

Enunciado

Para el circuito de la Figura 1 se pide:

Para un ángulo de disparo $\alpha=90^\circ$ y una carga resistiva de valor $R = 5\Omega$:

1. Representar, acotando los puntos más significativos, la tensión y la corriente en la carga en régimen permanente.
2. Representar, acotando los puntos más significativos, la tensión y la corriente ánodo-cátodo de los diodos y los tiristores en régimen permanente. Identificar los distintos estados de funcionamiento de ambos tiristores representando su curva característica a partir de los datos proporcionados por el fabricante.
3. Calcular las pérdidas del convertidor ¿Es posible mejorar el rendimiento del convertidor sin alterar su funcionamiento y haciendo uso de los mismos elementos semiconductores? En caso afirmativo, comparar las ventajas e inconvenientes de ambos convertidores.

Para un ángulo de disparo $\alpha=60^\circ$ y una carga $R = 5\Omega$ y $L = 27,5$ mH:

4. Representar, acotando los puntos más significativos, la tensión y la corriente en la carga en régimen permanente
5. Justificar entre qué valores se puede variar el ángulo de disparo para tener un funcionamiento adecuado del convertidor.

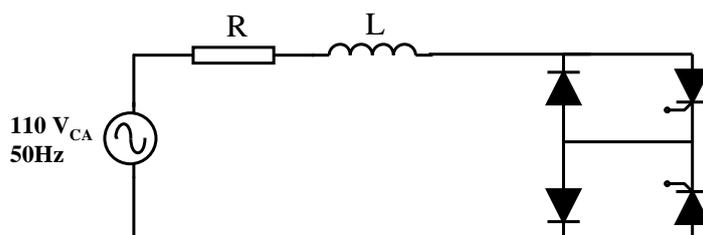


Figura 1

DATOS: Diodo: $V_\gamma=0,5V$, Resistencia equivalente en el estado de conducción(r_d)= 0Ω ,

$V_{KA\text{ máxima}}=200$ V,

Tiristor: $V_\gamma=1V$, Resistencia equivalente en el estado de conducción(r_d)= 0Ω ,

Resistencia equivalente infinita en el estado de bloqueo de tensión

$I_{\text{enclavamiento}}=250\text{mA}$, $V_{KA\text{ máxima}}=100V$, $V_{AK\text{ máxima}}=200V$

Solución propuesta

Apartado 1

El circuito representa un regulador de alterna con un interruptor bidireccional formado por dos tiristores y dos diodos.

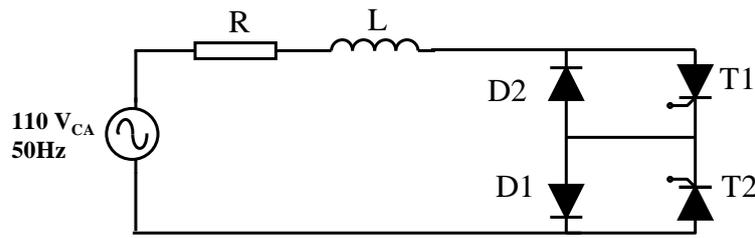


Figura 2

Los valores de tensión y corriente en la carga para $\alpha=90^\circ$ se representan en la Figura 3.

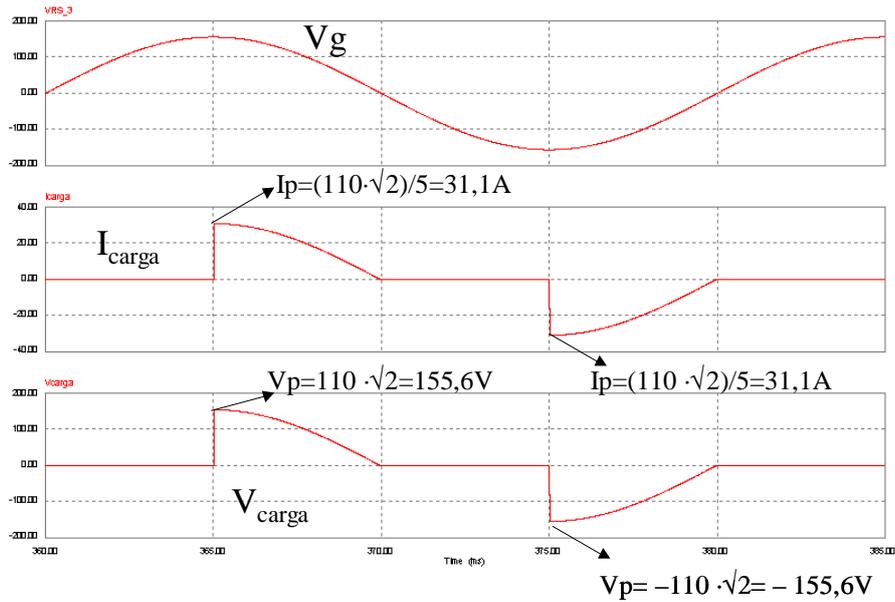


Figura 3

Apartado 2

Las curvas características del diodo y el tiristor se representan en la Figura 4.

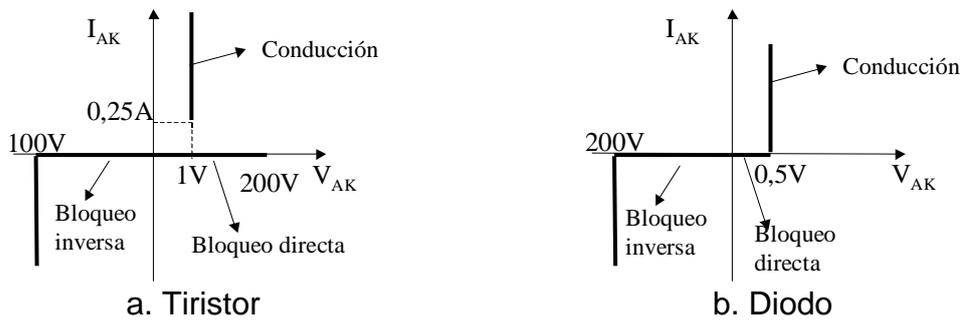


Figura 4

Los valores de tensión y corriente en el diodo D1 y D2 y en el tiristor T1 y T2 para $\alpha=90^\circ$ se representan en la Figura 5.

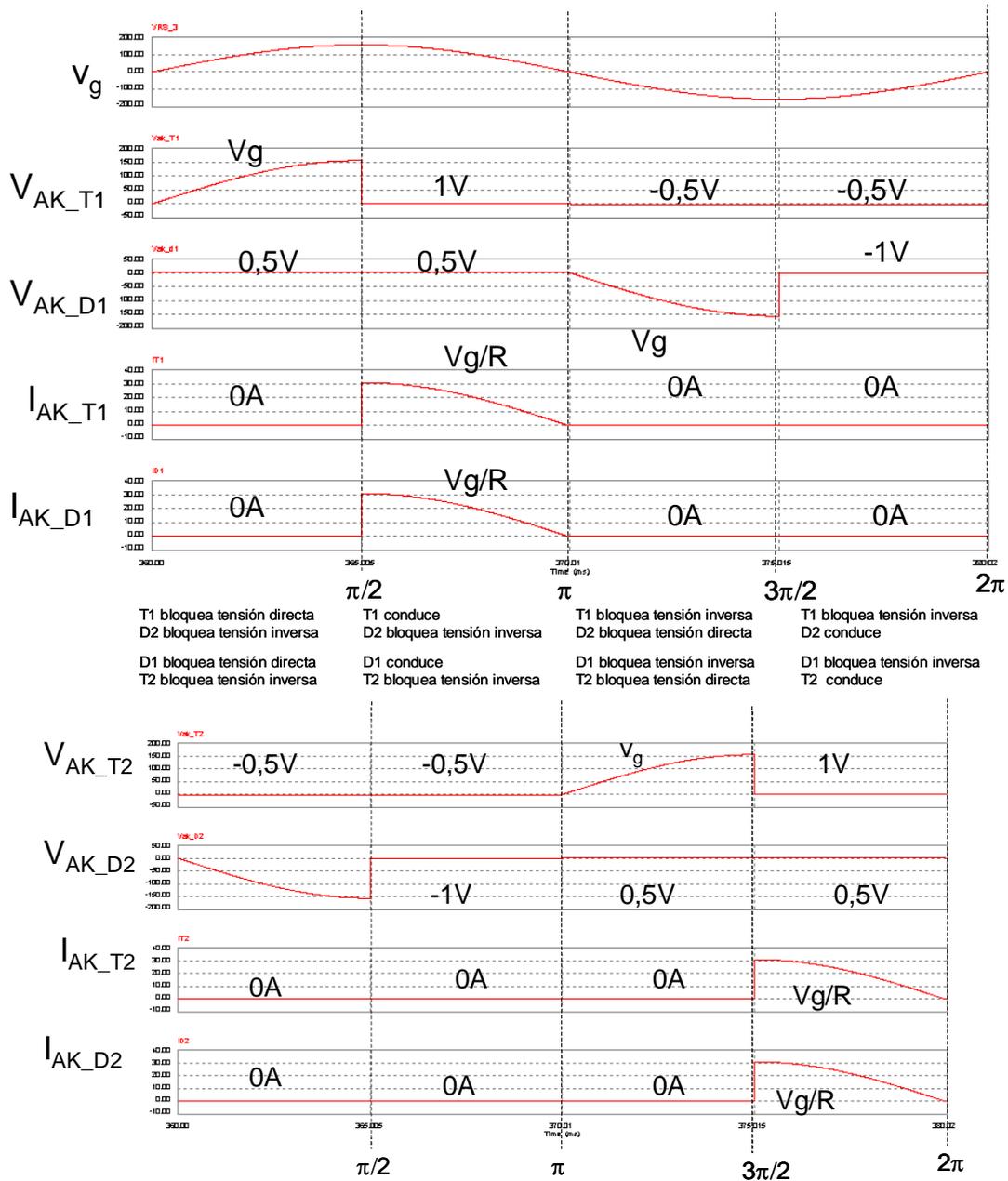


Figura 5

Apartado 3

Las pérdidas del convertidor se producen en los semiconductores en el estado de conducción. En el semiciclo positivo conducen T₁ y D₁ y en el semiciclo negativo conducen T₂ y D₂.

Por lo tanto, las pérdidas totales son:

$$Pérdidas = 2 \cdot (P_{Tiristor} + P_{Diodo})$$

Las pérdidas del semiconductor vienen dadas por:

$$P = r_d \cdot i_{ef}^2 + V_\gamma \cdot i_{media} = V_\gamma \cdot i_{media}$$

Por lo tanto necesitamos calcularnos el valor de i_{media} que circula por el diodo que es el mismo valor medio de la corriente que circula por el tiristor ($I_{AK_Tiristor}$) cuya forma se obtuvo en el apartado anterior (Figura 5).

$$i_{media} = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \int_{\pi/2}^{\pi} \frac{110 \cdot \sqrt{2}}{5} \text{sen}(\omega t) \cdot d(\omega t) = \frac{110 \cdot \sqrt{2}}{2 \cdot \pi \cdot 5} = 4,95 A$$

Por lo tanto, las pérdidas son:

$$P_{\text{p\u00e9rdidas}} = 2 \cdot (P_{\text{Tiristor}} + P_{\text{Diodo}}) = 2(1 \cdot 4,95 + 0,5 \cdot 4,95) = 14,9 W$$

Para reducir las pérdidas y por lo tanto incrementar el rendimiento existe una configuración más simple formada por dos tiristores en paralelo como la representada en la Figura 6.

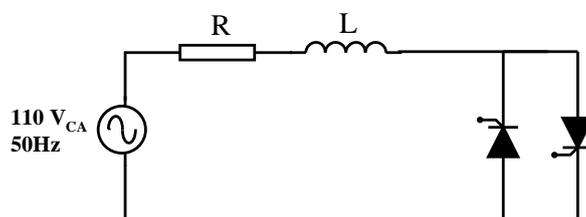


Figura 6

Las pérdidas en este caso son:

$$P_{\text{p\u00e9rdidas}} = 2 \cdot P_{\text{Tiristor}}$$

Las ventajas principales de este esquema son un menor coste y un mayor rendimiento y la desventaja la complejidad del control debido a que los cátodos de ambos tiristores no son comunes.

Apartado 4

En este caso al ser la carga inductiva, la corriente viene dada por la expresión:

$$i_{RL} = \frac{V_m}{|Z|} \cdot \left(\text{sen}(\omega t - \varphi) - \text{sen}(\alpha - \varphi) \cdot e^{-\frac{R}{L} \left(t - \frac{\alpha}{\omega} \right)} \right)$$

donde Z es el módulo de la carga RL:

$$Z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2} = \sqrt{5^2 + (2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 27,5 \cdot 10^{-3})^2} = 9,98 \Omega$$

$$\varphi = \text{arctg} \left(\frac{L \cdot \omega}{R} \right) = \text{arctg} \left(\frac{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 27,5 \cdot 10^{-3}}{5} \right) = 60^\circ$$

Al coincidir φ con α la expresión de la corriente se simplifica ya que se elimina el término transitorio y queda sólo la parte debida al régimen permanente:

$$i_{RL} = \frac{V_m}{|z|} \cdot \text{sen}(\omega t - \varphi) = \frac{110 \cdot \sqrt{2}}{\sqrt{5^2 + (2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 27.5 \cdot 10^{-3})}} \cdot \text{sen}(\omega t - \frac{\pi}{3})$$

$$i_{RL} = 15,59 \cdot \text{sen}(\omega t - \frac{\pi}{3})$$

La forma de la tensión y la corriente en la carga se representa en la Figura 7.

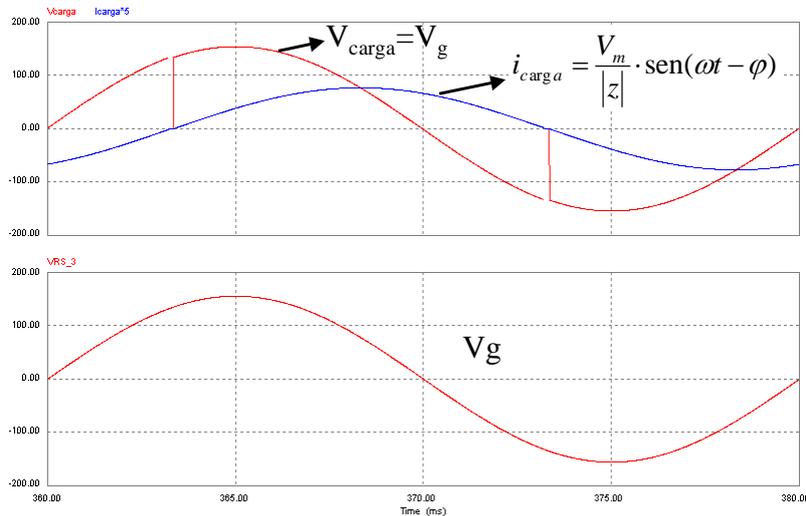


Figura 7

Apartado 5

El ángulo debe variar entre 60° y 180° . No puede ser menor de 60° porque debido al desfase de la corriente por la carga inductiva, cuando intentamos disparar el Tiristor T2 en $180^\circ + 60^\circ$, está polarizado inversamente ya que el diodo D1 conduce e impone $V_{AK} = -0,5V$ en el tiristor T2.

Tal como se representa en Figura 8, no existe semiciclo negativo en la tensión de la carga.

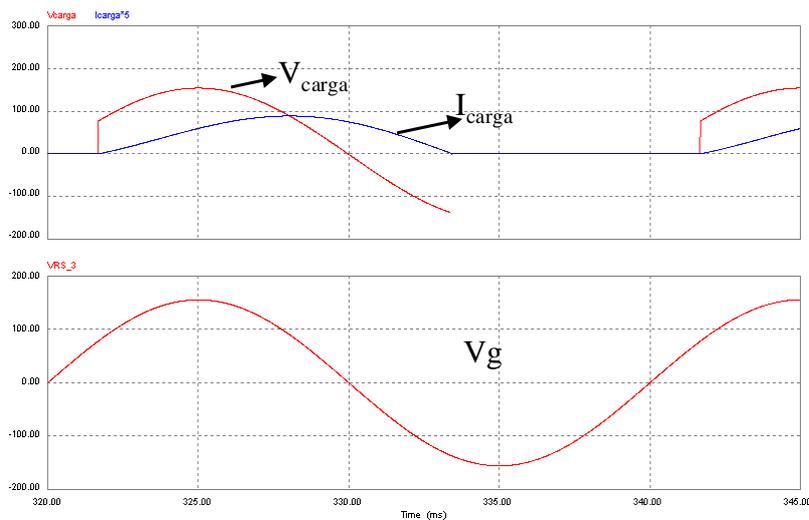


Figura 8