

Asignatura: Electrónica de Potencia (1194)
Especialidad: Automática y Electrónica

Fecha: 10/09/2007
Convocatoria: Septiembre

Publicación de preactas: 25/09/2007

Revisión del examen: 28/09/2007

PROBLEMA 1. (3,5 puntos)

Una carga resistiva R de 6Ω se conecta a una red trifásica mediante un transformador estrella-estrella de relación de vueltas 8:1, un rectificador semicontrolado y un filtro LC. La red trifásica tiene un valor nominal de 220V fase-neutro y 50Hz aunque puede presentar variaciones de tensión de $\pm 10\%$. Suponiendo los elementos reactivos suficientemente grandes y los semiconductores ideales, se pide:

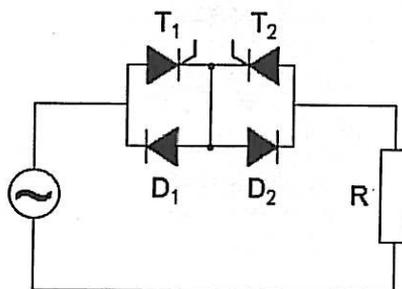
- Dibujar el circuito completo.
- Calcular el margen de variación del ángulo α de disparo de los tiristores para mantener la tensión en la carga constante e igual a 48V ante variaciones de la tensión de red.
- Dibujar la corriente por la carga indicando qué semiconductores conducen en cada instante.

Para mejorar la regulación dinámica en la carga, se sustituye el circuito anterior por otro formado por: transformador estrella-estrella 8:1, rectificador de doble onda no controlado, filtro LC. Por último, se coloca un convertidor CC/CC reductor entre el condensador de filtro y la carga.

- Dibujar el circuito completo.
- Calcular la variación del ciclo de trabajo del interruptor del convertidor reductor para mantener la tensión en la carga constante e igual a 48V.
- Calcular el valor mínimo del condensador del filtro LC del rectificador que asegure que la carga sigue siendo alimentada al menos durante 500 ms cuando se produzca un corte de energía (despreciar la energía almacenada en la bobina y en el filtro LC del reductor).

noche
PROBLEMA 2. (1,5 puntos)

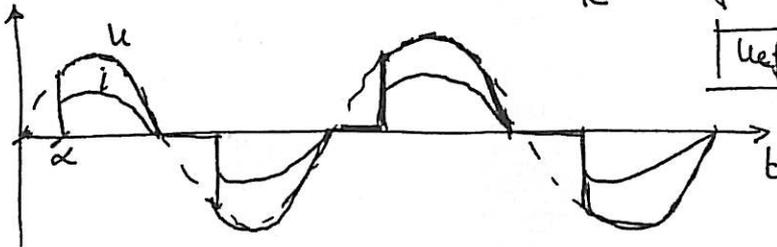
En el regulador de alterna de la figura, asumiendo todos los componentes ideales, se pide calcular y representar gráficamente las formas de onda de tensión e intensidad en la carga ($R = 10\Omega$) en los casos extremos de la tensión alterna de entrada ($85 - 265 V_{ef}$) para que la potencia entregada a la carga sea constante e igual a 1kW



PROBLEMA 3

$$P = \frac{U_{ef}^2}{R} \Rightarrow U_{ef}^2 = P \cdot R = 1 \text{ kW} \cdot 10 \Omega = 10^4$$

$$U_{ef} = 100 \text{ V}_{ef}$$



$$P_m = \frac{1}{T} \int_{\alpha}^{\pi} u \cdot i \cdot dt = \frac{1}{T} \int_{\alpha}^{\pi} \frac{U_p^2 \cdot \sin^2 \omega t}{R} dt$$

$$= \frac{U_p^2}{T \cdot R} \int_{\alpha}^{\pi} \frac{1 - \cos 2\omega t}{2} dt = \frac{U_p^2}{2T \cdot R} \cdot \left[\pi - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right]$$

a) $V_{in} = 85 \text{ V}_{ef}$ | Imposible obtener 100V_{ef} desde 85V_{ef}.

$$\pi - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} = \frac{1 \text{ kW} \cdot 2\pi \cdot R}{(85 \cdot \sqrt{2})^2} = \frac{2\pi \cdot 10^4}{2 \cdot 85^2} \Rightarrow \alpha \nexists$$

b) $V_{in} = 265 \text{ V}_{ef}$

$$\pi - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} = \frac{2\pi \cdot 10^4}{2 \cdot 265^2} \Rightarrow \alpha = 126^\circ$$

PROBLEMA 5.4 Se desea controlar la potencia aplicada a una carga RL , y para ello es necesario diseñar un regulador de alterna monofásico que está conectado a la red de 230 V/50 Hz. Para la realización del interruptor de alterna se utilizarán dos diodos y dos SCR. La carga tiene una componente resistiva $R = 10 \Omega$ y una componente inductiva $L = 20 \text{ mH}$.

El control del regulador lo realiza un algoritmo que decide en función de unas variables físicas transferir a la carga una potencia que puede variar entre el valor máximo y un valor P_{min} .
Se pide:

- 1) Dimensionar los dispositivos del regulador.
- 2) Se estima que para la potencia mínima que se puede transferir a la carga P_{min} el ángulo de disparo es de 90° . Determinar el valor de la potencia P_{min} .

SOLUCIÓN

Apartado 1)

En la Figura 5.4.1 se presenta el circuito que se va a utilizar.

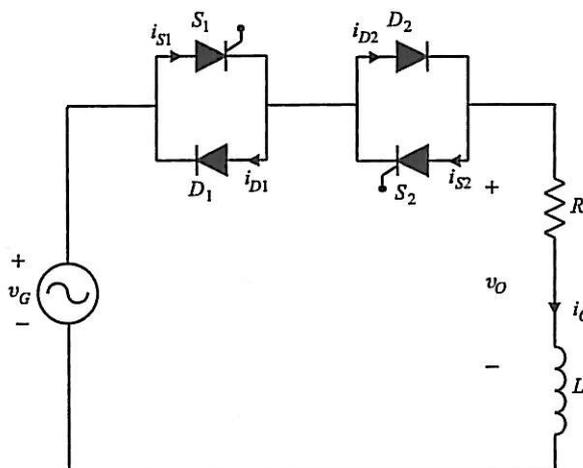


FIGURA 5.4.1 Regulador de alterna con dos tiristores (SCR) y dos diodos.

La potencia transferida a la carga será máxima cuando se utilice el ángulo de disparo mínimo; en esa situación circulará por los dispositivos la corriente máxima. En un regulador de alterna con carga RL los valores límite para el ángulo de disparo vienen dados por la siguiente expresión:

$$\varphi \leq \alpha \leq \pi; \quad \varphi = \arctg \frac{\omega L}{R} = \arctg \frac{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 20 \cdot 10^{-3}}{10} = 0,56 \text{ rad} = 32,14^\circ \quad (5.4.1)$$

Suponiendo un comportamiento ideal de los dispositivos, cuando la potencia entregada a la carga es máxima, la corriente en la carga es senoidal y la tensión en extremos de la carga es igual a la tensión de red, tal como se muestra en la Figura 5.4.2.

$$|Z| = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2} = \sqrt{10^2 + (2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 20 \cdot 10^{-3})^2} = 11,81 \Omega \quad (5.4.2)$$

El valor eficaz de $I_O \Rightarrow I_{Oef} = \frac{V_O}{|Z|} = \frac{230 \text{ V}}{11,81 \Omega} = 19,5 \text{ A}$

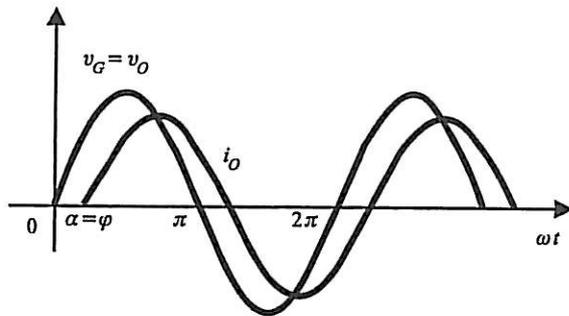


FIGURA 5.4.2 Tensión y corriente de salida para transferencia máxima de potencia.

En la Figura 5.4.3 se muestran las formas de onda de corriente por la carga y por los dispositivos del interruptor de alterna. A continuación se calculan los valores medios y eficaces de corriente por los dispositivos que, junto con el valor máximo de tensión que debe bloquear el interruptor, nos sirven para elegir los dispositivos.

Valor máximo de corriente por los dispositivos:

$$I_{S1p} = I_{S2p} = I_{D1p} = I_{D2p} = I_{Oef} \cdot \sqrt{2} = 19,5 \cdot \sqrt{2} = 27,57 \text{ A}$$

Valor medio de corriente por los dispositivos:

$$I_{S1m} = I_{S2m} = I_{D1m} = I_{D2m} = \frac{I_{Oef} \cdot \sqrt{2}}{\pi} = \frac{19,5 \cdot \sqrt{2}}{\pi} = 8,78 \text{ A} \tag{5.4.3}$$

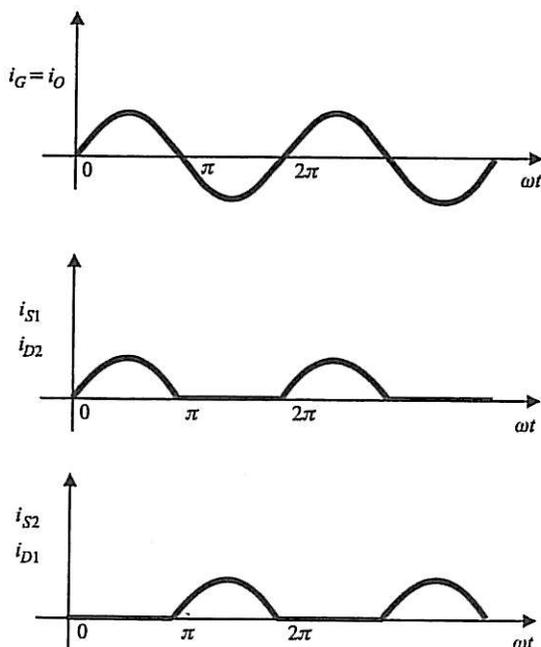


FIGURA 5.4.3 Forma de onda de corriente en la carga (i_O) y dispositivos semiconductores.

Valor eficaz de corriente por los dispositivos:

$$I_{S1\text{ef}} = I_{S2\text{ef}} = I_{D1\text{ef}} = I_{D2\text{ef}} = \frac{I_{O\text{ef}} \cdot \sqrt{2}}{2} = \frac{19,5 \cdot \sqrt{2}}{2} = 13,79 \text{ A}$$

Tensión máxima $\Rightarrow 230 \cdot \sqrt{2} \Rightarrow$ Será bloqueada por el conjunto diodo-SCR en serie

Apartado 2)

En la Figura 5.4.4 se presenta la tensión de entrada y la corriente que circula por la carga en una situación general en la que el ángulo de disparo $\alpha > \varphi$ y el ángulo de extinción para el cual la corriente se hace cero viene dado por β . La expresión matemática de la corriente por cada uno de los SCR se presenta a continuación. Resolviendo la ecuación trascendente mediante iteraciones, se obtiene el valor para β .

$$i_o = \frac{\sqrt{2} \cdot V_{O\text{ef}}}{|Z|} \left[\text{sen}(\omega t - \varphi) - \text{sen}(\alpha - \varphi) e^{\frac{R}{L}(\frac{\alpha}{\omega} - t)} \right] \Rightarrow \text{sen}(\beta - \varphi) = \text{sen}(\alpha - \varphi) e^{\frac{R}{L}(\frac{\alpha}{\omega} - \frac{\beta}{\omega})}$$

(5.4.4)

$$\text{sen}(\beta - 0,56) = \text{sen}\left(\frac{\pi}{2} - 0,56\right) \cdot e^{\frac{10}{20 \cdot 10^{-3}} \left(\frac{\pi/2 - \beta}{100 \cdot \pi}\right)} \Rightarrow \beta = 3,68 \text{ rad} = 211^\circ$$

(5.4.3)

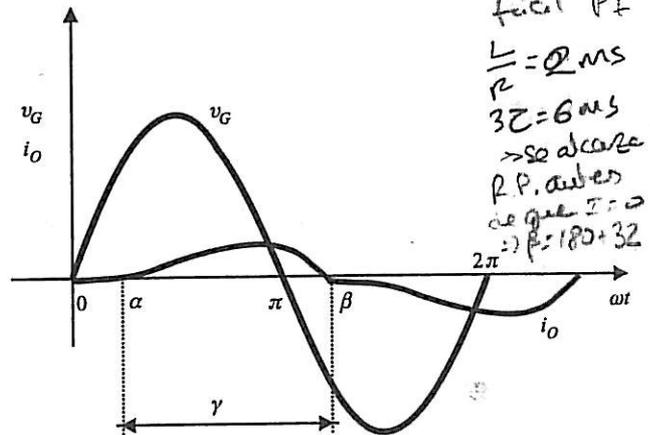


FIGURA 5.4.4 Forma de onda de la tensión de entrada (v_G) y corriente de salida (i_o).

El valor eficaz y el valor medio de la corriente por cada SCR vienen dados por:

$$I_{S1\text{ef}} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\beta} \left\{ \frac{\sqrt{2} \cdot V_{O\text{ef}}}{|Z|} \left[\text{sen}(\omega t - \varphi) - \text{sen}(\alpha - \varphi) e^{\frac{R}{L}(\frac{\alpha}{\omega} - t)} \right] \right\}^2 \cdot d(\omega t)} = 8,5 \text{ A}$$

(5.4.5)

$$I_{S1m} = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\beta} \frac{\sqrt{2} \cdot V_{O\text{ef}}}{|Z|} \left[\text{sen}(\omega t - \varphi) - \text{sen}(\alpha - \varphi) e^{\frac{R}{L}(\frac{\alpha}{\omega} - t)} \right] \cdot d(\omega t) = 4,5 \text{ A}$$

carga

La corriente eficaz por la carga puede ser calculada con la siguiente ecuación:

$$I_{Oef} = \sqrt{(I_{S1ef})^2 + (I_{S2ef})^2} = 12 \text{ A} \quad (5.4.6)$$

En estas condiciones la potencia activa aplicada a la carga viene dada por la siguiente ecuación:

$$P_{min} = P = R \cdot (I_{Oef})^2 = 10 \cdot 12^2 = 1440 \text{ W} \quad (5.4.7)$$

5.1.1.2 Control integral

PROBLEMA 5.5 El circuito regulador de tensión alterna representado en la Figura 5.5.1 se utiliza para el control de potencia de un horno eléctrico, de manera que aplica un ciclo de trabajo consistente en conectar a la carga un cierto número de ciclos de red (n) seguido de su desconexión durante otro determinado número de ciclos (m), Figura 5.5.2. El periodo del ciclo de trabajo será de $n + m = 100$ ciclos de red. El regulador se conecta a la red monofásica de 220 V y 50 Hz, siendo la resistencia calefactora de 4Ω . Si la potencia máxima prevista para entregar al horno es de 8 kW, en estas condiciones, responder a las siguientes cuestiones:

- 1) Calcular el ciclo de trabajo necesario.
- 2) Determinar el factor de potencia a la entrada del regulador.
- 3) Corriente media y eficaz en cada tiristor.

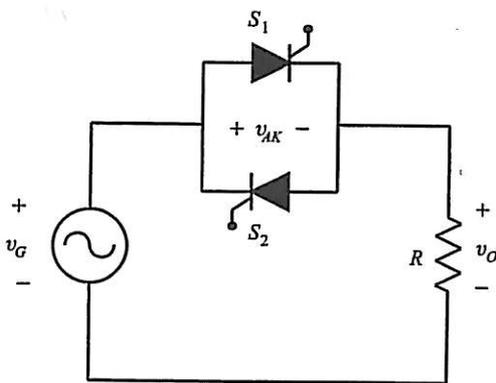


FIGURA 5.5.1 Regulador de alterna mediante dos tiristores en antiparalelo.

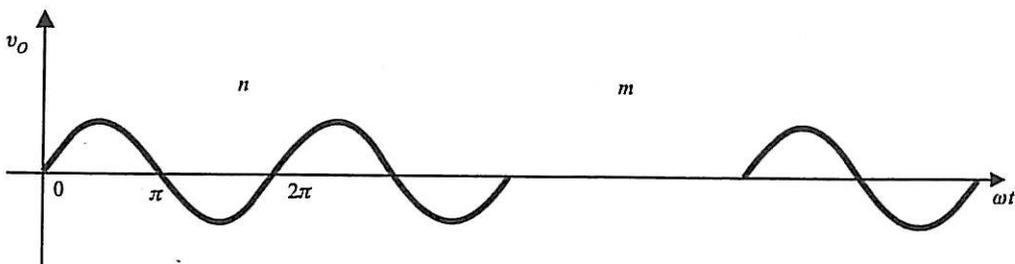


FIGURA 5.5.2 Tensión aplicada sobre la carga.

SOLUCIÓN

Apartado 1)

(5.4.6) Si P_O es la potencia eléctrica entregada a la carga

$$P_O = \frac{V_{Oef}^2}{R} \tag{5.5.1}$$

la tensión eficaz necesaria para disipar esa potencia en la carga R será:

$$V_{Oef} = \sqrt{P_O R} = \sqrt{8000 \cdot 4} = 178,8 \text{ V}$$

Si la tensión de entrada es $v_G = V_{Gp} \text{ sen } \omega t$, la tensión eficaz a la salida del circuito será:

$$V_{Oef} = \left[\frac{n}{2\pi(n+m)} \int_0^{2\pi} 2V_{Gef}^2 \text{sen}^2 \omega t \cdot d(\omega t) \right]^{1/2} = V_{Gef} \sqrt{k} \tag{5.5.2}$$

siendo $k = \frac{n}{n+m}$.

En este caso el ciclo de trabajo será:

$$k = \left(\frac{V_{Oef}}{V_{Gef}} \right)^2 = \left(\frac{178,88}{220} \right)^2 = 0,66$$

Apartado 2)

El factor de potencia a la entrada, si consideramos despreciables las pérdidas del convertidor, es:

$$F_P = \frac{P_O}{V_{Gef} \cdot I_{Gef}} = \frac{I_{Oef}^2 R}{V_{Gef} \cdot I_{Gef}} = \frac{V_{Oef}}{V_{Gef}} = \sqrt{k} = 0,81$$

Apartado 3)

Si la amplitud de la corriente en el circuito es $I_{Op} = \frac{V_{Gp}}{R}$, la corriente media en cada tiristor será:

$$I_{Sm} = \frac{n}{2\pi(n+m)} \int_0^\pi I_{Op} \text{sen } \omega t \cdot d(\omega t) = \frac{k \cdot I_{Op}}{\pi} \tag{5.5.3}$$

Por tanto, sustituyendo en (5.5.3) obtendremos:

$$I_{Tm} = \frac{0,66 \cdot 77,78}{\pi} = 16,34 \text{ A}$$

Por otra parte, si la corriente eficaz en cada tiristor es I_{Sef} , y es la misma en cada tiristor, se cumplirá que $I_{S1ef}^2 + I_{S2ef}^2 = I_{Oef}^2$; entonces $2I_{Sef}^2 = I_{Oef}^2$ y, por tanto, resulta que:

$$I_{Sef} = \frac{I_{Oef}}{\sqrt{2}} = \frac{V_{Oef}}{R\sqrt{2}} \tag{5.5.4}$$

y despejando en (5.5.4) obtenemos:

$$I_{Sef} = \frac{V_{Oef}}{\sqrt{2}R} = \frac{178,8}{\sqrt{2} \cdot 4} = 31,62 \text{ A}$$

para el con-
nectar a la
número de
4 Ω. Si la
siguientes

v
ωt

PROBLEMA 5.6 En el circuito de la Figura 5.6.1 se representa un convertidor alterna-alterna implementado mediante TRIAC. Se pide:

- 1) Si el control del circuito fuese de tipo integral, ¿qué relación debe cumplir n (n.º de ciclos que conduce S_1) y m (n.º de ciclos que no conduce S_1) para conseguir una tensión eficaz de salida de 360 V? Dibujar la tensión en la carga.
- 2) Para un control por fase del circuito, calcular el ángulo de disparo que proporciona la misma tensión eficaz de salida. Dibujar la forma de onda de tensión en la carga.

Datos:

$$v_G = 2 \cdot V_{Gp} \sin(\omega t); \quad L = 10 \mu\text{H}; \quad R = 10 \Omega; \quad V_{Gp} = \sqrt{2} \cdot 220 \text{ V}; \quad f = 50 \text{ Hz}$$

Despreciar la caída de tensión en los tiristores.

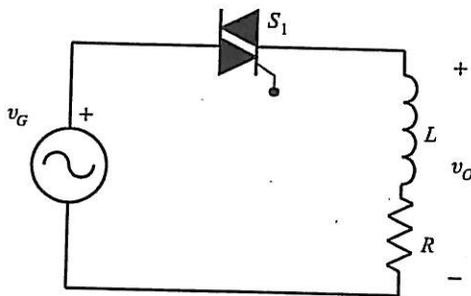


FIGURA 5.6.1 Regulador de alterna monofásico con carga RL .

SOLUCIÓN

Apartado 1)

El regulador de alterna presentado en la Figura 5.6.1 debe alimentar una carga modelada mediante una resistencia y una inductancia. Es conveniente, antes de comenzar con la resolución numérica del problema, cuantificar el carácter inductivo que presenta dicha carga, teniendo en cuenta que para este caso la resistencia tiene un valor de 10Ω , y la bobina de $10 \mu\text{H}$.

Si consideráramos la carga conectada directamente a la tensión de entrada, sin el TRIAC y, por tanto, trabajando en régimen sinusoidal permanente, se conseguiría un ángulo de retraso φ de la corriente respecto de la tensión que puede ser obtenido mediante la expresión (5.6.1):

$$\varphi = \arctg \frac{\omega L}{R} \tag{5.6.1}$$

que para los datos de este problema corresponde a:

$$\varphi = \arctg \frac{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 10 \cdot 10^{-6}}{10} = 18 \cdot 10^{-3} \text{ grados}$$

Dado el valor de φ obtenido se concluye que la aportación inductiva de esta carga a la frecuencia de 50 Hz es prácticamente despreciable. Por tanto, la carga va a ser considerada a todos los efectos como una resistencia pura.

Una vez tenida en cuenta la simplificación efectuada, la tensión aplicada sobre la carga se muestra en la Figura 5.6.2.

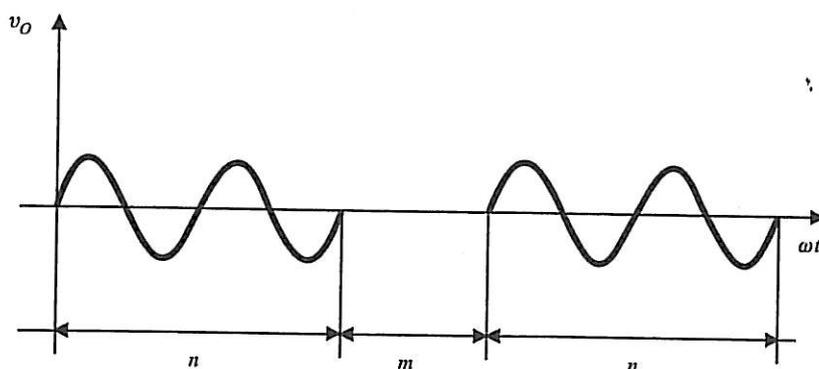


FIGURA 5.6.2 Forma de onda de la tensión aplicada sobre la carga $v_O(\omega t)$.

Conocida la forma de onda de la tensión de salida, el valor eficaz de dicha tensión se calculará aplicando la expresión general de valor eficaz, que para este caso concreto se detalla en la expresión (5.6.2):

$$V_{Oef}^2 = \frac{n}{2\pi(n+m)} \int_0^{2\pi} (2V_{Gp} \text{sen } \omega t)^2 d(\omega t) = \frac{4nV_{Gp}^2}{2\pi(n+m)} \int_0^{2\pi} \frac{1 - \cos 2\omega t}{2} d(\omega t) =$$

$$= \frac{4nV_{Gp}^2}{4\pi(n+m)} \left[\omega t - \frac{\text{sen } 2\omega t}{2} \right]_0^{2\pi} = \frac{V_{Gp}^2 2\pi n}{\pi(n+m)} = \frac{2nV_{Gp}^2}{n+m} \quad (5.6.2)$$

Teniendo en cuenta la relación mostrada por la constante A, (5.6.3):

$$\frac{V_{Oef}^2}{V_{Gp}^2} = A = \frac{2n}{n+m} \rightarrow A = \frac{360^2}{(\sqrt{2} \cdot 220)^2} = 1,338 \quad (5.6.3)$$

Se puede despejar de (5.6.3), la relación que debe cumplir n y m , (5.6.4):

$$\frac{n}{m} = \frac{A}{2-A} \rightarrow \frac{n}{m} = \frac{1,338}{2-1,338} = 2 \quad (5.6.4)$$

Por lo tanto, para conseguir las condiciones impuestas por el enunciado de este problema, n debe ser el doble que m .

Apartado 2)

Si no fuera posible utilizar un control integral y la solución requiriera utilizar un control de fase, sería necesario calcular el ángulo de disparo α que proporcionaría a la salida la misma tensión eficaz de 360 V. Para este caso la tensión de salida está representada en la Figura 5.6.3.

De nuevo, aplicando la expresión general de valor eficaz sobre la forma de onda representada en la Figura 5.6.3, se puede obtener la relación de dicha tensión eficaz con el ángulo de disparo α (5.6.5):

$$V_{Oef}^2 = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} (2V_{Gp} \text{sen } \omega t)^2 d(\omega t) = \frac{4V_{Gp}^2}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \frac{1 - \cos 2\omega t}{2} d(\omega t) =$$

$$= \frac{4V_{Gp}^2}{2\pi} \left[\omega t - \frac{\text{sen } 2\omega t}{2} \right]_{\alpha}^{\pi} = \frac{2V_{Gp}^2}{\pi} \left[(\pi - \alpha) - \frac{1}{2} (\text{sen } 2\pi - \text{sen } 2\alpha) \right] = \frac{2V_{Gp}^2}{\pi} \left(\pi - \alpha + \frac{1}{2} \text{sen } 2\alpha \right)$$

$$V_{Oef} = V_{Gp} \sqrt{\frac{2}{\pi} \left(\pi - \alpha + \frac{\text{sen } 2\alpha}{2} \right)} \quad (5.6.5)$$

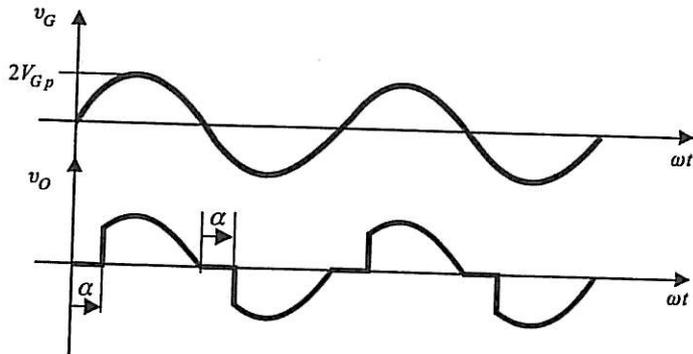


FIGURA 5.6.3 Forma de onda de la tensión aplicada sobre la carga $v_O(\omega t)$ utilizando control de fase.

Dado que α no se puede despejar de forma explícita, el valor definitivo se obtiene iterando, o sea dando valores a α hasta que se consiga el valor eficaz objetivo de 360 V. Con este procedimiento se obtiene que $\alpha = 75^\circ = 1,3$ rad.

5.1.2 Reguladores diferenciales

5.1.2.1 Control de fase

PROBLEMA 5.7 El regulador monofásico de onda completa de la Figura 5.7.1 actúa sobre una carga resistiva pura de valor 10Ω . La tensión de entrada v_G es de 220 V, 50 Hz. Los tiristores S_1 y S_2 se disparan con un ángulo de disparo de valor 0 radianes y los tiristores S_3 y S_4 se disparan con un ángulo de valor $\pi/2$ radianes. Se pide:

- 1) Obtener la expresión general del valor eficaz de la tensión de salida y particularizarla para el circuito.
- 2) Obtener las expresiones de las corrientes media y eficaz de cada tiristor y particularizarlas para el circuito.
- 3) Obtener la expresión de la corriente eficaz de salida y particularizarla para el circuito.
- 4) Obtener la expresión general del factor de potencia de entrada y particularizarlo para el circuito.

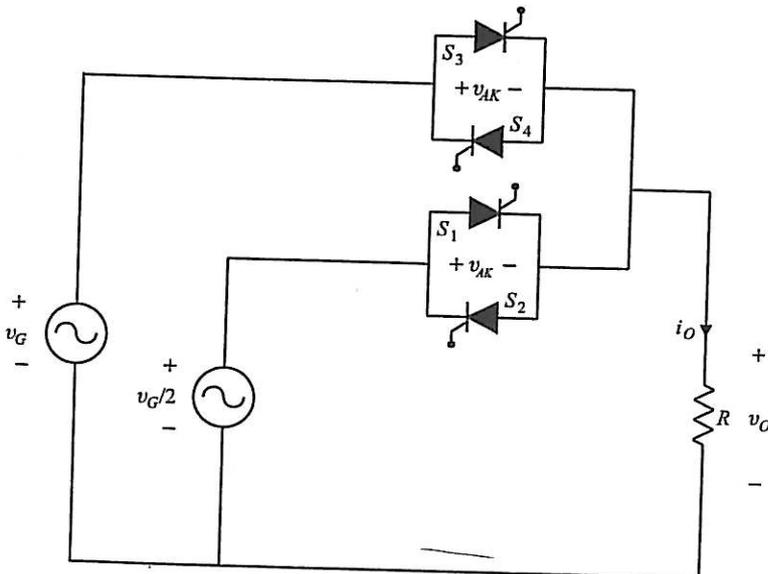


FIGURA 5.7.1 Circuito regulador con carga resistiva pura.

la tensión de entrada es negativa y la de salida debe ser positiva; de nuevo debemos disparar dos de los tiristores del convertidor positivo, en este caso S_2S_3 . En el tercer semiperiodo la tensión de entrada es positiva y la de salida debe ser negativa; en este caso será necesario disparar dos tiristores del convertidor negativo, en concreto S_5S_8 . Finalmente, en el cuarto semiperiodo la tensión de entrada es negativa y la de salida debe ser también negativa; por tanto, será necesario disparar dos de los tiristores del convertidor negativo, en este caso S_6S_7 . A partir del quinto semiperiodo se repite la secuencia de disparo descrita.

Apartado 4)

Dado que la definición de valor eficaz viene dada por la raíz cuadrada de la integral de la señal elevada al cuadrado (área) distribuida durante un periodo, esto nos permite realizar el cálculo del valor eficaz mediante la tensión de un semiperiodo, ya que las tensiones al cuadrado de todos los semiperiodos son iguales:

$$\begin{aligned} V_{Oef} &= \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (V_{Gp} \text{sen } \omega t)^2 dt} = \sqrt{\frac{1}{4\pi} \int_\alpha^\pi (V_{Gp} \text{sen } \omega t)^2 d(\omega t)} = V_{Gp} \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_\alpha^\pi \text{sen}^2 \omega t d(\omega t)} = \\ &= V_{Gp} \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_\alpha^\pi (1 - \cos 2\omega t) d(\omega t)} = V_{Gp} \sqrt{\frac{1}{2\pi} \left[\omega t - \left(\frac{1}{2} \text{sen } 2\omega t \right) \right]_\alpha^\pi} = \\ &= V_{Gp} \sqrt{\frac{1}{2\pi} \left[\pi - \alpha - \frac{1}{2} (\text{sen } 2\pi - \text{sen } 2\alpha) \right]} \\ &V_{Oef} = V_{Gp} \sqrt{\frac{1}{2\pi} \left[\pi - \alpha + \frac{\text{sen } 2\alpha}{2} \right]} \end{aligned}$$

Dado que en este caso el ángulo de disparo tiene un valor de 30° o $\pi/6$ radianes, el valor de la tensión eficaz aplicada sobre la carga será de:

$$\begin{aligned} V_{Oef} &= V_{Gp} \sqrt{\frac{1}{2\pi} \left[\pi - \alpha + \frac{\text{sen } 2\alpha}{2} \right]} = 220\sqrt{2} \sqrt{\frac{1}{2\pi} \left[\pi - \frac{\pi}{6} + \frac{\text{sen } \frac{2\pi}{6}}{2} \right]} = 220\sqrt{2} \sqrt{\frac{1}{2\pi} \left[\frac{5\pi}{6} + \frac{\sqrt{3}}{2} \right]} \\ &\Rightarrow V_{Oef} = 216,71 \text{ V} \end{aligned}$$

PROBLEMA 5.15 Se dispone de un cicloconvertidor monofásico como el mostrado en la Figura 5.15.1, donde el bloque A actúa como rectificador positivo y está formado por un rectificador controlado de onda completa, y el bloque B actúa como rectificador negativo y también está compuesto por un rectificador controlado de onda completa. La tensión de entrada corresponde a la tensión típica de red ($220V_{ef}$, 50 Hz). La carga puede ser modelada como una resistencia de 10Ω . Se pretende obtener una tensión de salida con una frecuencia de 12,5 Hz. El rectificador positivo se dispara con un ángulo constante de disparo de $\alpha_p = \pi/4$. Se pide:

- 1) Dibujar el circuito.
- 2) Comentar brevemente su funcionamiento.
- 3) Determinar el valor eficaz de la tensión de salida.
- 4) Calcular el valor medio de la corriente de cada tiristor.

ris-
ta y
, en
ser
ca-

a al
inte

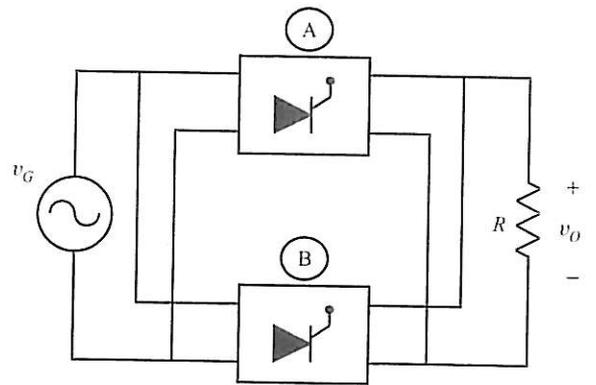


FIGURA 5.15.1 Esquema de bloques del cicloconvertidor monofásico.

SOLUCIÓN

Apartado 1)

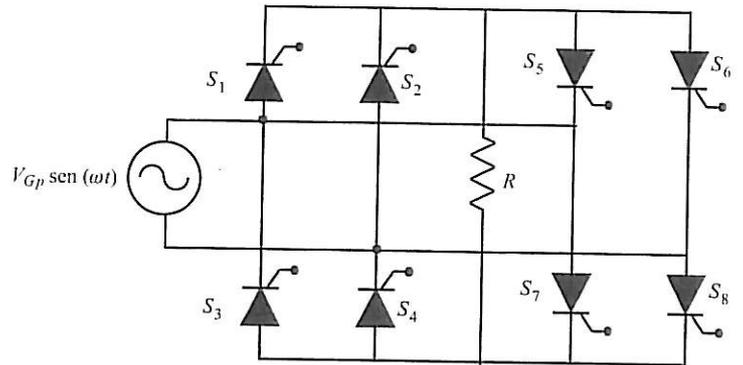


FIGURA 5.15.2 Detalle del cicloconvertidor monofásico.

caz

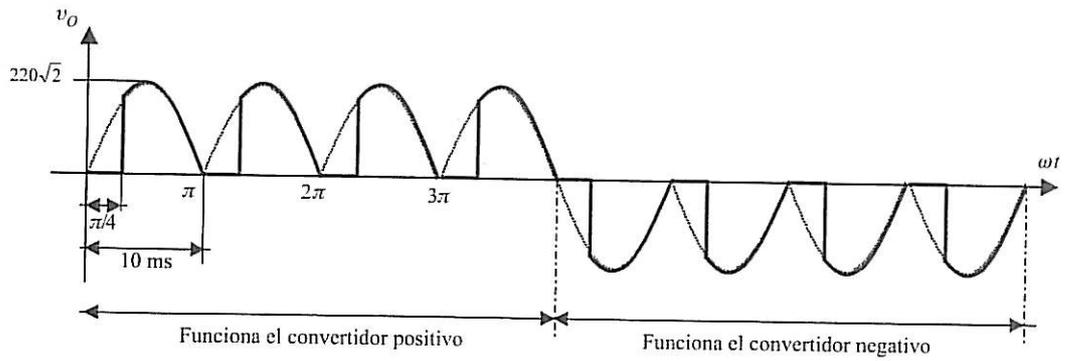


FIGURA 5.15.3 Tensión aplicada a la carga.

Apartado 2)

Aunque normalmente un cicloconvertidor se dispara con ángulos variables para obtener una tensión de salida con menor contenido armónico (más senoidal), en este caso, para simplificar, se mantiene el ángulo de disparo constante tanto para el convertidor positivo como para el negativo.

nde
ta,
de
de
de

Para obtener una tensión de salida, cuyo armónico de menor frecuencia sea de 25 Hz, se dispara el convertidor positivo durante dos ciclos de la tensión de entrada, y el convertidor negativo durante otros dos. Cada uno de los convertidores actúa como un rectificador de doble onda controlado, por lo que, modificando el ángulo de disparo, se modifica a su vez el valor eficaz de la tensión de salida.

Apartado 3)

En realidad, el valor eficaz de salida se puede calcular con un solo semiciclo.

$$\begin{aligned}
 V_{Oef} &= \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (V_{Gp} \text{sen } \omega t)^2 dt} = V_{Gp} \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_{\pi/4}^{\pi} \text{sen}^2 \omega t d(\omega t)} = V_{Gp} \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_{\pi/4}^{\pi} (1 - \cos 2\omega t) d(\omega t)} = \\
 &= 220\sqrt{2} \sqrt{\frac{1}{2\pi} \left[\omega t - \left(\frac{1}{2} \text{sen } 2\omega t \right) \right]_{\pi/4}^{\pi}} = 220\sqrt{2} \sqrt{\frac{1}{2\pi} \left[\frac{3\pi}{4} + \frac{1}{2} \right]} \\
 &\Rightarrow V_{Oef} = 209,77 \text{ V}
 \end{aligned}$$

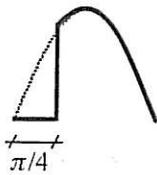


FIGURA 5.15.4 Detalle de un semiciclo positivo.

Apartado 4)

La corriente por cada tiristor será:

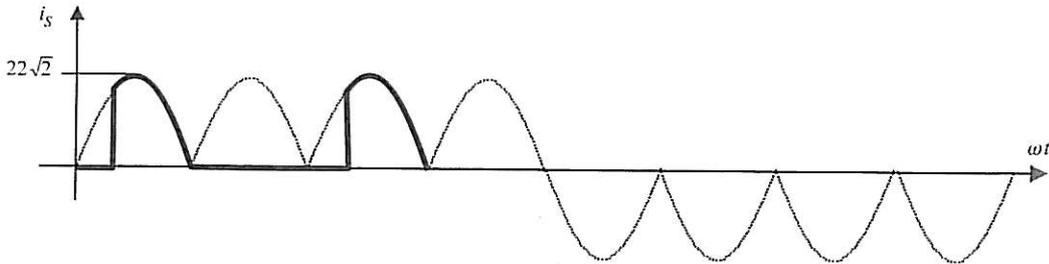


FIGURA 5.15.5 Corriente que atraviesa cada tiristor, en concreto S₁ y S₄.

Por lo tanto, el valor medio será:

$$I_{Sm} = \frac{1}{4 \cdot 2\pi} \int_{\pi/4}^{\pi} 22\sqrt{2} \text{sen } \omega t d(\omega t) = \frac{22\sqrt{2}}{4 \cdot 2\pi} [-\cos \omega t]_{\pi/4}^{\pi} = \frac{22\sqrt{2}}{4 \cdot 2\pi} \left[\frac{\sqrt{2}}{2} + 1 \right] \Rightarrow I_{Sm} = 2,11 \text{ A}$$

5.3.2 Cicloconvertidores trifásicos

PROBLEMA 5.16 Se desea mover, de forma lenta y controlada, un motor síncrono monofásico, de tensión nominal 150 V, que presenta una impedancia compuesta por $R = 1,5 \Omega$ y $L = 55 \text{ mH}$. Para ello se dispone de un cicloconvertidor trifásico formado por puentes de tiristores y conectado a la red trifásica de 230/400 V, como el de la Figura 5.16.1. Se desea aplicar señales alternas de frecuencia entre 3 y 11 Hz.