frac{U_{F2}}{U_{F1}} = \frac{\widehat{U}_{F2}}{\widehat{U}_{F1}} \\ \widehat{U}_c &= \widehat{U}_{L2} = \widehat{U}_{F2}\sqrt{3} \\ \widehat{U}_c &= \frac{\overline{U}_c}{\frac{6}{\pi}\operatorname{sen}\frac{\pi}{6}} \end{aligned}\right\} \Rightarrow \begin{aligned} \widehat{U}_c &= \frac{12\text{ V}}{\frac{6}{\pi}\operatorname{sen}\frac{\pi}{6}} = 12{,}566\text{ V} \\ \widehat{U}_{F2} &= \frac{\widehat{U}_c}{\sqrt{3}} \\ n &= \frac{\frac{\widehat{U}_c}{\sqrt{3}}}{\frac{\widehat{U}_{L1}}{\sqrt{3}}} = \frac{12{,}566\text{ V}}{380\sqrt{2}\text{ V}} = 0{,}0234 \end{aligned}$$

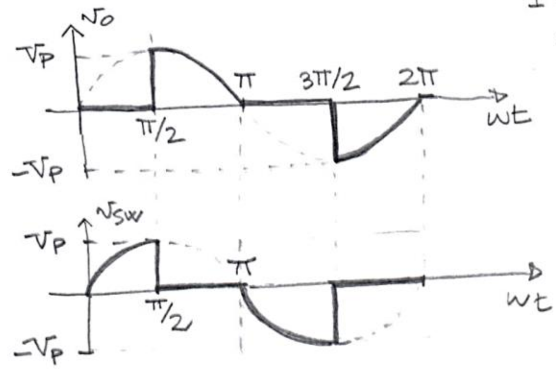
4. Relación de transformación $\boldsymbol{n}$ necesaria si los diodos tienen una caída de tensión en conducción $\boldsymbol{V_F}$ = 1 V:

   En este caso hay que tener en cuenta que en cada momento conducen dos diodos que introducen una caída de tensión total de 2 V que hay que compensar aumentando la tensión en el secundario:

$$\left.\begin{aligned} \widehat{U}_c &= \widehat{U}_{F2}\sqrt{3} - 2V_F \\ n &= \frac{\frac{\widehat{U}_c + 2V_F}{\sqrt{3}}}{\frac{\widehat{U}_{L1}}{\sqrt{3}}} \end{aligned}\right\} \Rightarrow n = \frac{\widehat{U}_c + 2V_F}{\widehat{U}_{L1}} = \frac{14{,}566\text{ V}}{380\sqrt{2}\text{ V}} = 0{,}0271$$

Ejercicio 2 (3 puntos, 40 minutos)

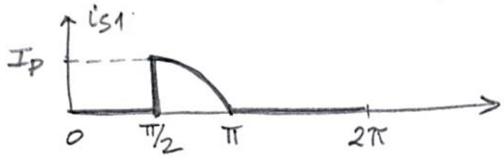
a)



$v_I = V_P \operatorname{sen}\omega t = \sqrt{2}\cdot V_{s,rms} \operatorname{sen}\omega t$

$V_P = \sqrt{2}\cdot 230 \simeq 325V$

b) El valor medio de la corriente es el mismo para ambos tiristores. Por ejemplo, para S1:



$$I_P = \frac{V_P}{R} = \frac{325}{10} = 32{,}5A$$

$$\boxed{I_{S1} = I_{S2}} = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} i_{S1}\, d\omega t = \frac{1}{2\pi}\int_{\pi/2}^{\pi} I_P \operatorname{sen}\omega t\, d\omega t$$

$$= \frac{I_P}{2\pi}\left[-\cos\omega t\right]_{\pi/2}^{\pi} = \boxed{\frac{I_P}{2\pi}} \Rightarrow \boxed{I_{S1} = I_{S2} \cong 5{,}2A}$$

c) $P_o = \frac{V_{o,rms}^2}{R} = 1000W \Rightarrow \boxed{V_{o,rms} = 100V}$

$$V_{o,rms} = \sqrt{\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} v_o^2\, d\omega t} = \sqrt{\frac{1}{\pi}\int_\alpha^{\pi} V_P^2 \operatorname{sen}^2\omega t\, d\omega t}$$

$$\Rightarrow V_{o,rms} = \frac{V_P}{\sqrt{2}}\sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\operatorname{sen}2\alpha}{2\pi}} = V_{s,rms}\sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\operatorname{sen}2\alpha}{2\pi}}$$

Para $\alpha = 0$ $V_{o,rms} = V_{s,rms}$ (MÁXIMO)

Para $\alpha = \pi$ $V_{o,rms} = 0$ (MÍNIMO)

Para $V_{s,rms} = 90V$ es imposible obtener $V_{o,rms} = 100V$ (PUEDE CONSEGUIRSE A PARTIR DE $V_{s,rms} = 100V$ con $\alpha = 0$)

Para $V_{s,rms} = 270V$:

$$100 = 270\sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\text{sen}2\alpha}{2\pi}}$$

$$\Rightarrow \quad \frac{\text{sen}2\alpha}{2\pi} - \frac{\alpha}{\pi} + 0{,}863 = 0$$

Resolviendo por Newton-Rapshon se obtiene:

$$\boxed{\alpha = 127{,}62^\circ}$$

d) $$FP = \frac{P_o}{S} = \frac{P_o}{V_{s,rms} \cdot I_{s,rms}} = \frac{V_{o,rms}^2/R}{V_{s,rms} \cdot \frac{V_{o,rms}}{R}} = \frac{V_{o,rms}}{V_{s,rms}}$$

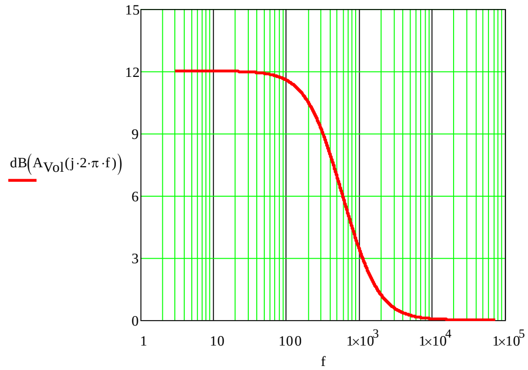
$$\Rightarrow \quad FP = \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\text{sen}2\alpha}{2\pi}}$$

Para $\alpha = 130^\circ \simeq 2{,}27\,\text{rad}$:

$$\boxed{FP \simeq 0{,}35}$$

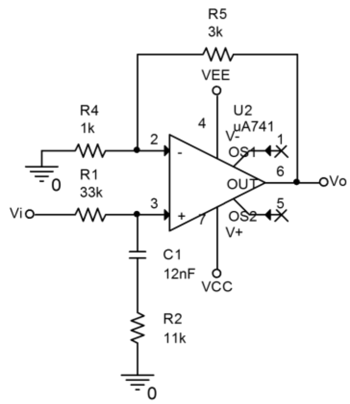
Ejercicio 4 (2 puntos, 20 minutos)

1. Dado que nos piden usar una configuración no inversora, demos buscar un cuadripolo cuya ganancia en tensión en circuito abierto, $\boldsymbol{A_{voc}}$, tenga las características requeridas. Así, debe tener una zona plana por debajo de los 300 Hz, una zona de transición a frecuencias medias en la que la ganancia disminuye, y una nueva zona plana a alta frecuencia en la que la ganancia vuelve a ser constante:



El único cuadripolo de la tabla que presenta la ganancia $\boldsymbol{A_{voc}}$ con la forma adecuada es el 15.

2. Dibujar el esquemático del circuito completo incluyendo el A.O.



3. Usando los datos de la tabla de cuadripolos y la ganancia del A.O. en configuración no inversora obtenemos la función de transferencia del circuito:

$$F(s) = \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right)\frac{1 + R_2 Cs}{1 + (R_1 + R_2)Cs}$$

Que nos permite plantear el siguiente sistema de ecuaciones:

$$\left.\begin{aligned} T_1 &= \frac{1}{2\pi f_1} = (R_1 + R_2)C \\ A_{mín} &= 1 = A(\infty) = \frac{R_2}{R_1 + R_2}\left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right) \\ A_{máx} &= 10^{\frac{12\ \text{dB}}{20}} = A(0) = 1 + \frac{R_4}{R_3} \end{aligned}\right\} \xrightarrow[5\ in.]{3\ ec.} \left.\begin{aligned} C &= 12\ \text{nF} \\ R_3 &= 1\ \text{k}\Omega \\ R_4 &= (A_{máx} - 1) \times R_3 \\ R_1 + R_2 &= \frac{1}{2\pi f_1 C} \\ R_2 &= \frac{R_1 + R_2}{A_{máx}} \end{aligned}\right\} \Rightarrow \begin{aligned} C &= 12\ \text{nF} \\ R_1 &= 33{,}105\ \text{k}\Omega \approx 33\ \text{k}\Omega \\ R_2 &= 11{,}105\ \text{k}\Omega \approx 11\ \text{k}\Omega \\ R_3 &= 1\ \text{k}\Omega \\ R_4 &= 2{,}981\ \text{k}\Omega \approx 3\ \text{k}\Omega \end{aligned}$$

Dado que tenemos dos grados de libertad imponemos los valores de $\boldsymbol{C}$ y $\boldsymbol{R_3}$. Puesto que los valores obtenidos para del resto de componentes son razonables, nos quedamos con esta solución.