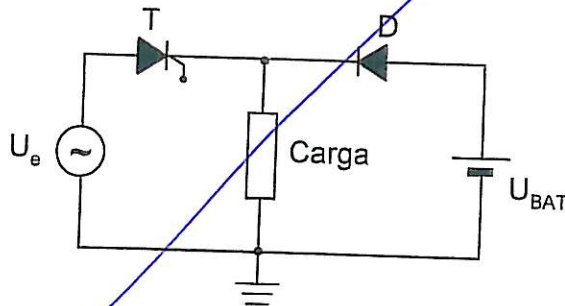


Asignatura: Electrónica Industrial  
Especialidad: Ingeniería Eléctrica

Fecha: 19/09/2006  
Convocatoria: Septiembre

**PROBLEMA 1.** (3 puntos)

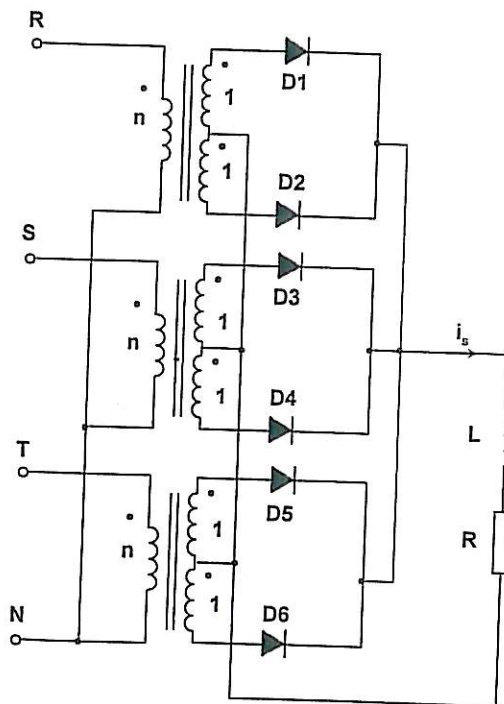
En el circuito de la figura, la carga se alimenta desde una fuente de tensión senoidal ( $U_{pico}=200V$  y  $f=1kHz$ ) y una batería ( $U_{BAT}=100V$ ) como se muestra. El tiristor se dispara con un ángulo  $\alpha$  después del paso por cero de la senoide de tensión.



- Dibujar la forma de onda de tensión en la carga para  $\alpha=60^\circ$ .
- Si la carga es resistiva pura  $R=10\Omega$ , dibujar la forma de onda de corriente por la carga (para  $\alpha=60^\circ$ ) y calcular las pérdidas de potencia en el diodo ( $U_T=1V$ ).
- Igual que el apartado b) pero para carga inductiva ( $R=10\Omega$  y  $L=100mH$ ).
- Calcular el máximo y el mínimo valor eficaz de tensión que es posible aplicar a la carga.

**PROBLEMA 2.** (3 puntos)

El rectificador no controlado de la figura alimenta, desde una red trifásica de entrada de 220V eficaces de tensión fase-neutro (tensión de fase), a una carga muy inductiva de 100kW a la que se aplica una tensión media de 100V.

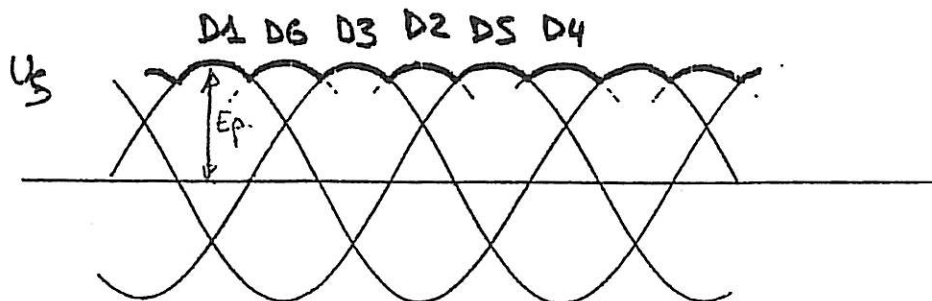


Se pide:

- Dibujar forma de onda de tensión en la carga.
- Relación de transformación de los transformador.
- Forma de onda de corriente en los diodos.
- Dimensionar los diodos ( $V_{max}$ ,  $I_{max}$ ,  $I_{med}$ ).

2

a) En el esquema dibujado, sólo hay un diodo conduciendo:

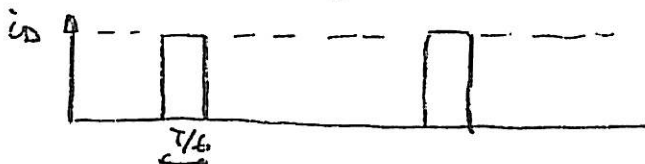


b)

$$U_{s,med} = \frac{n E_p}{\pi} \sin \frac{\pi}{n} = \frac{6 \cdot 220 \sqrt{2} \frac{n_2}{n_1}}{\pi} \sin \frac{\pi}{6} \quad \left( \text{equivalente a un hexafásico de media onda} \right)$$

Como  $U_{s,med} = 100V \Rightarrow \frac{n_2}{n_1} = 0'33 \Rightarrow E_p = 102V.$

c)



$$I_s = 1000 A$$

$$I_{D,med} = 166 A$$

d)

$$I_{max} = 1000 A ; I_{med} = 166 A ; V_{max} = 205 V$$

La tensión inversa máxima que soporta un diodo (por ejemplo D1) se produce cuando conduce el diodo que conduce con un desfase de  $180^\circ$  (D2 en este caso). La tensión máxima es  $2E_p$ .

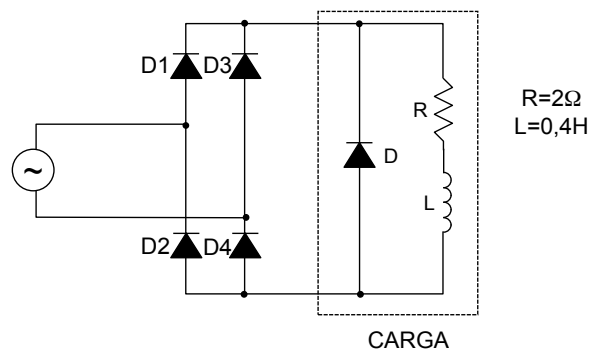
### Problema rectificador monofásico

El rectificador de doble onda de la figura alimenta a una carga inductiva desde una red monofásica de 230V eficaces y 50Hz. Se pide:

- Dibujar la tensión y la corriente en la carga.
- Calcular la potencia que se entrega a la carga y el factor de potencia.

Para poder regular la potencia en la carga, se sustituye este rectificador por otro totalmente controlado.

- Calcular el ángulo de disparo de los tiristores ( $\alpha$ ) para entregar a la carga la cuarta parte de la potencia que se entregaba con el rectificador de diodos.
- Para este caso, dibujar la tensión y la corriente en la carga indicando los semiconductores que conducen en cada momento. Calcular el factor de potencia.
- Indicar qué hay que hacer en este montaje para poder devolver energía a la red eléctrica.



a)

La constante de tiempo de la carga es  $L/R$  y es igual a 200ms. El período de la onda de tensión que se aplica a esta carga es de 10ms al ser un rectificador de doble onda. Por tanto se puede suponer que la corriente de la carga es prácticamente constante e igual al valor medio de tensión dividido por  $R$ .

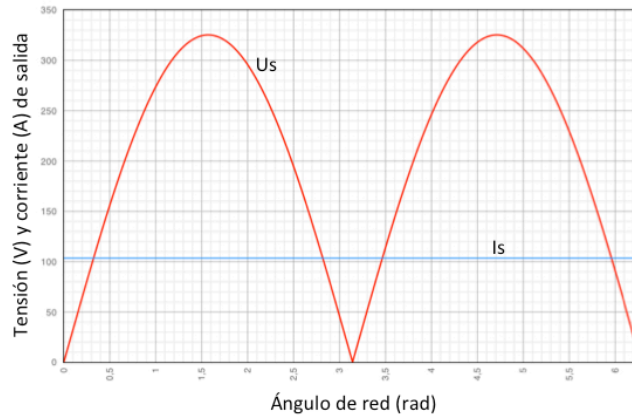
El valor medio de la tensión de salida es:

$$U_{S,MED} = \frac{2E_P}{\pi} = 207V$$

Por tanto la corriente es:

$$I_S = \frac{U_{S,MED}}{R} = 103,5V$$

Las formas de onda de ambas magnitudes son:

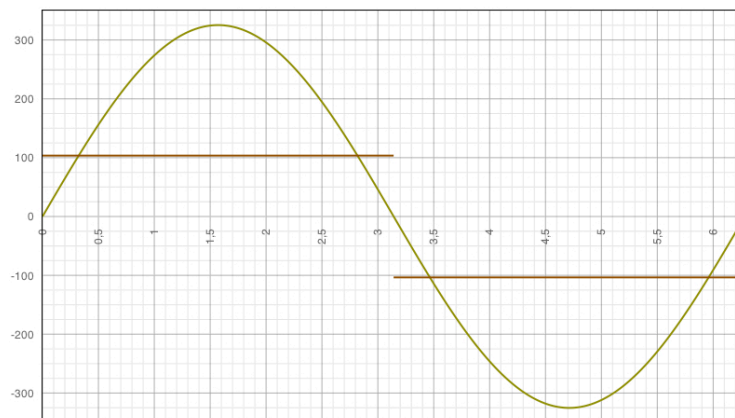


b)

La potencia que se entrega a la carga es el producto tensión media por corriente (por ser la corriente constante):

$$P_S = U_{S,MED} I_S = 21440W$$

En el generador, las formas de onda son:



Para calcular el factor de potencia, utilizamos la siguiente expresión:

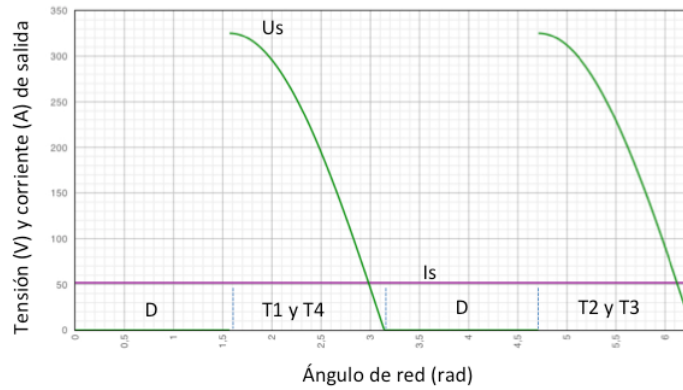
$$FP = \frac{P_S}{U_{EF} I_{EF}} = \frac{21440}{230 \cdot 103,5} = 0,9$$

c)

Al reemplazar los diodos por tiristores, se puede regular la tensión de salida. Para que la potencia sea la cuarta parte la tensión debe ser la mitad. Por tanto habrá que disparar a los tiristores con  $\alpha=90^\circ$ .

d)

La tensión y la corriente en la salida se muestran en la siguiente figura donde también se indican los semiconductores que están conduciendo. En los tramos de tensión cero la corriente se cierra por el diodo de libre circulación D.



Ahora el factor de potencia será el que corresponda a una potencia 4 veces menor, misma tensión de entrada y la corriente eficaz de entrada (que es una onda cuadrada de amplitud 51,7A con tramos de valor cero):

$$FP = \frac{P_S}{U_{EF}I_{EF}} = \frac{5360}{230 \cdot 36,6} = 0,63$$

e)

Tal cual está el circuito no se puede devolver energía a la red por no deja que aparezca tensión negativa en la carga. Habría que eliminar el diodo de libre circulación y luego aumentar el ángulo de disparo y superar 90°.

**Asignatura:** Electrónica Industrial  
**Especialidad:** Ingeniería Eléctrica (1274)  
**Publicación de notas:** 9/2/2012  
**Duración:** 3 horas

**Fecha:** 26/1/2012  
**Convocatoria:** Enero  
**Revisión:** 16/2/2012 (10:30 horas)

**PROBLEMA 1.** (3 puntos)

Se desea cargar 4 baterías de 50V de tensión, siendo el equivalente eléctrico de cada una de ellas el mostrado en la figura 1: fuente de tensión de 50V (invariable) y resistencia de  $2\Omega$ . Cada batería necesita 10 A·h para cargarla completamente.

Para cargar estas baterías se dispone del rectificador controlado trifásico, mostrado en la figura 2. Este rectificador se conecta a una red trifásica donde cada fuente tiene una amplitud de 300V (212V eficaces) y 50 Hz.

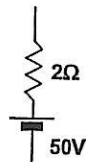


Figura 1

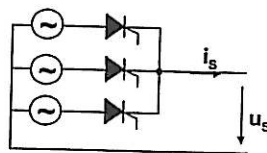
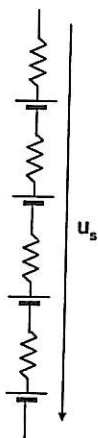
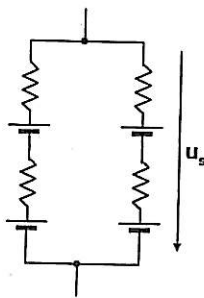
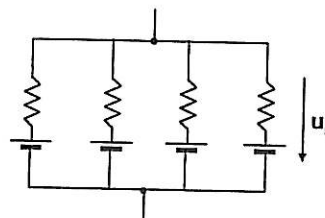


Figura 2

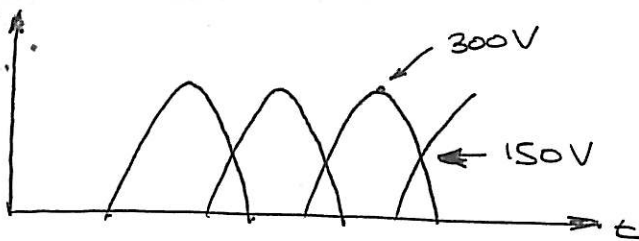
Para colocar las baterías, se prueban 3 configuraciones distintas (A, B y C) mostradas en la figura siguiente.

A) Configuración  
serieB) Configuración  
serie/paraleloB) Configuración  
paralelo

En cada una de las configuraciones, los tiristores del rectificador se disparan con un ángulo para que la carga de las baterías se realice en tiempo mínimo, pero asegurando que, en ningún momento, la corriente instantánea por cada batería supere los 100A. Para las tres configuraciones indicadas, responda a las siguientes preguntas:

- Calcular el ángulo  $\alpha$ .
- Dibujar la forma de onda de tensión y de corriente de salida del rectificador ( $u_s$  e  $i_s$ )
- Para la configuración B, obtener el tiempo necesario para realizar la carga completa de las baterías.
- Repetir los apartados a y b del problema si, en serie con la salida del rectificador, se colocase una bobina de filtrado ( $L$ ) de gran valor.

①



Config A  $\equiv$   $\frac{1}{8\Omega}$   $\frac{1}{200V}$

Config B  $\equiv$   $\frac{1}{4\Omega}$   $\frac{1}{100V}$

config C  $\equiv$   $\frac{1}{2\Omega}$   $\frac{1}{50V}$

a) A Para asegurar la carga  $\alpha$  debe ser el ángulo que se obtiene de igualar la senoide a 200V.

$$\beta = \arcsin \frac{200}{300} = 41,8^\circ \Rightarrow \alpha = \beta - 30 = 11,8^\circ$$

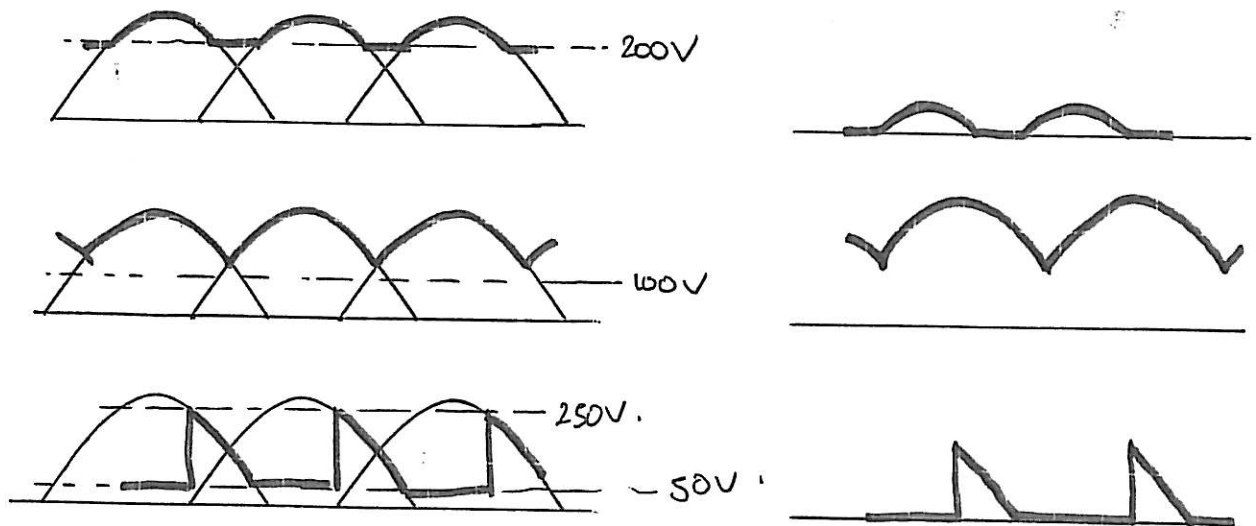
B con  $\alpha=0$  se carga la batería ya que  $150V > 100$

C con  $\alpha=0$  se carga la batería pero cuando  $U_s(t)=300V$  la corriente por la batería sería  $I_{BAT} = \frac{300-50}{2} = 125V$ .

Se debe disparar de forma que la tensión instantánea no supere 250V, pero que la corriente no supere 100A:

$$\beta = \arcsin \frac{250}{300} = 56,4^\circ \text{ y } 123,6^\circ \Rightarrow \alpha = 93,6^\circ$$

b)



$U_s$

$I_s$

c)

La tensión media de salida para la configuración B es:

$$U_{s,med}^{(B)} = \frac{nE_p}{\pi} \sin \frac{\pi}{n} \cdot \cos \alpha = \frac{3 \cdot 300}{\pi} \sin \frac{\pi}{3} = 248V.$$

$\uparrow$   
 $\alpha=0$

Por tanto la corriente media es:

$$I_{BAT,med} = \frac{U_{s,med} - 2U_{BAT}}{2R} = \frac{248 - 2 \cdot 50}{2 \cdot 2} = 37A.$$

El tiempo de carga será:  $t_{CARGA} = \frac{10A \cdot h}{37 \cdot A} = 0,27h \approx 16min.$

d)

Poniendo una bobina en serie equivale a tener una carga inductiva, lo que forzaría a conducir a los tiristores en todo momento.

Disparando con  $\alpha=0$ , la tensión media de salida será igual a 248V (igual que apdo c) que es mayor que la tensión equivalente de las baterías para las 3 configuraciones. Así en los 3 casos se producirá la carga en el tiempo mínimo, y no se superará nunca 100A ni siquiera para el caso C. La tensión de salida será igual en los 3 casos (como en la configuración B del apdo b) y la corriente constante:

$$I_A = \frac{248 - 200}{8} = 6A$$

$$I_B = \frac{248 - 100}{4} = 37A$$

$$I_C = \frac{248 - 50}{2} = 99A$$

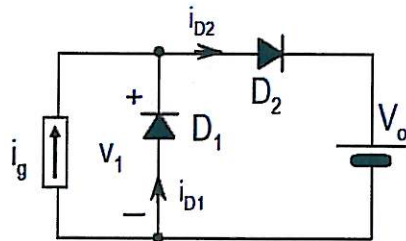


*fuentes corriente*  
**Problema rectificador monofásico**

- a) Represente en dos ciclos de red:  $i_{D1}$ ,  $i_{D2}$ ,  $V_1$ .  
 b) Calcule la potencia entregada a la fuente  $v_o$ .

Considerar ahora que en paralelo con el diodo  $D_1$  hay un condensador de capacidad  $1\text{nF}$ .

- c) Calcule las nuevas formas de onda del apartado a).  
 d) ¿Para qué rango de capacidad hay transferencia de potencia de alterna a continua?



$$i_g(t) = I_g \text{sen}(\omega_0 t)$$

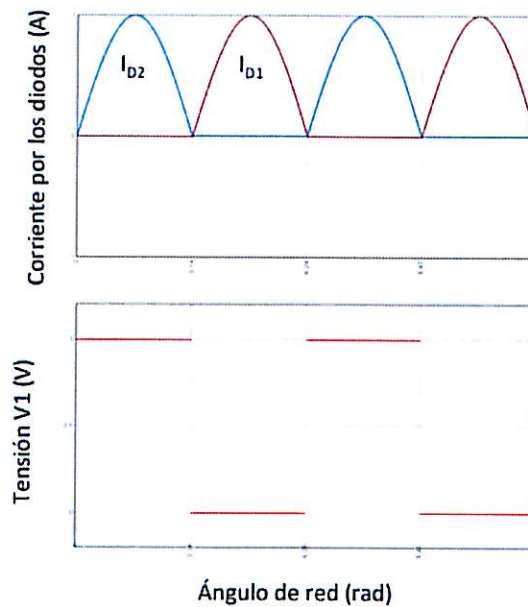
$$I_g = 1\text{A}$$

$$V_o = 5\text{V}$$

$$\omega_0 = 10^6 \text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$$

a)

Cuando el generador entrega corriente positiva ésta circula por  $D_2$  y cuando es negativa por  $D_1$ . Cuando conduce  $D_2$ , la tensión  $V_1$  es igual a la de la fuente de tensión  $V_o$ ; cuando conduce  $D_1$  es cero.



b)

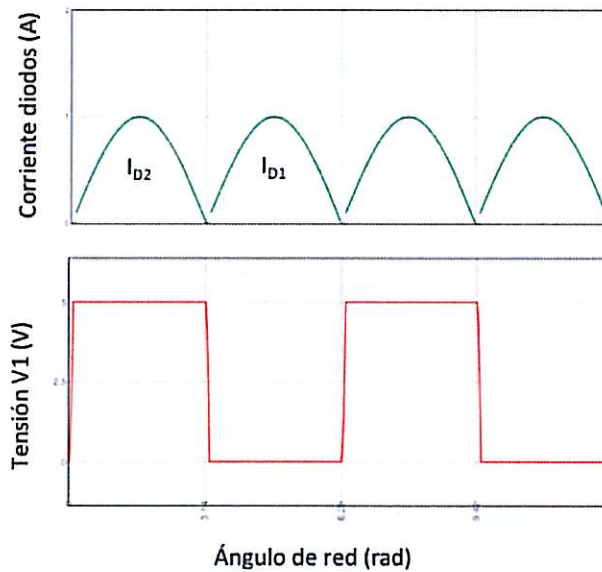
La fuente recibe un semiciclo de la corriente de entrada. La potencia entregada será  $V_o$  por el valor medio de esta corriente:

$$P_{V0} = V_o I_{0,MED} = V_o \frac{I_{PICO}}{\pi} = 1,59\text{W}$$

c)

La capacidad en paralelo con  $D_1$  evitará que  $D_2$  conduzca en todo el semiciclo positivo ya que se necesita que el generador cargue el condensador con una tensión igual a  $V_o$  antes de que

conduzca D2; asimismo, cuando la corriente del generador sea negativa, la capacidad se descargará hasta que llegue a cero momento en que la corriente circulará por D1. Las formas de onda son parecidas a los apartados anteriores ya que el ángulo que dura la transición es muy pequeño.



La tensión del condensador se obtiene integrando la corriente del generador.

$$U_1(t) = \frac{1}{\omega C} (1 - \cos(\omega t))$$

El ángulo para el cual esta tensión alcanza 5V es aproximadamente 0,1 rad (5°).

d)

Para que haya transferencia de energía, la tensión del condensador debe superar los 5V. Si el condensador fuese muy grande, no alcanzaría tal tensión y la corriente no llegaría a la fuente de tensión  $V_0$ . Para hallar este valor límite basta con igualar la ecuación anterior en su punto más alto ( $\omega t=90^\circ$ ) a 5V. El valor obtenido es de **200nF**.

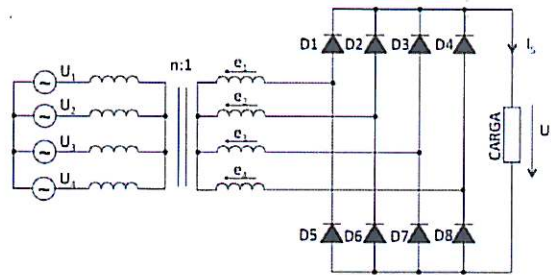
### **Enunciado**

Una distribución tetrafásica de 100V de tensión eficaz fase-neutro y 50Hz se conecta mediante un transformador ideal estrella-estrella, a un rectificador de doble onda con diodos para alimentar en continua una carga muy inductiva, que requiere un valor medio de tensión de 10V y una potencia de 1kW.

Se pide:

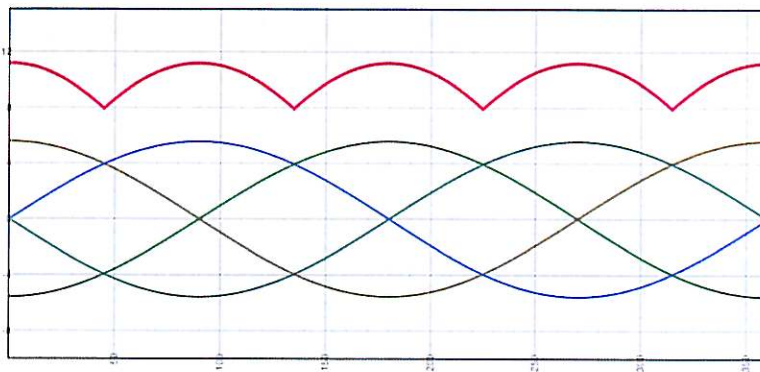
- a) Dibujar la forma de onda de la tensión en la carga y la corriente por una fase del transformador en un ciclo completo de la tensión de red.
- b) Indicar cuánto vale el rizado (pico a pico) de la tensión de salida.
- c) Calcular la relación de transformación que debe tener el transformador.
- d) Calcular la tensión inversa máxima que soportan los diodos.
- e) Si los diodos presentan una caída en conducción de constante (e independiente de su corriente) igual a 1V, indicar cómo se modifica el apartado c.

**Solución**



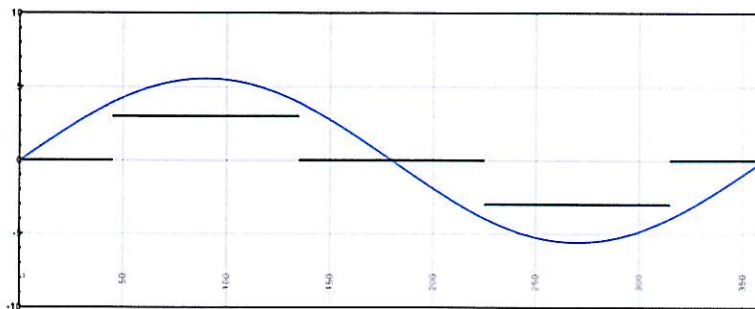
**Apto a)**

En la siguiente figura se muestran las 4 ondas de tensión en el secundario ( $e_1, \dots, e_4$ ) y la onda de salida ( $U_s$ ):



Al ser una distribución par, no se produce cancelación parcial de rizado y la frecuencia de la onda de salida es de 4 veces la del generador por ser una distribución tetrafásica; en este sentido, el rectificador de doble onda no está aportando ninguna ventaja (que sí aporta en distribuciones impares). La frecuencia del rizado es de 200Hz.

La carga es muy inductiva y consume 10kW para una alimentación de 10V; por tanto la corriente es de 100 Amperios. Esta corriente circulará por aquella fase que presente mayor tensión y volverá por la que tenga menor tensión; por tanto, los períodos de conducción de cada diodo son de  $90^\circ$ .



**Apto b)**

La máxima tensión instantánea de salida es 2 veces el valor de pico de la tensión fase-neutro en secundario ( $E_p$ ) y la mínima 2 veces  $E_p \cdot \sin 45^\circ$ . El rizado es la diferencia entre ambos valores.

El valor de  $E_p$  se puede obtener de la ecuación que la relaciona con la tensión de salida en un rectificador no controlado de doble onda, donde  $q$  es el número de fases:

$$U_{s, med} = \frac{2 \cdot q \cdot E_p}{\pi} \operatorname{sen} \left( \frac{\pi}{q} \right)$$

Sustituyendo  $q=4$  y  $U_{s, med}=10V$ , se obtiene que  $E_p=5,57V$ .

En cuanto al rizado, el valor máximo de la tensión de salida será 11,14V y el mínimo, 7,88V; por tanto el rizado pico a pico es de **3,26V**.

#### Apdo c)

Calcular la relación de vueltas del transformador ( $n:1$ ) es sencillo ya que se conoce la tensión que hay a cada lado del mismo. Basta con igualarlas:

$$\frac{100\sqrt{2}}{n} = E_p$$

Como  $E_p=5,56$ ,  **$n=25,46$** .

#### Apdo d)

La máxima tensión inversa que soporta un diodo es 2 veces  $E_p$  (**11,12V**) ya que al ser una distribución par, la tensión de fase más positiva menos la tensión de la fase más negativa (por tanto suma de valores absolutos o tensión de línea) es la tensión inversa que están soportando dos de los otros diodos. Por ejemplo, si están conduciendo D1 y D7, los diodos D3 y D5 son los que sufren este valor máximo.

#### Apdo e)

Al haber 2 diodos en conducción en todo momento, el rectificador debe dar 12V para mantener la tensión de salida en 10V.  $E_p$  deberá ser 6,66V y  **$n=21,22$** .



Asignatura: Electrónica Industrial  
Especialidad: Electricidad (1274)

Fecha: 26/11/2010  
Seguimiento

**EJERCICIO 1.** (4 puntos)

Un rectificador trifásico de doble onda totalmente controlado se alimenta desde la red trifásica 230/398V 50Hz mediante un transformador estrella-estrella de relación 2:1. Este rectificador alimenta un motor de continua cuyo equivalente eléctrico es una fuente de tensión continua ( $U_m$ ) en serie con una inductancia ( $L$ ) y una resistencia ( $R$ ). Los tiristores se disparan con un ángulo  $\alpha$  igual a  $60^\circ$ .

- 26 NOV 2010
- Forma de onda de la tensión en la carga. Calcular su valor medio.
  - Forma de onda de corriente por una de las fases del transformador. Calcular su valor eficaz.
  - Calcular la potencia entregada al motor, la potencia disipada por los tiristores y el rendimiento del rectificador.
  - ¿Puede este circuito devolver energía a la red alterna? Indicar en qué circunstancias.

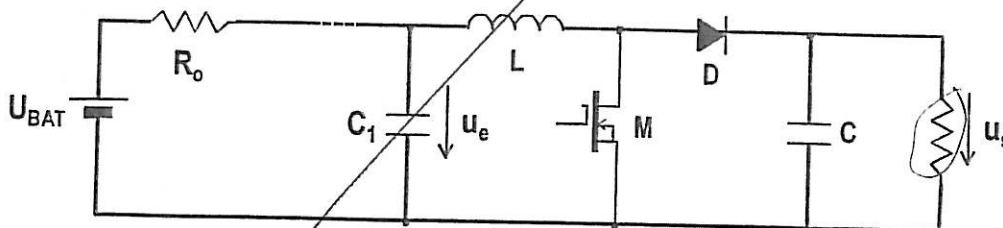
Datos:

Motor	Tiristores
$U_M=100V$	$V_\gamma=2V$
$L=300mH$	$r_d=0,1\Omega$
$R=1\Omega$	

**EJERCICIO 2.** (4 puntos)

En el convertidor CC/CC elevador de la figura, todos los componentes pueden ser considerados como ideales. Los elementos reactivos se pueden suponer suficientemente grandes como para que no exista rizado de tensión en los condensadores ni de corriente en la bobina. El convertidor mantiene regulada  $U_s$  igual a 48V.

- 18 NOV 2011
- Con  $R_o=0\Omega$  calcular:
    - La variación de ciclo de trabajo
    - Máxima corriente de pico y eficaz en  $D$  y  $M$ .
    - Máxima tensión soportada por  $D$  y  $M$ .
  - Si la fuente presenta una impedancia  $R_o=0,2\Omega$ , calcular:
    - El ciclo de trabajo máximo
    - Las pérdidas de potencia en  $R_o$ .

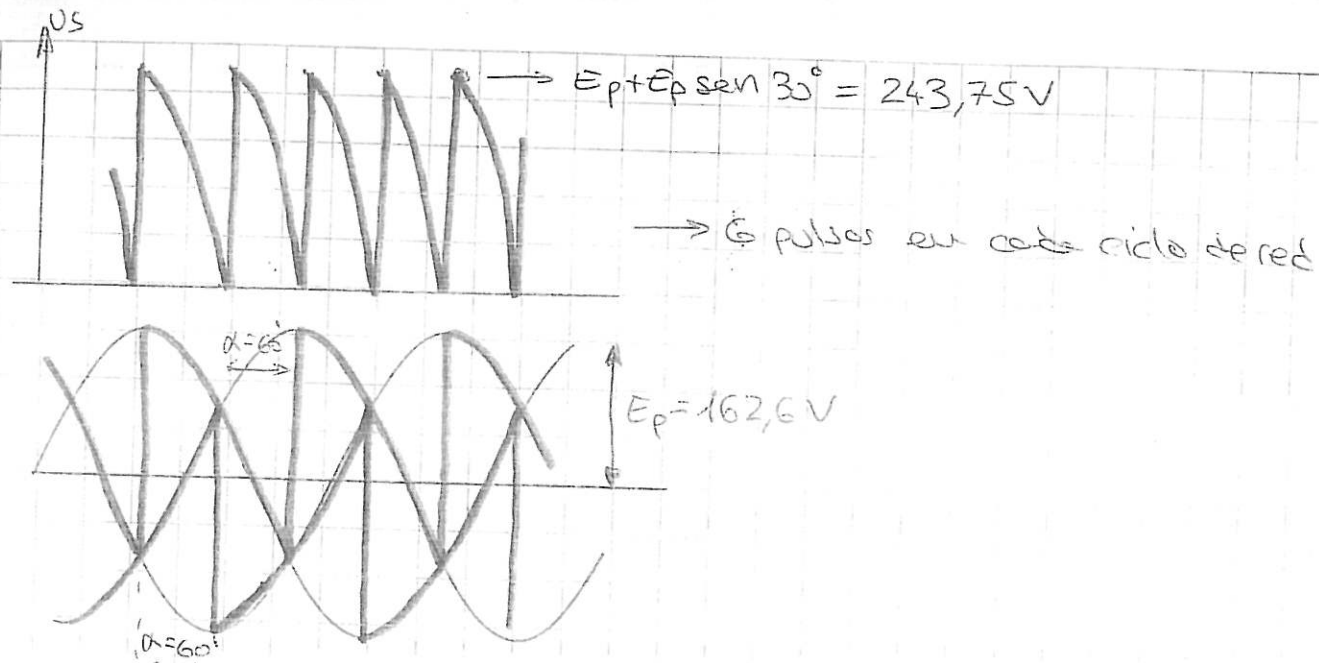


Datos:

$$16V \leq U_{BAT} \leq 32V \text{ (nominal } 24V) \quad 12\Omega \leq R \leq 48\Omega$$

4)

a)



$$U_{s,med} = 2 \frac{n \bar{E}_p}{\pi} \sin \frac{\pi}{n} \cos \alpha = \frac{2 \cdot 3 \cdot 162,6}{\pi} \sin 60 \cdot \cos 60 = 134,5 \text{ V}$$

b)

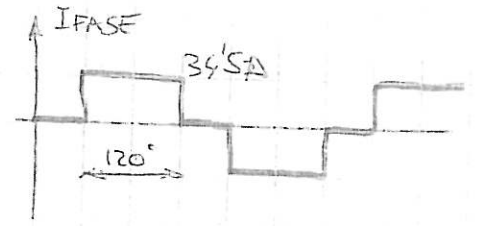
$$Z = \frac{L}{R} = \frac{0,3}{1} = 300 \text{ ms} \quad T = \frac{T_{RED}}{6} = \frac{0,02}{6} = 3,3 \text{ ms}$$

$\Rightarrow$  Como  $Z \gg T$  se puede considerar carga inductiva y corriente constante

$$I_{CARGA} = \frac{U_{s,med} - U_M}{R} = 34,5 \text{ A}$$

Por una fase del transformador

$$I_{CFRAC} = 28,1 \text{ A}$$



c)  $P_M = I_s \cdot U_{s,med} = 4640 \text{ W}$  (ya que la  $I$  es cte)

$$P_{TIRISTOR} = V_f \cdot I_{med} + r_d \cdot I_{EF}^2 = 2 \cdot \frac{34,5}{3} + 0,1 \cdot (34,5 \sqrt{1/3})^2 = 62,6 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_s}{P_s + 6 P_{TIR}} = \frac{4640}{4640 + 6 \cdot 62,6} = 0,925 \quad \boxed{92,5 \%}$$

d) Al ser la carga inductiva basta que  $\alpha > 90^\circ$

NOTA: - Se ha despreciado la caída de tensión de los tiristores en el cálculo de la  $U_{s,med}$  e  $I_s$

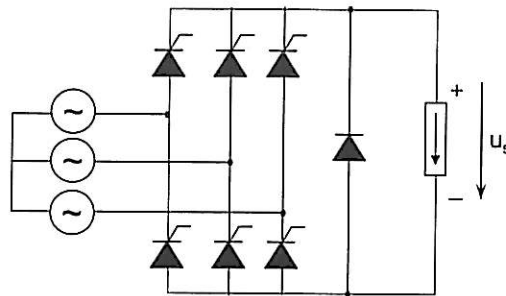


**Asignatura:** Electrónica Industrial  
**Especialidad:** Ingeniería Eléctrica

**Fecha:** 14/02/2006  
**Convocatoria:** Febrero

**PROBLEMA 1.** (3 puntos)

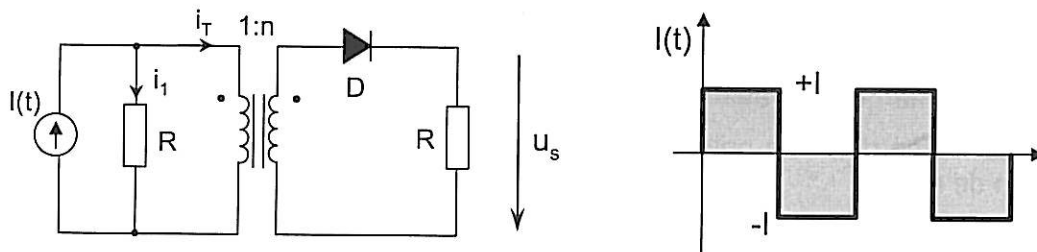
El rectificador de la figura alimenta a una carga inductiva cuyo comportamiento se asemeja a una fuente de corriente de 100A. Este rectificador se conecta a una red trifásica de 230V/400V eficaces y 50Hz. El rectificador incorpora un diodo de libre circulación. Los tiristores se disparan con un ángulo de retraso  $\alpha=90^\circ$ .



Se pide:

- Dibujar la forma de onda de tensión de salida  $u_s$ .
- Dibujar la forma de onda de corriente por una fase de la fuente de entrada y por el diodo de libre circulación.
- Calcular el valor medio de la tensión de salida y la potencia.
- Calcular las pérdidas de potencia en los tiristores ( $V_\gamma = 2V$ ;  $r_d = 0\Omega$ ) y el diodo ( $V_\gamma = 1V$ ;  $r_d = 0\Omega$ ).
- ¿Es posible entregar la misma potencia a la carga quitando el diodo de libre circulación? En caso afirmativo indique el nuevo valor de  $\alpha$ .

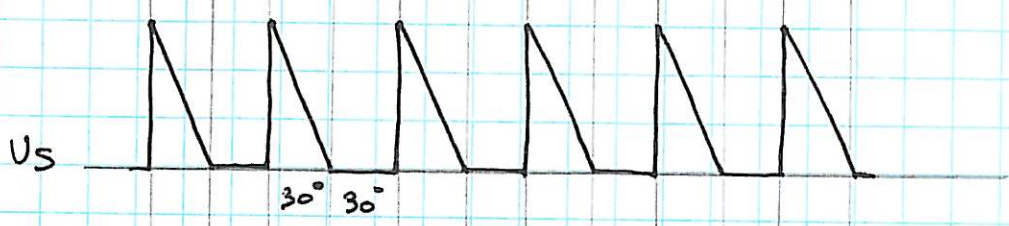
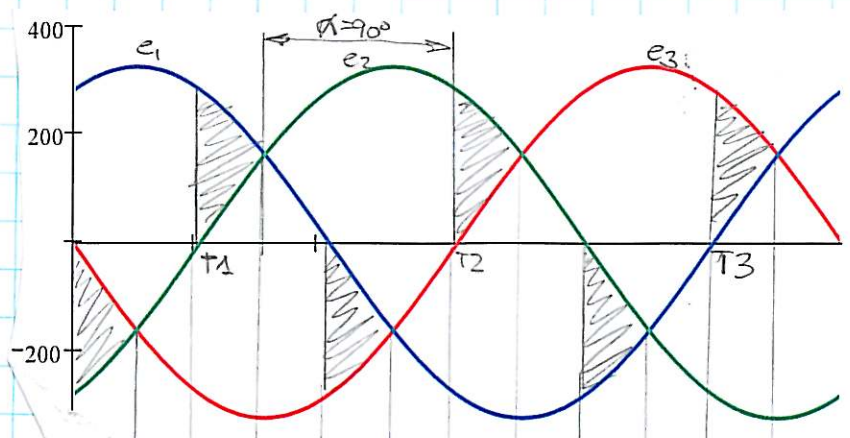
**PROBLEMA 2.** (2 puntos)



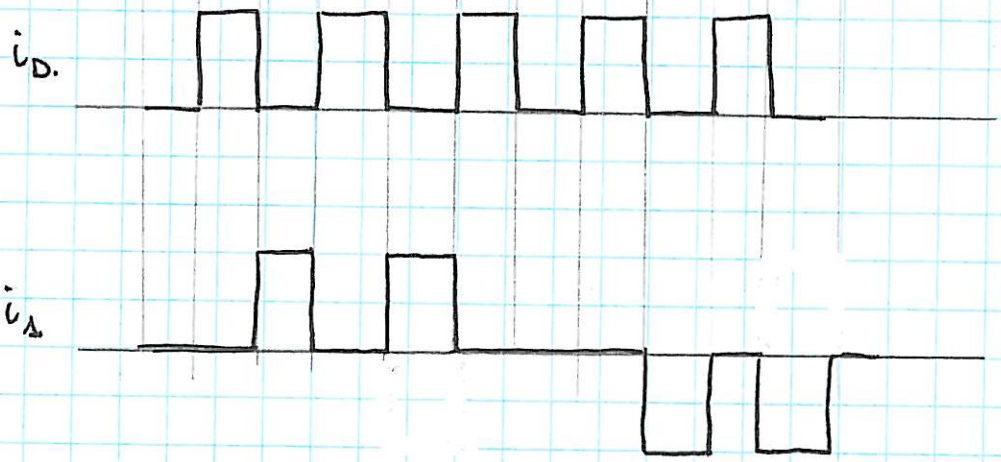
Para el circuito de la figura, dibujar las formas de onda de  $i_1$ ,  $i_T$  y  $u_s$  asumiendo que el circuito está en régimen permanente, el diodo es ideal y que el transformador presenta una inductancia magnetizante de alto valor para despreciar su rizado de corriente. Calcular una expresión de la corriente magnetizante en función de los parámetros del circuito.

1

a)



b)



c) Para calcular la tensión media de salida es más cómodo emplear la tensión de línea:

$$U_{s,med} = \frac{6}{2\pi} \int_{\frac{5\pi}{6}}^{\pi} 400\sqrt{2} \sin(\omega t) d(\omega t) = 72V. \text{ (aprox.)}$$

$$P = U_{s,med} \cdot I = 72 \cdot 100 = 7200W$$

d)

Cada tiristor conduce 2 periodos de  $30^\circ$ , es decir,  $60^\circ$ .

$$I_{T, \text{MED}} = 100 \text{ A} \frac{1}{6} = 16,6 \text{ A}.$$

$$P_{\text{TIRISTOR}} = V_g \cdot I_{T, \text{MED}} = 2 \cdot 16,6 \text{ A} = 33 \text{ W (aprox.)}$$

El diodo de libre circulación conduce la mitad del tiempo, en periodos de  $30^\circ$ .

$$I_{D, \text{MED}} = 100 \text{ A} \frac{1}{2} = 50 \text{ A}$$

$$P_{\text{DIODO}} = V_g \cdot I_{D, \text{MED}} = 1 \cdot 50 = 50 \text{ W}$$

e) Si se quite el diodo de libre circulación, aparecerán áreas de  $U_s$  con valor negativo. Para  $\alpha = 90^\circ$ , el valor de  $U_{s, \text{MED}}$  sería igual a cero.

Por tanto, si es posible entregar la misma potencia sin diodo de libre circulación, empleando un ángulo de disparo ( $\alpha$ ) menor. Para calcular basta igualar la  $U_{s, \text{MED}}$  de un rectificador  $3\phi$  de doble onda a  $72 \text{ V}$ .

$$72 \text{ V} = 2 \frac{n \cdot E_p}{\pi} \sin \frac{\pi}{n} \cdot \cos \alpha \quad \left\{ \begin{array}{l} n=3 \\ E_p = 230\sqrt{2} \end{array} \right.$$

$$\Rightarrow \boxed{\alpha = 82^\circ} \text{ (aprox.)}$$

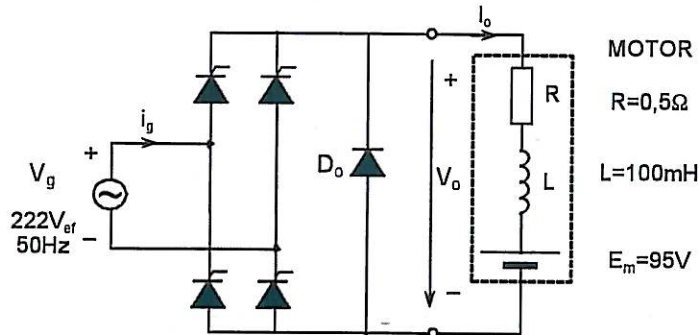
**Asignatura:** Electrónica de Potencia (1194)  
**Especialidad:** Automática y Electrónica  
**Fecha pre-actas:** 6 de julio

**Fecha:** 16/06/2009  
**Convocatoria:** Junio  
**Fecha revisión:** 10 de julio

**EJERCICIO 1.** (3 puntos)

El rectificador controlado alimenta a un motor de continua cuyo equivalente eléctrico es el mostrado en la figura.

*700uV  
28500.*



Se pide:

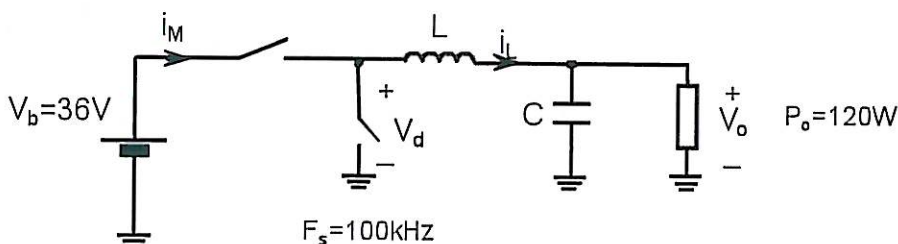
- Calcular el ángulo  $\alpha$  para que la corriente por el motor sea de 10A.
- Representar la tensión de salida del rectificador,  $V_o$ , y la corriente de entrada del mismo,  $i_g$ , para el ángulo de disparo anterior.
- Calcular el factor de potencia y la distorsión armónica total.
- Asumiendo que la caída en el diodo  $D_o$  es de 2V, calcular su potencia disipada.
- NO* Sabiendo que las impedancias térmicas del diodo son  $R_{jc}=0,5^{\circ}C/W$  y  $R_{ca}=25^{\circ}C/W$ , la temperatura ambiente es de 50°C y la temperatura máxima de la unión es de 125°C, determinar si es necesario añadirle un radiador y, en caso, afirmativo, calcular su impedancia térmica máxima.
- Si el diodo  $D_o$  se queda abierto, calcular cuál ha de ser el ángulo  $\alpha$  para que la corriente por el motor siga siendo 10A.

**EJERCICIO 2.** (3 puntos)

Se quiere generar un bus regulados de 12V a partir de una batería de 36V. Para ello se ha decidido utilizar un convertidor reductor como el mostrado en la figura. Se pide:

- Determinar el ciclo de trabajo del convertidor cuando  $V_g=36V$ .
- Calcular los valores de  $L$  y  $C$  para que el rizado de corriente sea del 40% y el rizado de tensión de 100mV.
- Representar  $v_d$ ,  $i_L$  e  $i_M$ .

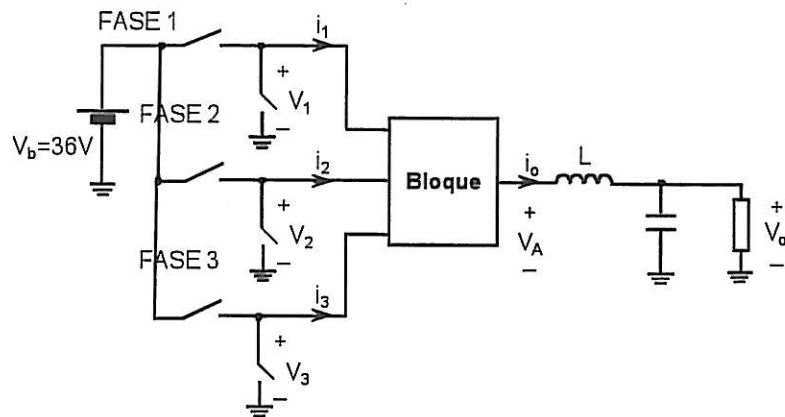
*2800uV*



Para conseguir el mismo objetivo se ha decidido emplear:

$$V_A = \frac{V_1 + V_2 + V_3}{3}$$

$$i_1 = i_2 = i_3 = \frac{i_o}{3}$$



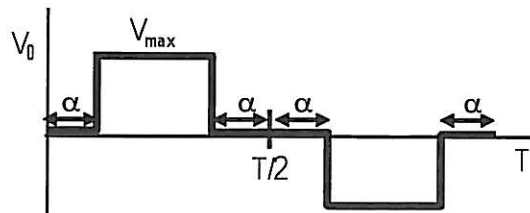
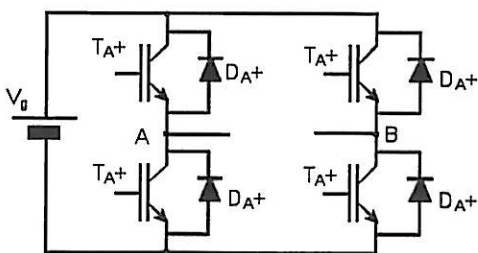
- d) Asumiendo que todas las fases tienen el mismo ciclo de trabajo y que se disparan desfases  $T/3$ , calcular el ciclo de trabajo para que  $v_o$  sea 12V.
- e) Representar  $i_1, i_2, i_3$  y  $v_A$  para  $d=30\%$ .
- f) Calcular el ciclo de trabajo para mantener  $v_o=12V$  para  $V_g=48V$ .
- g) Determinar el filtro  $L, C$  necesario para cumplir las restricciones de rizado del apartado b).

**EJERCICIO 3.** (3 puntos)

Se tiene un inversor monofásico con control de fase desplazada. Asumiendo que la carga filtra todos los armónicos excepto el fundamental (corriente sinusoidal).

Calcular:

- a) Secuencia de disparo de los interruptores para producir la tensión de salida mostrada en la figura.
- b) Valor del ángulo  $\alpha$  para que la potencia entregada sea de 2kW si el desfase de la corriente de la carga y el primer armónico de tensión es  $\varphi = 0^\circ$  y el valor de pico de corriente es de 10 A.
- c) Si la carga es inductiva ( $\varphi = 30^\circ$ ) y el valor de pico de la corriente es también de 10 A, calcular el nuevo valor de  $\alpha$  para que la potencia entregada sea de 2 kW.
- d) Para el caso de carga inductiva anterior indicar por qué semiconductores circula la corriente en cada instante.
- d) Si la carga es como la mostrada en la figura (RLC), y asumiendo que deja pasar sólo el primer armónico, determinar el valor del ángulo  $\alpha$  para que la potencia entregada sea de 2kW.  $R=50 \Omega$   $L= 477 \mu H$  y  $C = 5.3nF$



$$v_o(t) = \sum_{n\_impares} V_n \cdot \text{sen}(n\omega_0 t)$$

$$V_n = \frac{4V_{in}}{n\pi} \cdot \cos(n\alpha) \quad V_g = 400V$$

$$T = 10\mu s$$



1º APELLIDO									
2º APELLIDO									
NOMBRE									
Nº DE MATRÍCULA						Nº DE GRUPO			
ASIGNATURA	_____								
ESPECIALIDAD	_____								
AÑO DE CARRERA	_____				FECHA _____				

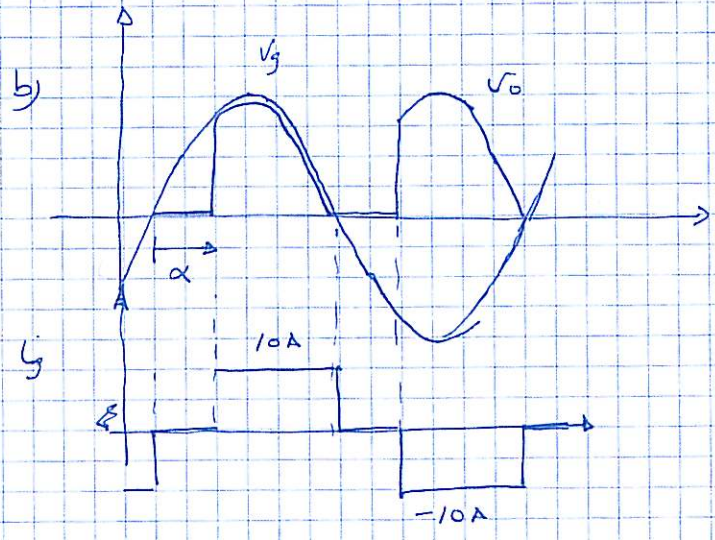
EJERCICIO	
HOJA Nº	_____
CALIFICACIÓN	

Ejercicio 1

$$\tau = \frac{L}{R} = \frac{0.1}{0.5} = 200 \text{ms} \rightarrow 10 \text{ms}$$

$$\tau = \frac{\omega L}{R} = \frac{2\pi \cdot 50 \cdot 0.1}{0.5} \rightarrow 50 \text{ms} \Rightarrow f_0 \approx cte$$

para que  $I_0 = 10 \text{A} \Rightarrow \langle V_0 \rangle = E_m + R \cdot I_0 = 100 \text{V}$



$$\langle V_0 \rangle = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} V_g \cdot \sin(x) dx$$

$$= \frac{1 + \cos \alpha}{\pi} \cdot 222\sqrt{2}$$

$$\alpha = 89.9^\circ \approx (\pi/2)$$

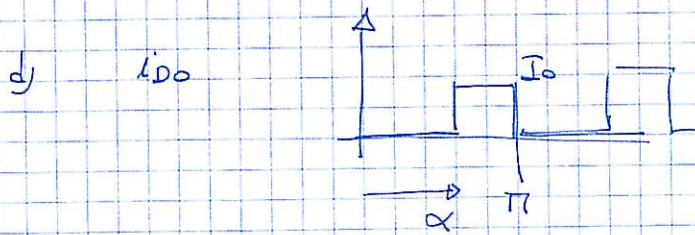
c)  $F.P. = \frac{P}{V_{ef} \cdot I_{ef}} = \frac{100 \cdot 10}{222 \cdot \frac{10}{\sqrt{2}}} = 0.637$

$$I_{ef}^2 = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} I_0^2 dx = \frac{I_0^2}{2} \Rightarrow I_{ef} = \frac{I_0}{\sqrt{2}} = 7.07 \text{A}$$

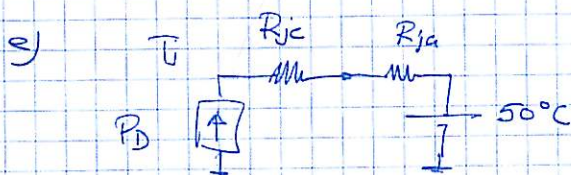
$$THD = \frac{\sqrt{I_{ef}^2 - I_{ef}^2}}{I_{ef}} = \frac{\sqrt{7.07^2 - 6.37^2}}{6.37} = 0.48 \text{ (48\%)}$$

$$P = V_{gef} \cdot I_{ef} \cdot \cos \varphi_1 \Rightarrow I_{ef} = \frac{P}{V_{gef} \cdot \cos(\alpha/2)} = \frac{1000}{222 \cdot \cos 45} = 6.37 \text{A}$$

$$\frac{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2}{I_1}$$



$$P_D = V_f \cdot \langle I_{D0} \rangle = 2V \cdot \frac{I_0 (\pi - \alpha)}{\pi} = 2V \cdot \frac{I_0}{2} = 10W$$



$$T_J = (R_{Jc} + R_{Ja}) \cdot P_D + 50 = 25,5 \cdot 10 + 50^\circ C \Rightarrow 125^\circ C$$

hace falta disipador

$$T_J = (R_{Jc} + R_{rad}) \cdot P_D + 50 = 125^\circ C$$

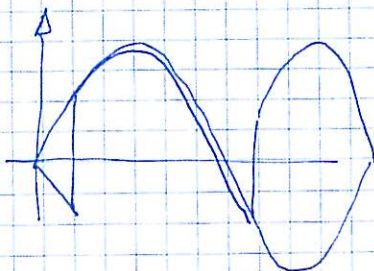
$$R_{Jc} + R_{rad} = \frac{75^\circ C}{P_D} = 7,5^\circ C/W \Rightarrow R_{rad} \leq 7^\circ C/W$$

f)

$$\langle V_o \rangle = 100V$$

en este caso  $\langle V_o \rangle = \frac{2}{\pi} \cdot 220\sqrt{2} \cdot \cos \alpha = 100$

$$\alpha = 60^\circ$$



**Asignatura:** Electrónica III (Potencia)  
**Especialidades:** Automática-Electrónica

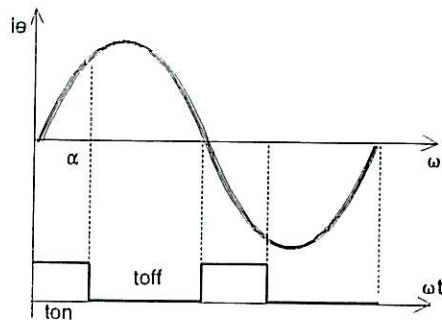
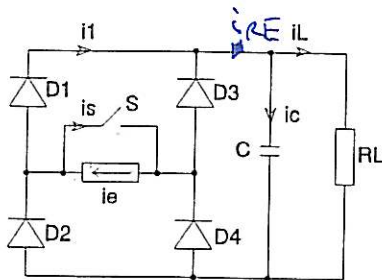
**Examen:** Final Junio  
**Fecha:** 29 de junio de 1995

- Dibuje la estructura física, curva característica y modelo eléctrico equivalente de un tiristor y de un IGBT. Describa brevemente su funcionamiento y campo de aplicación.
- Se dispone de diodos de potencia cuya tensión máxima en estado de bloqueo en catálogo es de 1.000V. Su comportamiento en estado de bloqueo es equivalente a una resistencia  $r_i$  ( $1M\Omega \leq r_i \leq 5M\Omega$ ). Se pretende colocar  $n$  dispositivos en serie para soportar una tensión máxima de 5.000V. Para ello se conecta una resistencia de equalización  $R$  en paralelo con cada diodo. Se pide:
  - Determinar el número de dispositivos en serie ( $n$ ).
  - Calcular el valor de las resistencias  $R$  para el valor de  $n$  del apartado anterior
  - Calcular el valor de la potencia consumida en las resistencias  $R$  si todos los diodos tuvieran exactamente el mismo valor de  $r_i$ .
  - ¿Cuál sería el nuevo valor de  $R$  si el fabricante garantizara que todas las  $r_i$  son exactamente iguales?

18  
10ms

- En el circuito de la figura, el interruptor  $S$  se mantiene cerrado durante un ángulo  $\alpha$  desde cada paso por cero de la intensidad de entrada  $i_e$ . Este ángulo  $\alpha$  es el parámetro que controla la tensión media de salida aplicada a una carga ( $R_L$ ). Se pide:
  - Asumiendo  $C$  lo suficientemente grande como para considerar constante la tensión de salida  $u_s$ , dibuje  $i_s$ ,  $i_D$ ,  $i_L$  e  $i_C$  para  $\alpha = \frac{\pi}{4}$  y  $\alpha = \frac{\pi}{2}$ .
  - Calcular el valor medio de  $u_s$  en función del parámetro de control  $\alpha$  ( $u_s(\alpha)$ ).
  - Calcular el valor de  $C$  para que el rizado de  $u_s$  sea menor que  $100mV_{pp}$ , para  $\alpha=0$ .
  - Determinar la configuración del interruptor  $S$  (tipo, número y conexión de los dispositivos).
  - Calcular la máxima potencia disipada en  $D1$ , si  $u_s = 0,6V$  y  $r_d = 10m\Omega$

Datos:  $i_e = 10 \cdot \pi \cdot \sin 2\pi \cdot 10^5 t$   $R_L = 5\Omega$



- Obtenga la ganancia de tensión en modo de conducción continuo (MCC) y en modo de conducción discontinuo (MCD) de un convertidor CC/CC de topología elevadora (*Boost*).







1er APELLIDO

2º APELLIDO

NOMBRE

Nº DE MATRÍCULA

Nº DE GRUPO

EJERCICIO

HOJA Nº \_\_\_\_\_

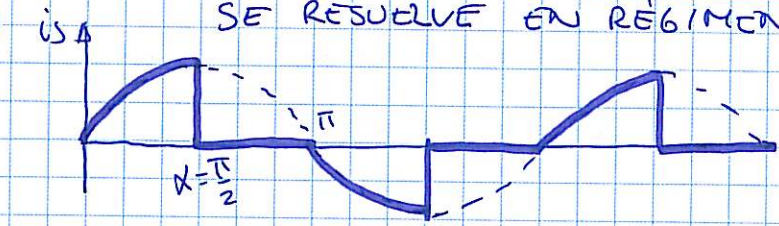
ASIGNATURA \_\_\_\_\_

ESPECIALIDAD \_\_\_\_\_

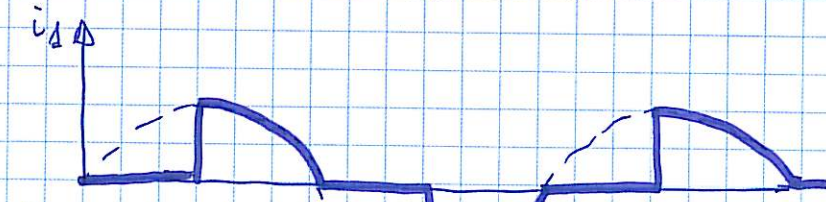
AÑO DE CARRERA \_\_\_\_\_ FECHA \_\_\_\_\_

CALIFICACIÓN

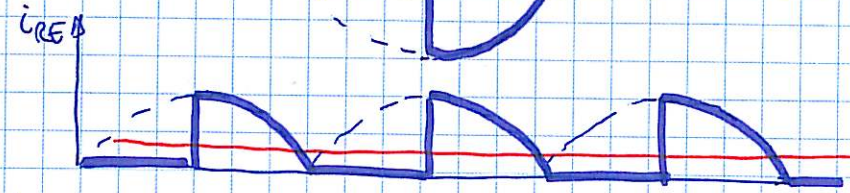
a)  $i_s$  SE RESUELVE EN RÉGIMEN PERMANENTE



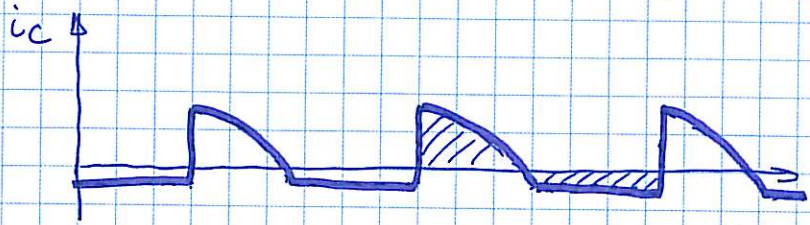
$$i_e = \underbrace{10\pi}_{I} \sin(\underbrace{2\pi \cdot 10^5}_{\omega} t)$$



$$i_{RE} = i_L + i_C$$



$i_{L, MED}$  ( $i_L$  es dte al ser  $U_s$  dte)



$$i_{C, MED} = 0 \Rightarrow i_L = i_{RE, MED}$$

b)

$$U_s = R_L \cdot i_L$$

$$U_{s, MED} = R_L \cdot i_{L, MED} = R_L \cdot i_L$$

$$\Rightarrow U_{s, MED} = i_{RE, MED}$$

$$i_{RE, MED} = \frac{1}{\pi} \int_{\pi/2}^{\pi} I \sin(\omega t) d(\omega t) = \frac{I}{\pi} [-\cos(\omega t)]_{\pi/2}^{\pi}$$

$$= \frac{I}{\pi} [ +1 + 0 ] = \frac{I}{\pi} \quad \text{sustituyendo } i_{RE, MED} = \frac{10\pi}{\pi} = 10 \text{ A}$$

$$U_{s, MED} = R_L \cdot 10 \text{ A} = 50 \text{ V}$$

$\uparrow$   
 $5 \Omega$

Generalizando la integral:  $i_{RE, MED} = \frac{I}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} I \sin(\omega t) d(\omega t) = \dots$

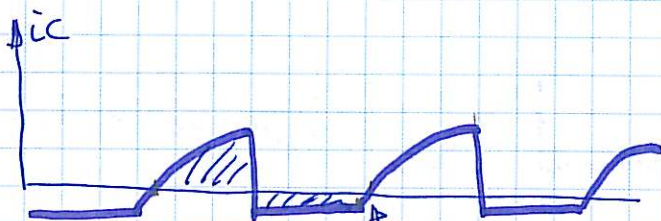
$$i_{RE, MED} = \frac{I}{\pi} (1 + \cos \alpha) = 10 (1 + \cos \alpha)$$

$$U_{S, MED}(\alpha) = 50 (1 + \cos \alpha) \quad V$$

c) Para calcular el rizado en el condensador (o el condensador sabiendo el rizado) hay que integrar la corriente por él. ~~se puede~~

$$EC. \text{ condensador } i = \frac{dU_c}{dt}$$

Como hay un brazo que se carga y otro en que se descarga, puede hacerse en cualquiera (conviene elegir el más sencillo).



hay que hallar ese punto (ángulo del corte)

$$\text{haciendo } I \sin(\omega t) = i_{c, MED}$$

## 8.5 Acondicionamiento para aplicaciones con energía solar

**PROBLEMA 8.17** Estudio del comportamiento de un rectificador trifásico con tiristores, conectado a la red trifásica de corriente alterna y alimentado, desde el lado de continua, a partir de un conjunto de paneles solares fotovoltaicos. el funcionamiento del puente de tiristores permite transferir potencia desde el lado de continua hasta el lado de alterna (inversor no autónomo). En el circuito de la Figura 8.17.1 se utiliza un transformador trifásico de relación 1:1 al objeto de conseguir aislamiento galvánico.

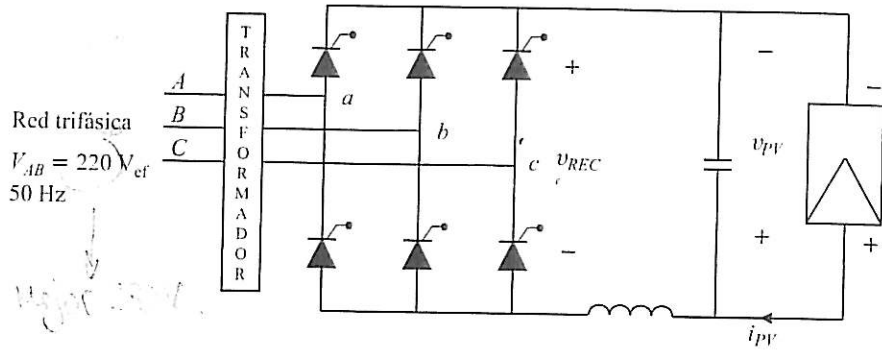


FIGURA 8.17.1 Puente trifásico de tiristores funcionando como inversor.

La tensión de línea a la entrada del puente de tiristores es de 220 V, 50 Hz. El conjunto de los paneles fotovoltaicos puede proporcionar (en condiciones de insolación y temperatura adecuadas) una potencia de pico de 3000 W (300 V y 10 A). Además, presenta una tensión máxima a circuito abierto,  $V_{PVo}$ , de 350 V y una corriente de cortocircuito,  $I_{PVcc}$ , de 15 A. El funcionamiento del circuito permite variar la tensión en los paneles,  $V_{PVm}$ , mediante la variación del ángulo de disparo de los tiristores. Suponiendo que la corriente por la inductancia del filtro es permanente (nunca se hace cero), se pide:

- 1) Ángulo de disparo que permite que los paneles se sitúen en su punto de máxima potencia.
- 2) Suponiendo que, en función de las diferentes condiciones de radiación solar y temperatura, la ley de control que consigue imponer funcionamiento de los paneles en el punto de máxima potencia es lineal y sigue la gráfica de la Figura 8.17.2, calcular los valores mínimo y máximo del ángulo de disparo de los tiristores, para que puedan recorrerse todos los puntos de la recta de control representada en la Figura 8.17.2 (todos los puntos comprendidos entre A y B).
- 3) Suponiendo que las pérdidas totales en el conjunto convertidor más transformador y filtro LC son de 150 W, ¿cuál es la potencia correspondiente a las condiciones de irradiación mínima a partir de las cuales se inyecta energía en la red? ¿Qué ángulo de disparo debería imponerse al rectificador, para asegurar que los paneles operen en el punto de máxima potencia correspondiente a esas condiciones?

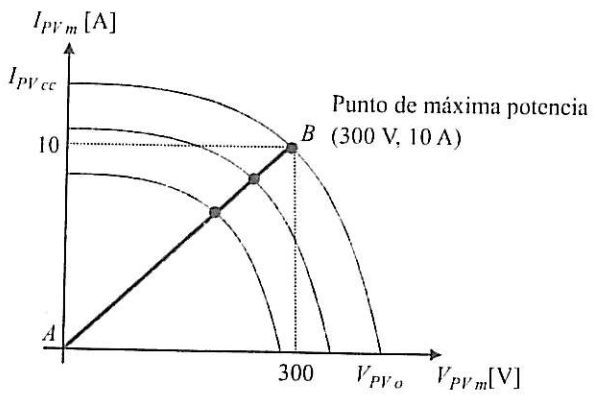


FIGURA 8.17.2 Estrategia de control destinada a imponer el punto de máxima potencia en los paneles solares fotovoltaicos.

**SOLUCIÓN**

**Apartado 1)**

Si se quiere que los paneles estén en su punto de máxima potencia, la tensión, de acuerdo con los datos del enunciado, deberá ser de 300 V.

Para un rectificador trifásico totalmente controlado como el que se muestra en la Figura 8.17.1, si se supone que la corriente por la inductancia del filtro,  $i_L$ , nunca se llega a anular, el valor medio de la tensión que el rectificador impone al filtro viene dado por:

$$V_{dm} = \frac{3}{\pi} V_{ABp} \cdot \cos(\alpha) = \frac{3}{\pi} \cdot 220 \text{ V} \sqrt{2} \cdot \cos(\alpha) = 297,1 \text{ V} \cdot \cos(\alpha) \quad (8.17.1)$$

donde  $V_{ABp}$  es la amplitud de la tensión de línea que alimenta al rectificador, que en esta ocasión coincide con el valor de pico de la tensión de línea de la red, ya que el transformador de aislamiento tiene relación de 1:1.

Por tanto, el ángulo de disparo debe ser  $\alpha = 180^\circ$ , para conseguir la máxima tensión negativa, cuyo valor resulta, según los cálculos anteriores, de  $-297,1 \text{ V}$ .

Este valor se aproxima mucho a los 300 V del punto de máxima potencia que presenta la instalación de paneles fotovoltaicos.

*con 230V => α = 185°*

**Apartado 2)**

Teniendo en cuenta la estrategia de control, que se presenta en la Figura 8.17.2, el ángulo mínimo será aquel que proporcione tensión cero en la carga. Considerando la tensión media que proporciona el rectificador, que viene dada por (8.17.1), el ángulo de disparo que proporciona tensión media cero es  $\alpha = 90^\circ$ . Por otro lado, el ángulo que proporciona el valor medio máximo se ha calculado en el apartado anterior, teniendo en cuenta que es el que permite alcanzar el valor más negativo de tensión media en el rectificador. Por tanto, la respuesta será:

$$90^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$$

*con 230V 90° ≤ α ≤ 185°*

**Apartado 3)**

De acuerdo con el dato de pérdidas, estimadas en 150 W, para conseguir inyectar energía en la red, se requerirá que:

$$I_{pvm} \cdot V_{pvm} \geq 150 \text{ W}$$

Considerando que la ley de control, recogida en la Figura 8.17.2, puede entenderse también como el lugar geométrico de los puntos de máxima potencia, a partir de ella podrá determinarse cuál es la tensión media que deberá imponer el rectificador en este caso.

Por otro lado, la ley de control de la Figura 8.17.2 puede expresarse mediante la ecuación general:

$$I_{pvm} = K \cdot V_{pvm}$$

que particularizada para el punto de máxima potencia (300 V, 10 A) permite calcular  $K$ :

$$K = \frac{10 \text{ A}}{300 \text{ V}} = \frac{1}{30} \text{ A/V}$$

De manera que la ley de control queda:

$$I_{pvm} = K \cdot V_{pvm}$$

y aplicando la ecuación de la ley de control del convertidor,  $i = v/30$ , se tiene:

$$K \cdot V_{pvm}^2 \geq 150 \text{ W} \Rightarrow V_{pvm}^2 \geq 4500 \text{ V}^2$$

clar

o a la red tri-  
paneles solares  
de continua

de conseguir

17.1 Puente  
tristores  
como

peratura ade-  
na a circuito

ión del ángu-  
nente (nunca

a ley de con-  
s lineal y si-  
aro de los ti-  
en la Figura

o LC son de  
de las cuales  
asegurar que

ada a imponer  
solares

y de aquí:

$$V_{PV,m} \geq 67,1 \text{ V}$$

Ya que en régimen permanente el valor medio de la tensión en la inductancia del filtro ha de ser nulo, el valor medio de tensión que proporciona el rectificador coincide con el valor medio de tensión en los paneles. Por tanto, a partir de (8.17.1), el valor medio de tensión requerido vendrá dado por:

$$297,1 \text{ V} \cdot \cos(\alpha) \leq -67,1 \text{ V}$$

Y sabiendo que para inyectar potencia en la red se requiere  $90^\circ < \alpha < 180^\circ$ , se tiene:

$$\alpha \leq \arccos\left(\frac{-67,1}{297,1}\right) \Rightarrow \alpha \leq 103^\circ$$

que da lugar a un margen de variación para el ángulo  $\alpha$  de:

$$103^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$$

Tal y como se muestra en la Figura 8.17.3, para todos los valores de  $\alpha$  comprendidos entre  $103^\circ$  y  $180^\circ$ , siempre que las condiciones de funcionamiento de los paneles fotovoltaicos lo permitan, se podría devolver energía a la red, puesto que se compensarían las pérdidas internas, estimadas en 150 W.

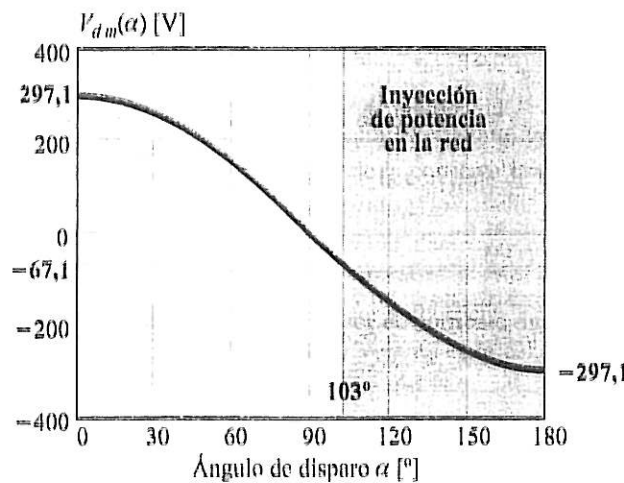


FIGURA 8.17.3 Valor medio de la tensión aplicada por el rectificador, en función del ángulo de disparo de los tiristores. Se ha marcado en gris la zona de valores de  $\alpha$  que permiten la inyección de potencia en la red.

**PROBLEMA 8.18** Un equipo electrónico posee como única fuente de energía eléctrica un panel de células fotovoltaicas que tiene una curva tensión-corriente que corresponde a la ecuación:

$$I_G = \lambda - 10^{-2} \cdot v_G^2 \quad \forall I_G \geq 0, \quad v_G \geq 0$$

siendo  $v_G$  la tensión en el panel en voltios,  $I_G$  la corriente suministrada por el panel en amperios y  $\lambda$  un parámetro función de la radiación solar incidente, también expresado en amperios. La energía que entrega el panel se utiliza para cargar una batería de 12 voltios nominales de la que se alimenta todo el equipo electrónico. Los valores reales de la tensión de la batería varían en función de su estado de carga entre 10,5 y 13,5 voltios. Entre el panel de células fotovoltaicas y la batería se ha conectado en cascada un convertidor elevador, tal como se muestra en la Figura 8.18.1.

Para aprovechar al máximo la energía que puede dar el panel de células fotovoltaicas, se pretende hacer funcionar siempre dicho panel en un punto  $(V_{Gpmax}, I_{Gpmax})$  correspondiente a que suministre la máxima energía posible para cada valor del parámetro  $\lambda$ . Esto se consigue mediante la determinación adecuada del ciclo de trabajo  $d$  del convertidor elevador, de lo que se ocupa el circuito de control del mismo. Todos los elementos