Power Electronics Circuit Analysis and Design

Author Rodrigo
Chapter 2 - Review of Switching Concepts and Power Semiconductor Devices
Example 2.4 - pp. 45

Ejercicio 2-4

Una de las aplicaciones crecientes en la electrónica de potencia es la atenuación de luz, donde la potencia promedio aplicada a la lámpara varía para cambiar la intensidad de la luz. La figura 1 muestra un circuito simplificado el cual atenua la intensidad de luz de una lámpara incandescente. La figura 1(b) muestra las formas de onda típica del voltaje de entrada y salida. Al variar el ángulo de fase α se puede mostrar que la potencia promedio liberada a la lámpara puede variar de 0% a 100%. Así, se puede lograr de manera teórica una atenuación en el rango entero. Asuma que la lámpara incandescente actúa como una carga puramente resistiva, sea el voltaje de entrada $v_s(t) = V_p \sin \omega t = 120\sqrt{2}\sin(120\pi t)V$ y la máxima potencia de la lámpara es $P_{L,max} = 100\,\text{W}$.

Determine la expresión para el valor rms del voltaje de salida

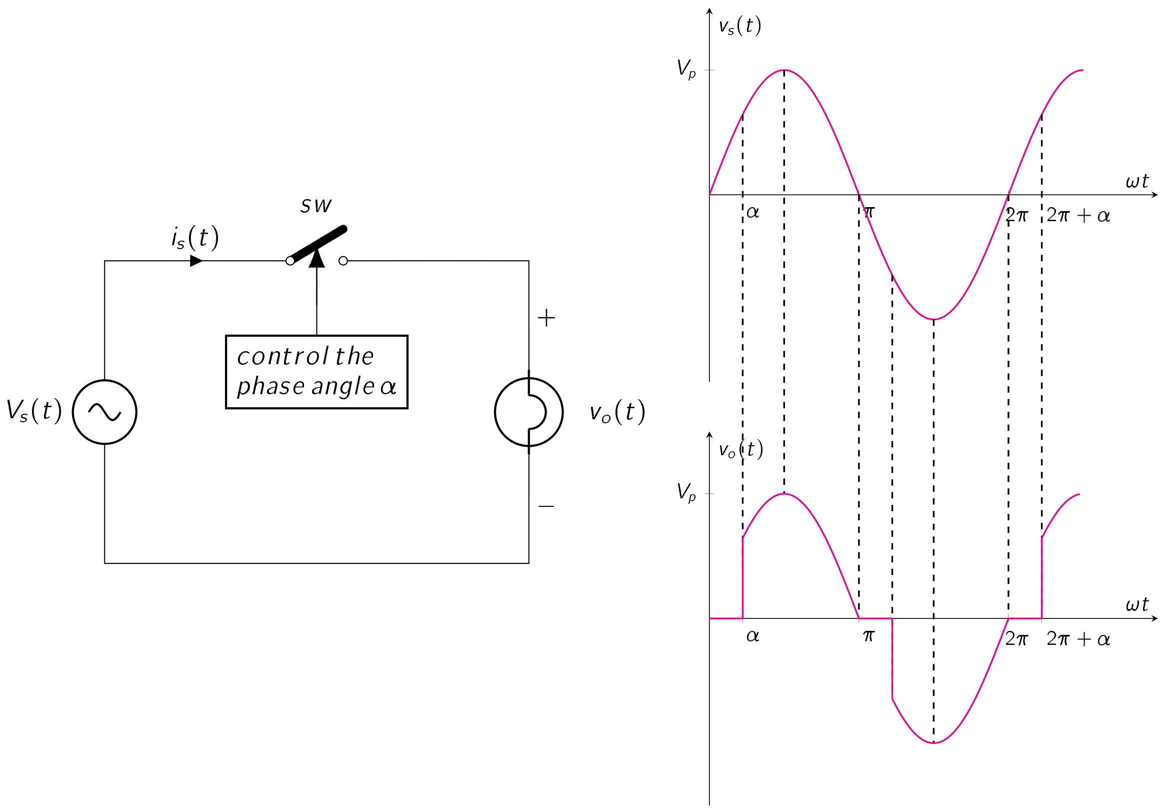

Figure 1:

Answer

La corriente fluye en ambas direcciones dado que la carga (la lámpara incandescente) es puramente resistiva. Esto significa que el interruptor debería permitir un flujo de corriente bidireccional. Además, cuando el interruptor no esté conduciendo, este debería ser capáz de bloquear los semiciclos positivos y negativos de voltaje. Afortunadamente existe un dispositivo capaz de soportar un flujo de corriente bidireccional así como bloquear los voltajes bidireccionales. Este dispositivo es conocido como TRIAC.

El voltaje de salida $v_o(t)$ se obtiene por inspección como sigue

$$v_O = \begin{cases} 0, & 0 \leq \omega t \leq \alpha \quad and \quad \pi \leq \omega t \leq \pi + \alpha \\ v_s(t), & \alpha \leq \omega t \leq \pi \quad and \quad \pi + \alpha \leq \omega t \leq 2\pi \end{cases} \tag{1}$$

Debido a la simetría de $v_o(t)$, el voltaje rms de la señal de salida se puede escribir como

$$V_{o(rms)} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T v_o^2(t)dt} \tag{2}$$

O bien

$$V_{o(rms)} = \sqrt{\frac{1}{\pi}\int_\alpha^\pi V_p^2 \sin(\omega t) d(\omega t)} \tag{3}$$

Dada una inetgral de la forma $\int \sin^m v\, dv$, en estas integrales cuando la potencia es un número par, se utilizan las identidades trigonométricas del doble de un ángulo

$$\sin^2 v = \frac{1}{2} - \frac{1}{2}\cos 2v \tag{4}$$

Por lo tanto la integral $\int \sin^2(\omega t)\, d(\omega t)$ puede expresarse como

$$\begin{aligned} \int \sin^2(\omega t)\, d(\omega t) &= \int \left[\frac{1}{2} - \frac{1}{2}\cos(2\omega t)\right] = \int \frac{1}{2} d(\omega t) - \frac{1}{2}\int \cos(2\omega t) d(\omega t) \\ &= \frac{1}{2}(\omega t) - \frac{1}{4}\sin(2\omega t) \end{aligned} \tag{5}$$

Al sustituir el resultado de la ecuación (5) en (3) obtenemos

$$\begin{aligned} V_{o(rms)} &= \sqrt{\frac{V_p^2}{\pi}\left.\left[\frac{1}{2}(\omega t) - \frac{1}{4}\sin(2\omega t)\right]\right|_\alpha^\pi} = \sqrt{\frac{V_p^2}{\pi}\left[\frac{\pi}{2} - \frac{\sin(2\pi)}{4} - \frac{\alpha}{2} + \frac{\sin(2\alpha)}{4}\right]} \\ &= V_p\sqrt{\frac{1}{2} - \frac{\sin(2\pi)}{4\pi} - \frac{\alpha}{2\pi} + \frac{sin(2\alpha)}{4\pi}} = V_p\sqrt{\frac{1}{2}\left[1 - \frac{\sin(2\pi)}{2\pi} - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{sin(2\alpha)}{2\pi}\right]} \end{aligned}$$

Es decir

$$\frac{V_p}{\sqrt{2}}\sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin(2\alpha)}{2\pi}} = V_{s(rms)}\sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin(2\alpha)}{2\pi}} \tag{6}$$