

CONVOCATORIA EXTRAORDINARIA CURSO 2007/08: 12 de Septiembre de 2008

Electrónica de Potencia

3º Ingeniería Técnica Industrial: Electrónica Industrial

Cuestión 1 (2 puntos)

Para el regulador de alterna de la Figura C1.1:

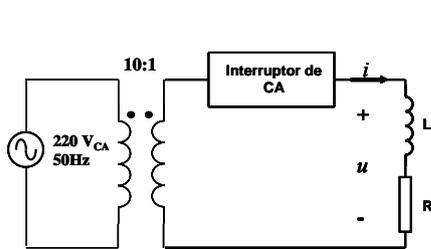


Figura C1.1

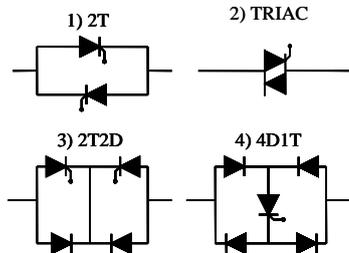


Figura C1.2

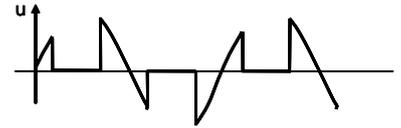


Figura C1.3

Se pide:

1. Justificar razonadamente para cada uno de los interruptores de corriente alterna representados en la Figura C1.2 si se puede obtener, en régimen permanente, la forma de la tensión en la carga (u) representada en las Figura C1.3.

Para una carga $R=1 \Omega$ y $L=520 \text{ mH}$ y el interruptor de CA formado por dos tiristores (configuración 2T de la Figura C1.2):

2. Determinar razonadamente la variación del ángulo de disparo de los tiristores.
3. Representar para un ángulo de disparo de los tiristores, $\alpha=90^\circ$, la forma de tensión (u) y de corriente (i) en la carga acotando los puntos más significativos.
4. Calcular, para $\alpha=90^\circ$, el valor característico de la corriente necesario para determinar las pérdidas en conducción de cada uno de los semiconductores.



CONVOCATORIA EXTRAORDINARIA CURSO 2007/08: 12 de Septiembre de 2008

Electrónica de Potencia

3º Ingeniería Técnica Industrial: Electrónica Industrial

Solución Cuestión 1

Apartado 1

De las configuraciones de semiconductores representados en la Figura C1.2, son válidas la 1) y la 2) ya que configuran un interruptor bidireccional de forma que en cada semiciclo de la tensión del generador conseguimos controlar la tensión y corriente aplicada a la carga.

La configuración 3) no es válida porque no es un interruptor de corriente alterna ya que no permite el paso de corriente en ninguno de los dos sentidos y por lo tanto no permite aplicar tensión en la carga en ninguno de los dos semiciclos de la tensión del generador.

Por último, la configuración 4), no es válida dado que no permite controlar ninguno de los dos semiciclos de la tensión del generador porque la carga inductiva impide que el tiristor deje de conducir después de haberlo disparado.

Apartado 2

Para poder regular adecuadamente la tensión alterna aplicada en la carga, por un lado, cada tiristor debe ser disparado en uno de los dos semiciclos de la tensión de entrada donde el disparo del tiristor es adecuado porque su tensión ánodo-cátodo es positiva. Por lo tanto, el ángulo de disparo máximo es, $\alpha_{\max}=180^\circ$. Por otro lado, el ángulo de disparo en cada semiciclo está limitado por el desfase de la corriente de carga respecto de la tensión (φ), ya que hasta ese momento, como consecuencia de la carga inductiva el otro tiristor está conduciendo e impide el disparo ya que la tensión ánodo-cátodo del tiristor que se desea disparar es negativa. Si se dispara el tiristor con $\alpha < \varphi$, se pierde el semiciclo negativo de tensión y corriente.

En este caso particular, el valor de φ de la carga es aproximadamente 90° :

$$\varphi = \arctg\left(\frac{\omega \cdot L}{R}\right) = \arctg\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 0,52}{1}\right) \approx 90^\circ$$

ya que el carácter de la carga es predominantemente inductivo:

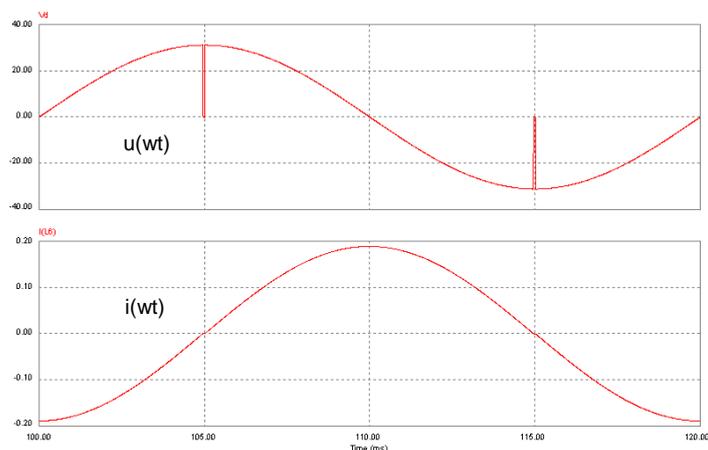
$$Z_L = \omega \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 0,52 = 163,36 \Omega$$

Por lo tanto, el ángulo de variación de disparo de los tiristores es:

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

Apartado 3

Del apartado 2 se deduce que podemos despreciar el efecto de la resistencia, por lo tanto el desfase de la corriente en la carga (φ) es de 90° . Al disparar con un ángulo $\alpha = \varphi$, la tensión (u) y la corriente (i) en la carga son dos señales sinusoidales desfasadas un ángulo φ , tal como se representa en la figura inferior.



CONVOCATORIA EXTRAORDINARIA CURSO 2007/08: 12 de Septiembre de 2008

Electrónica de Potencia

3º Ingeniería Técnica Industrial: Electrónica Industrial

Las expresiones analíticas de las formas de onda de tensión y corriente son:

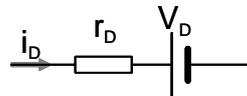
$$u(\omega t) = \frac{V_g}{10} \cdot \text{sen}(\omega t)$$

$$i(\omega t) = \frac{V_g/10}{\sqrt{(L\omega)^2 + R^2}} \cdot \text{sen}(\omega t - \varphi)$$

donde V_g es la tensión de pico del generador $V_g = 220 \cdot \sqrt{2} = 311 \text{ V}$

Apartado 4

El modelo en conducción de un tiristor es como el de un diodo:

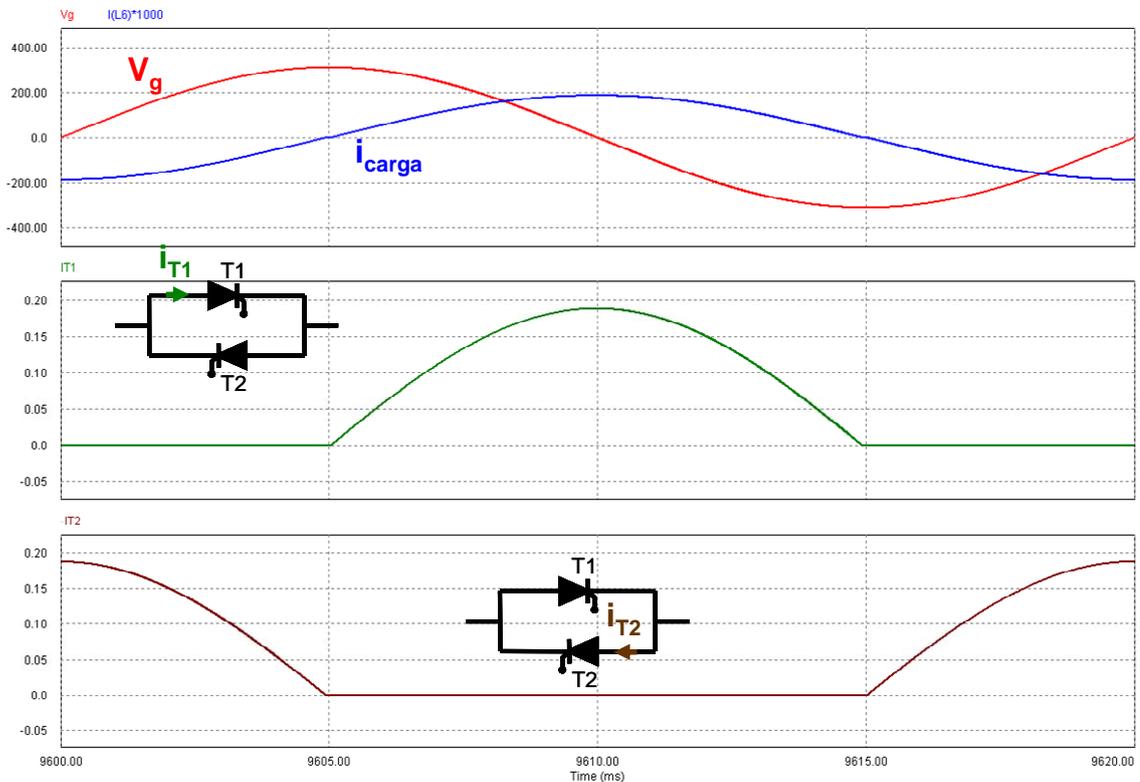


Por lo tanto, las pérdidas en conducción vienen dadas por

$$P_{\text{conduccion}} = r_d \cdot i_{T,rms}^2 + V_F \cdot i_{T,avg}$$

donde r_d y V_F son parámetros característicos del componente que se obtienen de las hojas de características.

Teniendo en cuenta la expresión de la pérdidas en conducción, los valores característicos de corriente que hay que calcular es el valor medio y eficaz de la corriente que circula por cada semiconductor. La corriente que circula por cada semiconductor está representada en la figura inferior.



Por lo tanto, el valor medio ($i_{T,avg}$) y eficaz ($i_{T,rms}$) de la corriente que circula por cada semiconductor se puede calcular mediante las siguientes expresiones.



CONVOCATORIA EXTRAORDINARIA CURSO 2007/08: 12 de Septiembre de 2008

Electrónica de Potencia

3º Ingeniería Técnica Industrial: Electrónica Industrial

VALOR MEDIO DE LA CORRIENTE DEL TIRISTOR

$$i_{T,avg} = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} i(\omega t) \cdot d\omega t = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} \frac{Vg/10}{\sqrt{(L\omega)^2 + R^2}} \cdot \text{sen}(\omega t - \varphi) \cdot d\omega t$$

$$i_{T,avg} = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{Vg/10}{\sqrt{(L\omega)^2 + R^2}} \cdot [-\cos(\omega t - \varphi)]_{\alpha}^{\pi+\alpha}$$

$$i_{T,avg} = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{(220 \cdot \sqrt{2})/10}{\sqrt{(0,52 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50)^2 + 1^2}} \cdot [-\cos(\omega t - \varphi)]_{\alpha}^{\pi+\alpha}$$

$$i_{T,avg} = 0,06 \text{ A}$$

VALOR EFICAZ DE LA CORRIENTE DEL TIRISTOR

$$i_{T,rms} = \sqrt{\frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} i(\omega t)^2 \cdot d\omega t} = \sqrt{\frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} \left(\frac{Vg/10}{\sqrt{(L\omega)^2 + R^2}} \right)^2 \cdot \text{sen}^2(\omega t - \varphi) \cdot d\omega t}$$

$$i_{T,rms} = \sqrt{\frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \left(\frac{Vg/10}{\sqrt{(L\omega)^2 + R^2}} \right)^2 \cdot \left[\frac{\omega t}{2} - \frac{\text{sen}[2 \cdot (\omega t - \varphi)]}{4} \right]_{\alpha}^{\pi+\alpha}}$$

$$i_{T,rms} = \sqrt{\frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \left[\frac{(220 \cdot \sqrt{2})/10}{\sqrt{(0,52 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50)^2 + 1^2}} \right]^2 \cdot \left[\frac{\omega t}{2} - \frac{\text{sen}[2 \cdot (\omega t - \varphi)]}{4} \right]_{\alpha}^{\pi+\alpha}}$$

$$i_{T,rms} = 0,095 \text{ A}$$

CONVOCATORIA EXTRAORDINARIA CURSO 2007/08: 12 de Septiembre de 2008

Electrónica de Potencia

3º Ingeniería Técnica Industrial: Electrónica Industrial

Problema 2 (3 puntos)

En una determinada aplicación se necesita alimentar, a partir de una tensión continua V_e de 300V, una carga R_1 que requiere una tensión continua que consume una potencia P_o igual a 100W. Para garantizar el aislamiento eléctrico y conseguir el valor de tensión en la carga se utiliza el convertidor de la Figura P1.1 operando a 100kHz de frecuencia.

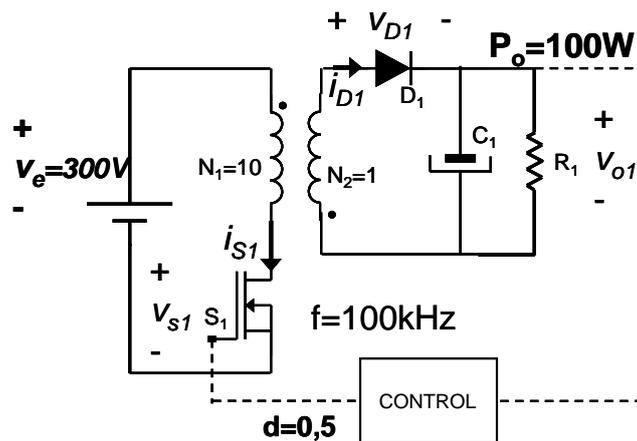


Figura P1.1

Sabiendo que el valor del ciclo de trabajo de interruptor S1 es $d=0,5$, **se pide:**

1. Calcular la tensión de salida V_{o1}
2. Dibujar, acotando los puntos más significativos, las forma de tensión en el primario del transformador y las formas de onda de tensión (V_{S1} , V_{D1}) y corriente (i_{S1} , i_{D1}) en el interruptor S_1 y en el diodo D_1 , suponiendo todos los componentes ideales.
3. Determinar el valor del condensador C_1 para que el rizado de la tensión de salida (V_{o1}) sea del 5%.
4. Calcular las pérdidas en los semiconductores, S_1 y D_1 . Datos: R_{dson} interruptor $S1 = 10 \text{ m}\Omega$, Tensión en conducción del diodo $D1 = 0,5V$.
5. Calcular el rendimiento del convertidor

Nota: Suponga que los valores de las inductancias y de los condensadores presentes en el circuito se pueden considerar suficientemente grandes para suponer despreciables los rizados de corriente y de tensión en los mismos.



CONVOCATORIA EXTRAORDINARIA CURSO 2007/08: 12 de Septiembre de 2008

Electrónica de Potencia

3º Ingeniería Técnica Industrial: Electrónica Industrial

Solución Problema 2

Apartado 1

El convertidor Flyback de la figura opera en Modo de Conducción continuo dado que la bobina magnetizante posee un valor suficientemente grande para despreciar el rizado de corriente tal como nos indica la nota proporcionada en el enunciado.

Para calcular la tensión de salida se aplica el balance de voltios por segundo en la inductancia magnetizante del transformador, cuya forma de onda viene representada en la Figura P2.1.

$$V_e \cdot dT = V_{o1} \cdot \frac{N_1}{N_2} \cdot (1-d)T \qquad V_{o1} = V_e \cdot \frac{N_2}{N_1} \cdot \frac{d}{1-d} = 300 \frac{1}{10} \frac{0,5}{1-0,5} = 30V$$

Apartado 2

Las formas de corriente y tensión en el primario del transformador (v_1) y en los distintos semiconductores del convertidor se muestran en la Figura P1.1.

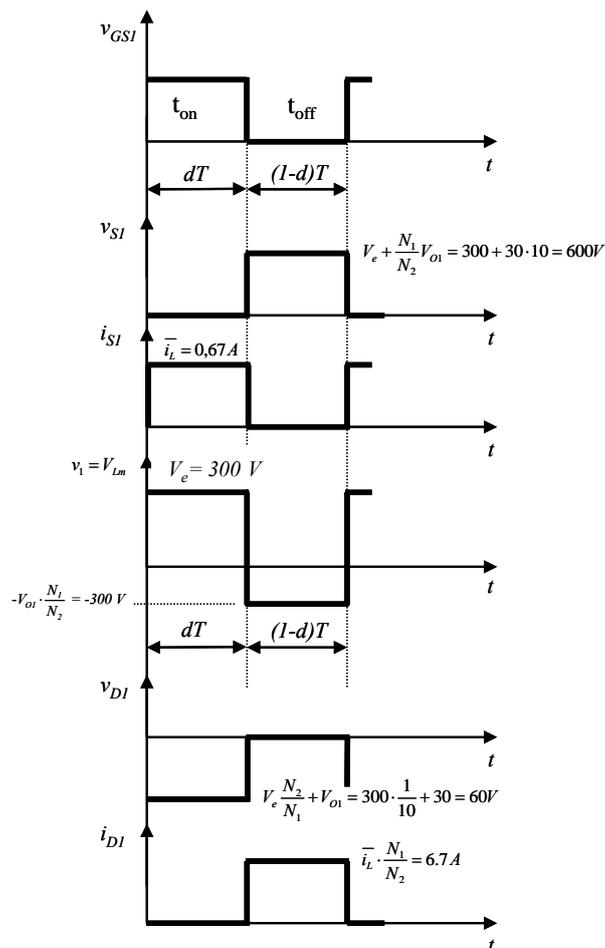


Figura P2.1: Formas de onda del convertidor



CONVOCATORIA EXTRAORDINARIA CURSO 2007/08: 12 de Septiembre de 2008

Electrónica de Potencia

3º Ingeniería Técnica Industrial: Electrónica Industrial

La obtención de los valores que permiten acotar las formas de onda de corriente en los distintos semiconductores se detalla a continuación.

$$\bar{i}_D = I_{o1} = \bar{i}_L \cdot \frac{N_1}{N_2} \cdot (1-d)$$

$$\bar{i}_L = I_{o1} \cdot \frac{N_2}{N_1} \cdot \frac{1}{1-d} = \frac{P_o}{V_{o1}} \cdot \frac{N_2}{N_1} \cdot \frac{1}{1-d}$$

El valor de \bar{i}_L coincide con el valor de i_L .

$$\bar{i}_L = \frac{100}{30} \cdot \frac{1}{10} \cdot \frac{1}{1-0,5} = 0,67 A$$

El valor de la corriente del diodo es:

$$i_D = \frac{N_1}{N_2} \cdot i_L$$

Apartado 3

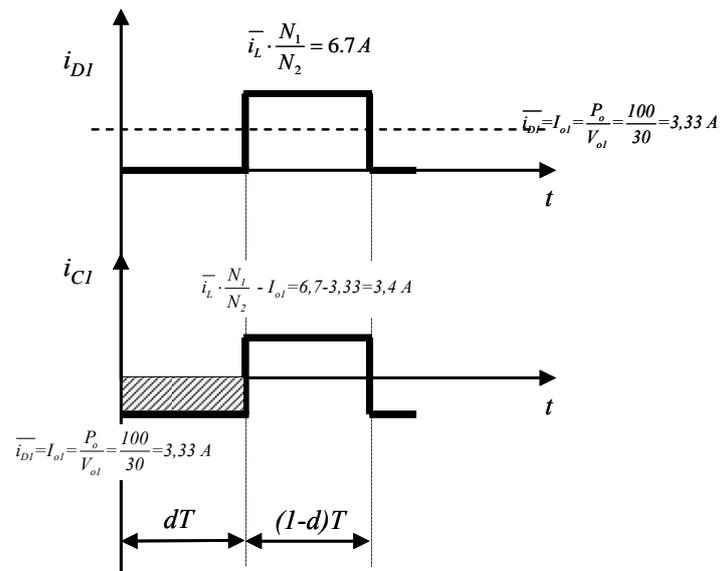
El rizado de la tensión de salida está determinado por la variación de la tensión del condensador:

$$\Delta V_{o1} = \Delta V_{C1} = \frac{1}{C_1} \cdot \int i_{C1}(t) \cdot dt$$

Donde $i_{C1}(t)$ es la corriente que circula por el condensador.

La corriente que circula por el condensador se obtiene a través de la corriente que circula por el diodo:

$$i_{C1}(t) = i_{D1}(t) - I_{o1}$$



A través del área encerrada por la corriente del condensador (área rayada en $i_{C1}(t)$) se puede determinar la expresión del incremento de la tensión de salida.



CONVOCATORIA EXTRAORDINARIA CURSO 2007/08: 12 de Septiembre de 2008

Electrónica de Potencia

3º Ingeniería Técnica Industrial: Electrónica Industrial

$$\Delta V_{o1} = \frac{1}{C_1} \cdot \int_0^{d \cdot T} i_{C1}(t) \cdot dt = \frac{1}{C_1} \cdot I_{o1} \cdot d \cdot T$$

Por lo tanto el valor del condensador necesario es

$$C_1 = \frac{I_{o1} \cdot d}{f \cdot 0,05 \cdot V_{o1}} = \frac{3,33 \cdot 0,5}{100 \cdot 0,05 \cdot 30} = 11,1 \mu F$$

Apartado 4

El modelo de pérdidas en conducción de un MOSFET y un diodo se detalla a continuación:

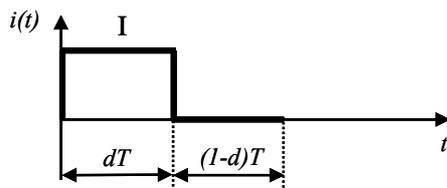
$$P_{MOSFET} = R_{ds\ on} \cdot i_{ef}^2$$

$$P_{DIODO} = V_\gamma \cdot \bar{i}_D + r_d \cdot i_{ef}^2$$

En este caso particular no se proporcionan valores de la resistencia dinámica del diodo, r_d , porque su valor se considera despreciable. Por lo tanto, para calcular las pérdidas, hay que determinar el valor eficaz de la corriente por cada MOSFET y el valor medio de la corriente por cada diodo.

Las corrientes en los semiconductores son formas de onda cuadradas tal como se analizó en el Apartado 2. El MOSFET conduce un valor de corriente I durante un periodo de tiempo $d \cdot T$ y el diodo conduce durante un período de tiempo $(1-d) \cdot T$, donde T es el período de conmutación del convertidor. La forma de onda de corriente del MOSFET y del diodo se representa en las Figuras 1.3 y 1.4, respectivamente. De forma general el valor eficaz y medio de una señal cuadrada de valor máximo I , se puede calcular tal como se muestra a continuación.

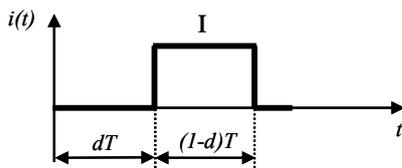
MOSFET



$$i_{ef}^2 = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T i(t)^2 dt = \frac{1}{T} I^2 \cdot dT = I^2 \cdot d$$

Figura P2.2: Forma de corriente en el MOSFET

DIODO



$$\bar{i} = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T i(t) dt = \frac{1}{T} \cdot \int_{dT}^T I dt = \frac{1}{T} I [T - dT] = I(1-d)$$

Figura P2.3: Forma de corriente en el Diodo



CONVOCATORIA EXTRAORDINARIA CURSO 2007/08: 12 de Septiembre de 2008

Electrónica de Potencia

3º Ingeniería Técnica Industrial: Electrónica Industrial

Particularizamos los valores para los distintos semiconductores:

$$S_1 \begin{cases} \rightarrow i_{ef}^2 = I^2 \cdot d = 0,67^2 \cdot 0,5 = 0,22 A_{ef}^2 \\ \rightarrow P_{S1} = R_{ds(on)} \cdot i_{ef}^2 = 10 \cdot 10^{-3} \cdot 0,22 = 2,22 \cdot 10^{-3} W \end{cases}$$

$$D_1 \begin{cases} \rightarrow \bar{i}_D = I \cdot (1 - d) = 6,7 \cdot 0,5 = 3,35 A \\ \rightarrow P_{D1} = V_\gamma \cdot \bar{i}_D = 0,5 \cdot 3,35 = 1,68 W \end{cases}$$

Apartado 5

Teniendo en cuenta el valor de las pérdidas de los semiconductores, el rendimiento del convertidor es:

$$\eta = \frac{P_o}{P_o + P_{S1} + P_{D1}} = \frac{100}{100 + 2,22 \cdot 10^{-3} + 1,68} = 98,4\%$$