

CONVOCATORIA ORDINARIA CURSO 2007/08: 13 de Junio de 2008

Electrónica de Potencia

3º Ingeniería Técnica Industrial: Electrónica Industrial

Cuestión 1 (1 punto, tiempo recomendado 15 minutos)

Para el circuito de la Figura C1, donde el ángulo de disparo del tiristor T es de 90° ,

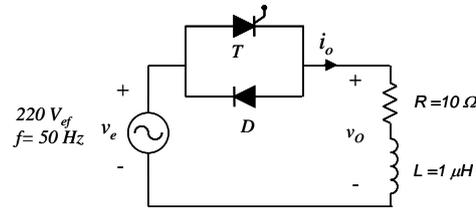


Figura C1

Se pide:

1. Representar la tensión (v_o) y corriente (i_o) en la carga. Indicar razonadamente qué tipo de conversión de energía realiza el circuito.
2. Determinar la tensión ánodo-cátodo máxima directa e inversa que soportan los interruptores.

NOTA: Suponer todos los componentes ideales.

Solución Cuestión 1

Apartado 1

Para $L = 1 \mu\text{H}$:

$$|Z_L| = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 1 \cdot 10^{-6} = 3,14 \cdot 10^{-4} \Omega$$

Teniendo en cuenta que $R = 10 \Omega$, se puede despreciar el efecto de la inductancia L .

En consecuencia, la tensión y corriente en la carga para $\alpha = 90^\circ$ son las dos formas de onda V_o e i_o representadas en la figura 1.

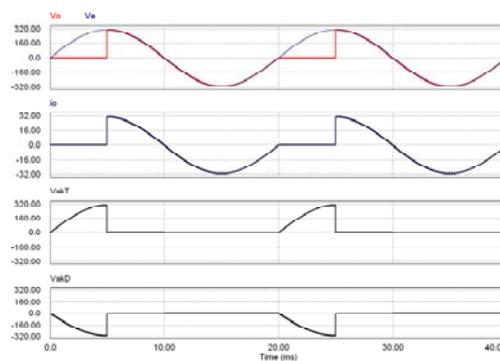


Figura 1. Formas de onda de la tensión y corriente en la carga y de la tensión ánodo-cátodo de los semiconductores

Como puede observar el circuito es un regulador de alterna ya que la tensión de entrada y de salida son señales alternas. Debido a que tenemos un diodo no controlamos el semiciclo negativo.

Apartado 2

La tensión ánodo-cátodo soportada por el tiristor y el diodo son iguales en módulo aunque con signo contrario (ver Figura 1).

Por lo tanto considerando los semiconductores ideales:

Para el tiristor:

La tensión máxima directa soportada por el tiristor es el máximo de la tensión de entrada:



CONVOCATORIA ORDINARIA CURSO 2007/08: 13 de Junio de 2008

Electrónica de Potencia

3º Ingeniería Técnica Industrial: Electrónica Industrial

$$220 \cdot \sqrt{2} = 311 \text{ V}$$

La tensión inversa máxima que soporta es 0 V.

Para el diodo:

La tensión directa máxima que soporta es 0 V y la tensión inversa máxima es la máxima de la entrada:

$$220 \cdot \sqrt{2} = 311 \text{ V}$$

CONVOCATORIA ORDINARIA CURSO 2007/08: 13 de Junio de 2008

Electrónica de Potencia

3º Ingeniería Técnica Industrial: Electrónica Industrial

Cuestión 2 (1,5 puntos, tiempo recomendado 25 minutos)

Se desea seleccionar el interruptor S más adecuado, de entre los dos que se proporcionan (IGBT y MOSFET), para el circuito de la Figura C2 funcionando en régimen permanente.

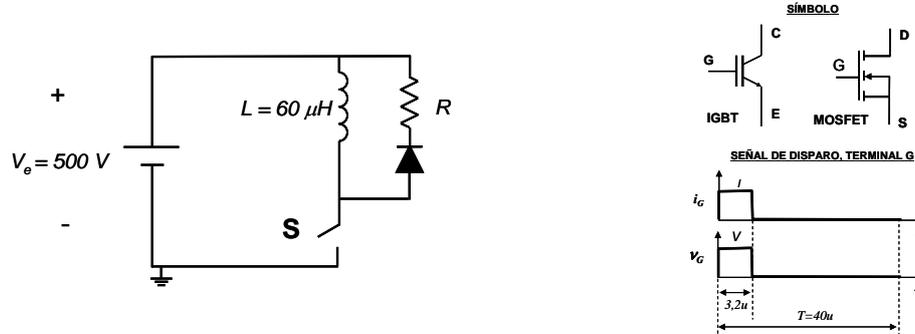


Figura C2

Para ello, **se pide**, comparar ambos dispositivos en función de:

1. La forma de gobierno. Seleccionar cuál es la señal de disparo adecuada, de las proporcionadas en la Figura C2, para cada interruptor. Considerar que el valor de corriente y tensión, así como el tiempo que se aplica la señal, es suficiente para disparar el dispositivo.
2. Las pérdidas en conducción. Suponer que la corriente de la bobina L llega a cero en cada intervalo de conmutación del interruptor S.

NOTA: Los parámetros necesarios del componente deben obtenerse de las hojas de catálogo proporcionadas. Utilizar los valores típicos de los parámetros y suponer despreciables los valores de aquellos parámetros que no estén disponibles en las hojas de catálogo proporcionadas.

Solución Cuestión 2

Apartado 1

En cuanto a la forma de gobierno no existen diferencias. Ambos dispositivos se controlan aplicando una tensión:

- entre el terminal de puerta G y el terminal surtidor S, en el caso del MOSFET.
- entre el terminal de puerta G y el terminal emisor E, en el caso del IGBT.

Cuando la tensión V_{GS} o V_{GE} es positiva, el dispositivo conduce corriente, cuando V_{GS} o V_{GE} es nula, el dispositivo se comporta como un circuito abierto, es decir, no conduce corriente.

CONVOCATORIA ORDINARIA CURSO 2007/08: 13 de Junio de 2008

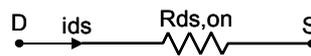
Electrónica de Potencia

3º Ingeniería Técnica Industrial: Electrónica Industrial

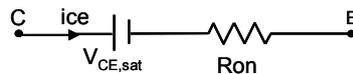
Apartado 2

Para calcular las pérdidas en conducción del dispositivo, utilizamos su modelo en conducción. El modelo en conducción de estos dispositivos es:

MOSFET:



IGBT:



Teniendo en cuenta el modelo en conducción, las pérdidas en conducción de cada dispositivo son:

MOSFET:

$$P = R_{ds,on} \cdot i_{ds,ef}^2$$

donde $R_{ds,on}$ se obtiene de la hoja de catálogo del componente e $i_{ds,ef}$ es el valor eficaz de la corriente que circula por el MOSFET.

IGBT:

$$P = V_{CE,sat} \cdot i_{CE,media} + R_{on} \cdot i_{CE,ef}^2$$

donde $V_{CE,sat}$ y R_{on} son parámetros de la hoja de catálogo del componente, $i_{CE,media}$ es el valor medio de la corriente que circula entre colector y emisor e $i_{CE,ef}$ es el valor eficaz de esa corriente.

Por un lado, de catálogo obtenemos que:

$$R_{ds,on} = 0,6\Omega \quad \text{y} \quad V_{CE,sat} = 3V$$

Como no tenemos la característica estática del IGBT R_{on} se supone despreciable.

Por otro lado, teniendo en cuenta el circuito de la Figura C2, la corriente que circula por el interruptor S es la representada en la Figura 2. Se necesita determinar el valor medio y eficaz de esta corriente.

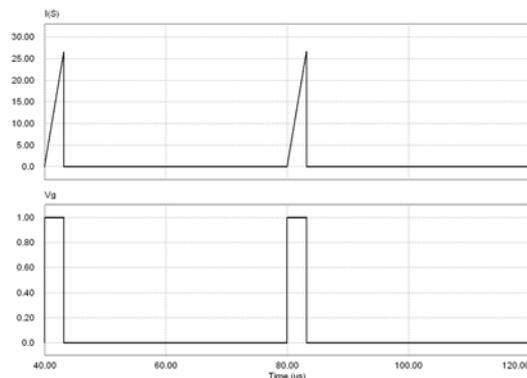


Figura 2. Forma de corriente que circula por el interruptor S en el circuito de la Figura C2.

El valor medio de la corriente por el interruptor viene dado por:

$$i_{s,media} = \frac{1}{T} \cdot \int_0^{d \cdot T} i_s \cdot dt$$



CONVOCATORIA ORDINARIA CURSO 2007/08: 13 de Junio de 2008

Electrónica de Potencia

3º Ingeniería Técnica Industrial: Electrónica Industrial

Calculando la integral a través del área encerrada por la corriente.

$$i_{s,media} = \frac{1}{T} \cdot \frac{1}{2} \cdot d \cdot T \cdot \frac{V_e}{L} \cdot d \cdot T = \frac{d^2 \cdot T \cdot V_e}{2 \cdot L}$$

Sustituyendo valores:

$$i_{s,media} = \frac{\left(\frac{3,2 \cdot 10^{-6}}{40 \cdot 10^{-6}}\right)^2 \cdot 40 \cdot 10^{-6} \cdot 500}{2 \cdot 60 \cdot 10^{-6}} = 1,07 \text{ A}$$

El valor eficaz de la corriente del interruptor es:

$$i_{s,eficaz} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^{d \cdot T} i_s^2 \cdot dt}$$

donde i_s viene expresado en función del tiempo por la siguiente expresión:

$$i_s = \frac{V_e}{L} \cdot t$$

Operando se obtiene:

$$i_{s,eficaz} = \sqrt{\left(\frac{V_e}{L}\right)^2 \cdot \frac{d^3 \cdot T^2}{3}} = \sqrt{\left(\frac{500}{60 \cdot 10^{-6}}\right)^2 \cdot \frac{\left(\frac{3,2 \cdot 10^{-6}}{40 \cdot 10^{-6}}\right)^3 \cdot (40 \cdot 10^{-6})^2}{3}} = 4,36 \text{ A}$$

Por lo tanto las pérdidas en conducción de cada dispositivo son:

$$P_{\text{MOSFET}} = R_{ds,on} \cdot i_{ds,ef}^2 = 0,6 \cdot 4,36^2 = 11,37 \text{ W}$$

$$P_{\text{IGBT}} = V_{CE,sat} \cdot i_{CE,media} + R_{on} \cdot i_{CE,ef}^2 = 3 \cdot 1,07 + 0 \cdot 4,36^2 = 3,2 \text{ W}$$

En conclusión, para el nivel de tensión y frecuencia de la aplicación el IGBT es más adecuado que el MOSFET porque presenta menos pérdidas en conducción.

CONVOCATORIA ORDINARIA CURSO 2007/08: 13 de Junio de 2008

Electrónica de Potencia

3º Ingeniería Técnica Industrial: Electrónica Industrial

Cuestión 3 (1 punto, tiempo recomendado 15 minutos)

Para el rectificador de la Figura C3, sabiendo que el contenido armónico de la corriente se muestra en la Tabla C3 y que el factor de desplazamiento es la unidad, se pide:

1. Factor de potencia que ve el generador.
2. Potencia entregada a la carga.

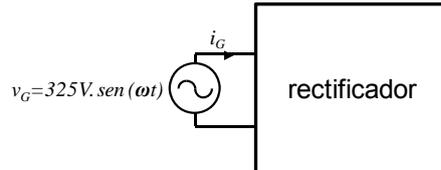


Figura C3

Tabla C3

| n (orden del armónico) | 1 | 3 | 5 | 7 | 9 | 11 |
|------------------------|----|-----|-----|------|------|------|
| i_{Gn} (A) | 10 | 8,1 | 2,9 | 0,94 | 0,61 | 0,44 |

Solución Cuestión 3**DATOS**

$$I_1 := 10 \quad I_3 := 8.1 \quad I_5 := 2.9 \quad I_7 := 0.94 \quad I_9 := 0.61 \quad I_{11} := 0.44$$

$$\text{factor de desplazamiento} \quad \cos \phi_1 := 1$$

$$\text{Valor eficaz primer armónico de tensión} \quad V_1 := \frac{325}{\sqrt{2}}$$

SOLUCIÓN**Apartado 1**

$$I_{ef} := \sqrt{I_1^2 + I_3^2 + I_5^2 + I_7^2 + I_9^2 + I_{11}^2} \quad I_{ef} = 13.246$$

$$FP := \frac{V_1 \cdot I_1 \cdot \cos \phi_1}{V_1 \cdot I_{ef}} \quad FP = 0.755$$

o bien

$$DAT := \frac{\sqrt{I_3^2 + I_5^2 + I_7^2 + I_9^2 + I_{11}^2}}{I_1} \quad DAT = 0.869$$

$$FP := \frac{1}{\sqrt{1 + DAT^2}} \quad FP = 0.755$$

Apartado 2

$$P := V_1 \cdot I_1 \cdot \cos \phi_1 \quad P = 2.298 \times 10^3$$

CONVOCATORIA ORDINARIA CURSO 2007/08: 13 de Junio de 2008

Electrónica de Potencia

3º Ingeniería Técnica Industrial: Electrónica Industrial

Cuestión 4 (1 punto, tiempo recomendado 15 minutos)

Calcular la potencia entregada a la carga por el inversor de la figura C4.

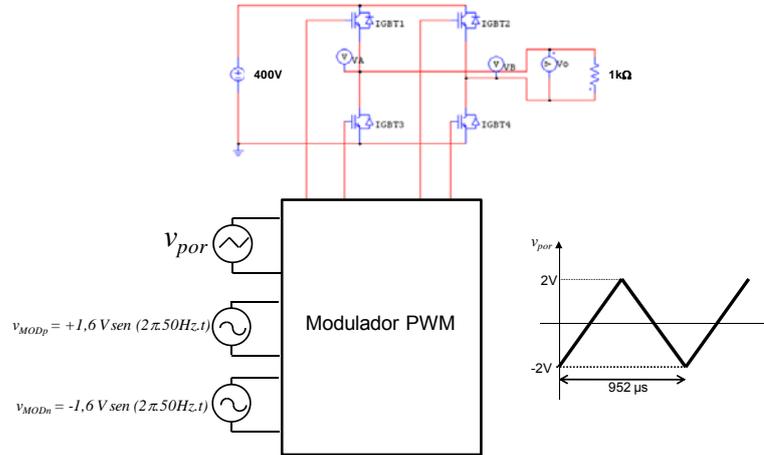


Figura C4

Solución Cuestión 4

DATOS

Valor de pico de la portadora triangular

$V_{por_pk} := 2$

Amplitud de la moduladora sinusoidal

$Amp := 1.6$

$V_{cc} := 400$

$R := 1000$

SOLUCIÓN

Índice de modulación en amplitud

$$ma := \frac{Amp}{V_{por_pk}} \quad ma = 0.8$$

Valor eficaz del primer armónico

$$V1 := V_{cc} \cdot ma \quad V1 = 320$$

A partir de la tabla del enunciado para modulación unipolar, con $ma = 0.8$

$$\text{orden del armónico} \quad 2mf - 3 \quad V2mf3 := 0.14 \cdot V_{cc}$$

$$\text{orden del armónico} \quad 2mf - 1 \quad V2mf1 := 0.31 \cdot V_{cc}$$

$$\text{orden del armónico} \quad 2mf + 1 \quad V2mf1 := 0.31 \cdot V_{cc}$$

$$\text{orden del armónico} \quad 2mf + 3 \quad V2mf3 := 0.14 \cdot V_{cc}$$

Valor eficaz aplicado a la carga

$$V_{ef} := \sqrt{V1^2 + V2mf3^2 + V2mf1^2 + V2mf1^2 + V2mf3^2} \quad V_{ef} = 373.395$$

Potencia entregada a la carga

$$P := \frac{V_{ef}^2}{R} \quad P = 139.424$$

CONVOCATORIA ORDINARIA CURSO 2007/08: 13 de Junio de 2008

Electrónica de Potencia

3º Ingeniería Técnica Industrial: Electrónica Industrial

Problema 1 (2,5 puntos, tiempo recomendado 50 minutos)

El convertidor CC/CC de la Figura P1 se emplea como cargador de baterías a partir de una fuente de energía V_e . Como la tensión de la batería, V_{BAT} , permanece constante en 12 V independientemente de su estado de carga, se ha eliminado el condensador de salida. Además, se ha diseñado el convertidor para que opere en la frontera entre el modo de conducción continuo (MCC) y discontinuo (MCD) con una frecuencia de conmutación de 100 kHz.

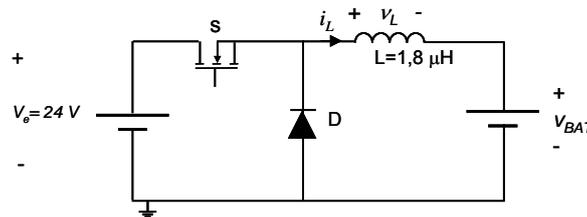


Figura P1

Suponiendo todos los componentes ideales, **se pide:**

1. Calcular el ciclo de trabajo del interruptor S.
2. Dibujar la tensión (v_L) y la corriente (i_L) en la bobina.
3. Comprobar que se cumple el balance de potencias, calculando de forma independiente la potencia consumida por la batería y la potencia entregada por la fuente.

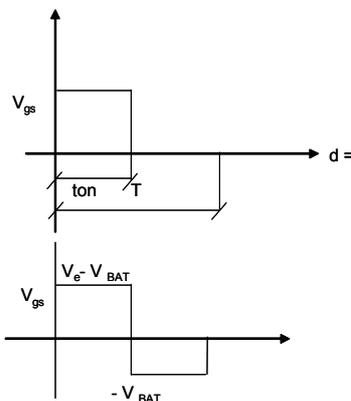
Determinar el valor de L para que la corriente media inyectada en la batería sea de 10 A, manteniendo la operación del convertidor en la frontera entre ambos modos de conducción.

Solución Problema 1**Apartado 1**

Como el convertidor CC/CC opera en la frontera entre el MCC y el MCD se puede utilizar la expresión que relaciona la tensión de salida con el ciclo de trabajo correspondiente a cualquiera de los dos modos.

Por simplicidad utilizamos la de MCC. La relación entre la tensión de salida y la de entrada se puede deducir la expresión aplicando la condición de régimen permanente en la bobina.

$$V_{L, media} = 0 \text{ V}$$



$$V_{L, media} = 0 \text{ V} \Rightarrow (V_e - V_{BAT}) \cdot d \cdot T = V_{BAT} \cdot (1 - d) \cdot T \Rightarrow V_{BAT} = d \cdot V_e$$

Es un convertidor CC/CC con topología reductora.

CONVOCATORIA ORDINARIA CURSO 2007/08: 13 de Junio de 2008

Electrónica de Potencia

3º Ingeniería Técnica Industrial: Electrónica Industrial

El valor del ciclo de trabajo según las condiciones del enunciado es:

$$d = \frac{V_{\text{BAT}}}{V_e} = \frac{12}{24} = 0,5$$

Apartado 2

En la figura 3 se representan la tensión y la corriente en la bobina para las condiciones del enunciado.

La tensión en la bobina es:

$$\text{Durante } t_{\text{on}} = d \cdot T = 5 \cdot 10^{-6} \text{ s, } V_L = V_e - V_{\text{BAT}} = 24 - 12 = 12 \text{ V}$$

$$\text{Durante } t_{\text{off}} = (1-d) \cdot T = 5 \cdot 10^{-6} \text{ s, } V_L = -V_{\text{BAT}} = -12 \text{ V}$$

El valor máximo de la corriente de la bobina es:

$$i_{L,\text{max}} = \Delta i_L = \frac{V_e - V_{\text{BAT}}}{L} \cdot d \cdot T = \frac{V_{\text{BAT}}}{L} \cdot (1-d) \cdot T = \frac{24 - 12}{1,8 \cdot 10^{-6}} \cdot 0,5 \cdot \frac{1}{100 \cdot 10^3} = 33,33 \text{ A}$$

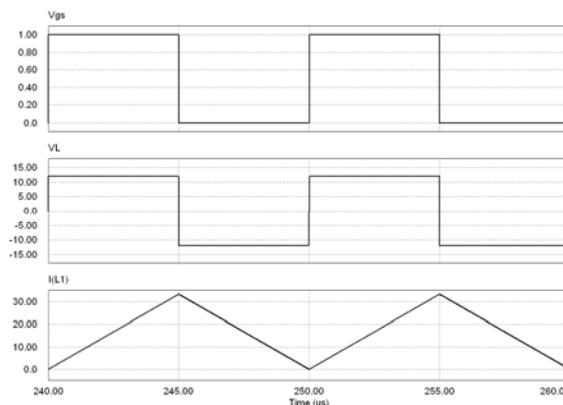


Figura 3. Formas de onda de tensión y corriente en la bobina

Apartado 3

La potencia cedida por la fuente viene dada por la expresión:

$$P_e = V_e \cdot i_{e,\text{media}}$$

donde $i_{e,\text{media}}$ es la corriente media de entrada. La corriente de entrada i_e es la corriente que circula por la bobina durante $t_{\text{on}} = d \cdot T$, tal como se muestra en la Figura 4.

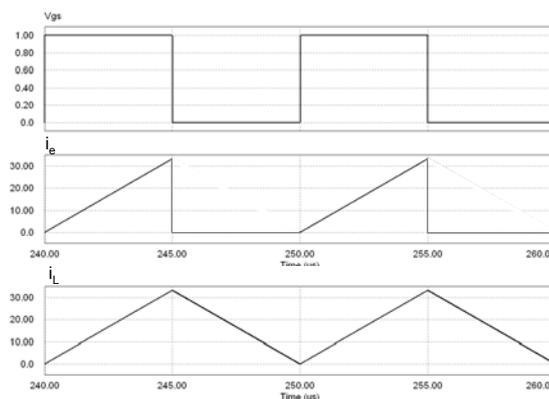


Figura 4. Formas de onda de la corriente de entrada y de la corriente de la bobina

El valor medio de la corriente es:



CONVOCATORIA ORDINARIA CURSO 2007/08: 13 de Junio de 2008

Electrónica de Potencia

3º Ingeniería Técnica Industrial: Electrónica Industrial

$$i_{e,media} = \frac{1}{T} \cdot \int_0^{d \cdot T} i_e \cdot dt = \frac{1}{T} \cdot \frac{1}{2} \cdot d \cdot T \cdot I_{MAX} = \frac{1}{2} \cdot 0,5 \cdot 33,33 = 8,33A$$

Por lo tanto, la potencia cedida por la fuente de entrada es:

$$P_e = V_e \cdot i_{e,media} = 24 \cdot 8,33 = 200 \text{ W}$$

En cuanto a la potencia consumida por la batería, se puede calcular a través de la expresión:

$$P_{BAT} = V_{BAT} \cdot i_{BAT,media}$$

donde $i_{BAT,media}$ es el valor medio de la corriente por la batería.

La corriente por la batería es la corriente que circula por la bobina, por lo tanto, el valor medio de la corriente viene dado por:

$$i_{BAT,media} = i_{L,media} = \frac{1}{T} \cdot \int_0^{d \cdot T} i_L \cdot dt = \frac{1}{T} \cdot \frac{1}{2} \cdot T \cdot I_{MAX} = \frac{I_{MAX}}{2} = \frac{33,33}{2} = 16,67A$$

Por lo tanto, la potencia consumida por la batería es:

$$P_{BAT} = V_{BAT} \cdot i_{BAT,media} = 12 \cdot 16,67 = 200 \text{ W}$$

Es decir, $P_e = P_{BAT}$ y se cumple el balance de potencias

Apartado 4

Teniendo en cuenta que la corriente de la batería coincide con la de la bobina y el convertidor sigue operando en la frontera entre ambos modos, la forma de la corriente de la bobina es similar a la de la Figura 3.

Por lo tanto, el nuevo valor de la bobina se obtiene a partir de la corriente media en la bobina.

$$i_{L,media} = \frac{I_{MAX}}{2} = \frac{V_{BAT} \cdot (1-d) \cdot T}{L} = 10A$$

Por lo tanto, el valor de L necesario es:

$$L = \frac{V_{BAT} \cdot (1-d) \cdot T}{2 \cdot 10} = \frac{12 \cdot 5 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 10} = 3 \cdot 10^{-6} \text{ H}$$

CONVOCATORIA ORDINARIA CURSO 2007/08: 13 de Junio de 2008

Electrónica de Potencia

3º Ingeniería Técnica Industrial: Electrónica Industrial

Problema 2 (3 puntos, tiempo recomendado 60 minutos)

Una carga inductiva se alimenta desde una red trifásica de 220V y 50Hz a través de un rectificador como muestra la figura P2.

Figura P2

DATOS:

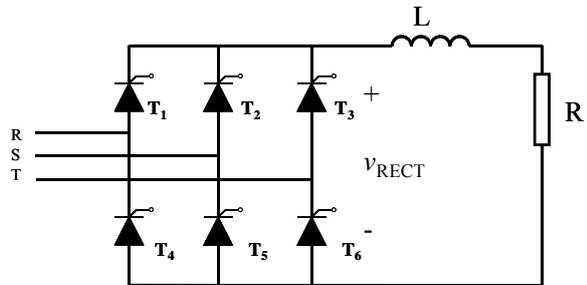
Red trifásica:

220/380V

Carga:

$R = 20 \Omega$

L se puede considerar infinita



Se pide:

1. Dibujar la forma de onda de la tensión de salida si los tiristores se disparan con un ángulo $\alpha=60^\circ$.
2. Calcular el valor medio de la tensión de salida (v_{RECT}) en función del ángulo de disparo de los tiristores, α .
3. ¿Cuál sería el máximo ángulo de disparo para asegurar la operación en régimen permanente?.
4. Calcular el ángulo de disparo para entregar a la carga una potencia de 8kW.
5. Dibujar la forma de onda de corriente de salida y por la fase R de la red trifásica para $\alpha=60^\circ$.

Solución Problema 2

- a) Dibujar la forma de onda de la tensión de salida si los tiristores se disparan con un ángulo $\alpha=60^\circ$.

La forma de onda de la tensión de salida se representa con trazo gris en la figura 1. Se ha destacado en negro el intervalo correspondiente a la tensión RS.

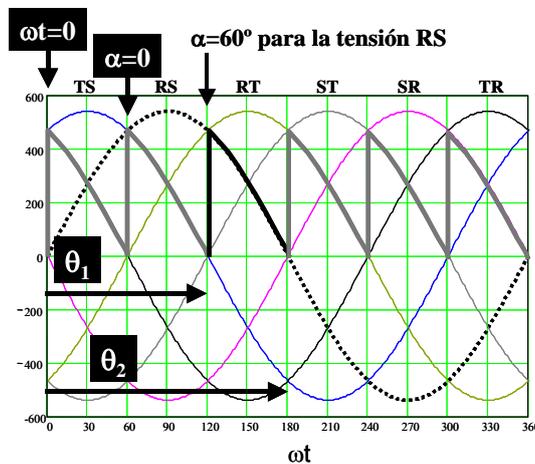


Figura 1

- b) Calcular el valor medio de la tensión de salida (v_{RECT}) en función del ángulo de disparo de los tiristores, α .

CONVOCATORIA ORDINARIA CURSO 2007/08: 13 de Junio de 2008

Electrónica de Potencia

3º Ingeniería Técnica Industrial: Electrónica Industrial

De forma general, el valor medio se obtiene aplicando (1).

$$\overline{v_{RECT}} = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T u(t) \cdot dt \quad (1)$$

Dado que en un ciclo de red (2π) la tensión v_{RECT} pulsa 6 veces, (1) se puede escribir como se hace en la expresión (2):

$$\overline{v_{RECT}} = \frac{6}{2 \cdot \pi} \cdot \int_{\theta_1}^{\theta_2} Vg \cdot \text{Sen}(\omega t) \cdot d\omega t = \frac{6 \cdot Vg}{2 \cdot \pi} \cdot (\text{Cos} \theta_1 - \text{Cos} \theta_2) \quad (2)$$

Observando la figura 1 se puede deducir:

$$\theta_1 = \alpha + 60^\circ \quad (3)$$

$$\theta_2 = \alpha + 120^\circ \quad (4)$$

y teniendo en cuenta la fórmula trigonométrica del coseno de la suma de ángulos, se obtiene:

$$\text{Cos} \theta_1 = \text{Cos}(\alpha + 60^\circ) = \text{Cos} \alpha \cdot \text{Cos} 60 - \text{Sen} \alpha \cdot \text{Sen} 60 \quad (5)$$

$$\text{Cos} \theta_2 = \text{Cos}(\alpha + 120^\circ) = \text{Cos} \alpha \cdot \text{Cos} 120 - \text{Sen} \alpha \cdot \text{Sen} 120 \quad (6)$$

Restando (5) y (6) se calcula:

$$\text{Cos} \theta_1 - \text{Cos} \theta_2 = 2 \cdot \text{Cos} \alpha \cdot \text{Cos} 60 = \text{Cos} \alpha \quad (7)$$

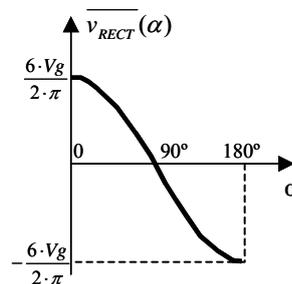


Figura 2

y sustituyendo (7) en (2) se obtiene finalmente el valor medio de la tensión de salida en función del ángulo de disparo de los tiristores (8). La variación de este valor medio con α se representa en la figura 2.

$$\overline{v_{RECT}} = \frac{6 \cdot Vg}{2 \cdot \pi} \cdot \text{Cos}(\alpha) \quad (8)$$

c) ¿Cuál sería el máximo ángulo de disparo para asegurar la operación en régimen permanente?

Ya que en el enunciado se indica que la inductancia L puede considerarse infinita, todo el rizado de la tensión v_{RECT} cae íntegro en la bobina L . Por tanto la tensión aplicada a la resistencia R es continua perfecta y en consecuencia la corriente que circula por la carga es también continua y vendrá dada por la expresión(9).

$$I = \frac{\overline{v_{RECT}}}{R} \quad (9)$$

Debido a que los tiristores solo pueden conducir corriente positiva ánodo – cátodo, en régimen permanente, la corriente continua también deberá ser positiva (sentido ánodo-cátodo) y para ello, según (9), la tensión media que proporciona el rectificador ha de

CONVOCATORIA ORDINARIA CURSO 2007/08: 13 de Junio de 2008

Electrónica de Potencia

3º Ingeniería Técnica Industrial: Electrónica Industrial

ser también positiva con el convenio de signos que se indica en la figura 1. Para que esta tensión media sea positiva, el máximo ángulo de disparo será $\alpha = 90^\circ$.

d) Calcular el ángulo de disparo para entregar a la carga una potencia de 8kW.

Por ser continua la corriente que circula por la inductancia L , la potencia consumida en la resistencia R puede expresarse de las siguientes formas:

$$P_O = I^2 \cdot R = \frac{(\overline{v_{RECT}})^2}{R} \quad (10)$$

Por tanto el valor medio que hay que proporcionar a la carga para que esta consuma una determinada potencia vendrá dada por (11).

$$\overline{v_{RECT}} = \sqrt{P_O \cdot R} \quad (11)$$

Para los datos numéricos del problema, se obtiene:

$$\overline{v_{RECT}} = \sqrt{P_O \cdot R} = \sqrt{8000 \cdot 20} = 400V$$

Igualando esta tensión a la expresión (8) que proporciona el valor medio de v_{RECT} en función de α , se obtiene el valor del ángulo de disparo para proporcionar los 8 kW a la carga.

$$\overline{v_{RECT}} = \frac{6 \cdot V_g}{2 \cdot \pi} \cdot \cos(\alpha) = 400V \Rightarrow \frac{6 \cdot 380 \cdot \sqrt{2}}{2 \cdot \pi} \cdot \cos(\alpha) = 400V \Rightarrow \alpha = 38,8^\circ$$

e) Dibujar la forma de onda de corriente de salida y por la fase R de la red trifásica para $\alpha=60^\circ$.

La corriente de salida es continua como ya se justificó en el apartado c) y su valor se obtiene aplicando (9).

Para los datos numéricos del problema se obtiene un valor de corriente:

$$I = \frac{\overline{v_{RECT}}}{R} = \frac{1}{20\Omega} \cdot \frac{6 \cdot 380 \cdot \sqrt{2}}{2 \cdot \pi} \cdot \cos(60)$$

$$I = 12,83A$$

La corriente por la fase R, i_R , se representa también en la figura 4. Durante el intervalo en el que conduce el tiristor T_1 (RS y RT), la corriente i_R coincide con la corriente de salida. Cuando conduce el tiristor T_4 la corriente i_R es igual a la corriente de salida pero negativa. Cuando no conducen ni T_1 ni T_4 , no hay corriente por la fase R.

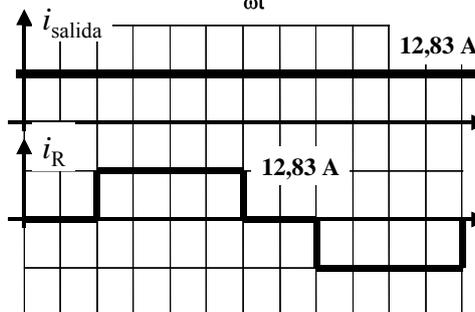
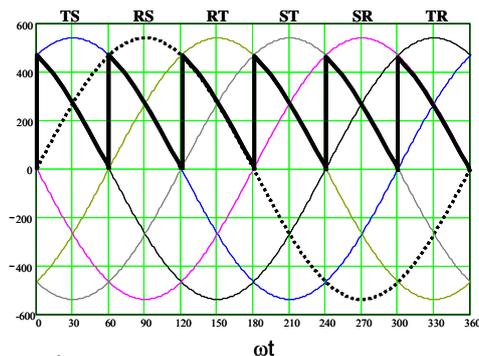


Figura 4



CONVOCATORIA ORDINARIA CURSO 2007/08: 13 de Junio de 2008

Electrónica de Potencia

3º Ingeniería Técnica Industrial: Electrónica Industrial

Tabla de Series de Fourier

| | |
|--|--|
| $f(x) = \begin{cases} 1 \rightarrow 0 < x < \pi \\ -1 \rightarrow -\pi < x < 0 \end{cases}$ | |
| $\frac{4}{\pi} \cdot \left(\frac{\text{sen}(x)}{1} + \frac{\text{sen}(3 \cdot x)}{3} + \frac{\text{sen}(5 \cdot x)}{5} + \dots \right)$ | |
| $f(x) = \begin{cases} 0 \rightarrow 0 < x < \beta \\ 1 \rightarrow \beta < x < \pi - \beta \\ 0 \rightarrow \pi - \beta < x < \pi \end{cases}$ | |
| $\frac{4}{\pi} \cdot \left(\frac{\cos(\beta) \cdot \text{sen}(x)}{1} + \frac{\cos(3 \cdot \beta) \cdot \text{sen}(3 \cdot x)}{3} + \frac{\cos(5 \cdot \beta) \cdot \text{sen}(5 \cdot x)}{5} + \dots \right) = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{1}{n} \cos(n \cdot \beta)$ | |
| $f(x) = \text{sen}(x) \rightarrow -\pi < x < \pi$ | |
| $\frac{2}{\pi} - \frac{4}{\pi} \cdot \left(\frac{\cos(2 \cdot x)}{1 \cdot 3} + \frac{\cos(4 \cdot x)}{3 \cdot 5} + \frac{\cos(6 \cdot x)}{5 \cdot 7} + \dots \right)$ | |

Tabla de amplitudes normalizadas, modulación PWM sinusoidal

| Amplitudes normalizadas V_n/V_{CC} para modulación PWM Sinusoidal Unipolar | | | | | | | | | | |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| m_a | 0,10 | 0,20 | 0,30 | 0,40 | 0,50 | 0,60 | 0,70 | 0,80 | 0,90 | 1,00 |
| $n=1$ | 0,10 | 0,20 | 0,30 | 0,40 | 0,50 | 0,60 | 0,70 | 0,80 | 0,90 | 1,00 |
| $n=2mf \pm 1$ | 0,10 | 0,19 | 0,27 | 0,33 | 0,36 | 0,37 | 0,35 | 0,31 | 0,25 | 0,18 |
| $n=2mf \pm 3$ | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,02 | 0,04 | 0,07 | 0,10 | 0,14 | 0,18 | 0,21 |
| Amplitudes normalizadas V_n/V_{CC} para modulación PWM Sinusoidal Bipolar | | | | | | | | | | |
| m_a | 0,10 | 0,20 | 0,30 | 0,40 | 0,50 | 0,60 | 0,70 | 0,80 | 0,90 | 1,00 |
| $n=1$ | 0,10 | 0,20 | 0,30 | 0,40 | 0,50 | 0,60 | 0,70 | 0,80 | 0,90 | 1,00 |
| $n=mf$ | 1,27 | 1,24 | 1,20 | 1,15 | 1,08 | 1,01 | 0,92 | 0,82 | 0,71 | 0,60 |
| $n=mf \pm 2$ | 0,00 | 0,02 | 0,03 | 0,06 | 0,09 | 0,13 | 0,17 | 0,22 | 0,27 | 0,32 |
| Amplitudes normalizadas V_n/V_{CC} para tensión de línea, modulación PWM Sinusoidal trifásica | | | | | | | | | | |
| m_a | 0,10 | 0,20 | 0,30 | 0,40 | 0,50 | 0,60 | 0,70 | 0,80 | 0,90 | 1,00 |
| $n=1$ | 0,087 | 0,173 | 0,260 | 0,346 | 0,433 | 0,520 | 0,606 | 0,693 | 0,779 | 0,866 |
| $n=mf \pm 2$ | 0,003 | 0,013 | 0,030 | 0,053 | 0,801 | 0,114 | 0,150 | 0,190 | 0,232 | 0,275 |
| $n=2mf \pm 1$ | 0,086 | 0,165 | 0,232 | 0,282 | 0,313 | 0,321 | 0,307 | 0,272 | 0,221 | 0,157 |

Expresiones matemáticas

| | |
|---|---|
| $\text{sen}(A + B) = \text{sen} A \cos B + \text{sen} B \cos A$ | $\text{sen}(A - B) = \text{sen} A \cos B - \text{sen} B \cos A$ |
| $\cos(A + B) = \cos A \cos B - \text{sen} A \text{sen} B$ | $\cos(A - B) = \cos A \cos B + \text{sen} A \text{sen} B$ |
| $\text{sen}^2 A = \frac{1 - \cos(2A)}{2}$ | |