

Análisis de un rectificador de media onda con carga RL

Yosniel Agüero

Universidad de Guadalajara

MCIE

Guadalajara, México

yosniel.aguero9368@alumnos.udg.mx

Glader Hernandez

Universidad de Guadalajara

MCIE

Guadalajara, México

glader.hernandez9367@alumnos.udg.mx

Gary Sosa

Universidad de Guadalajara

MCIE

Guadalajara, México

gary.sosa9369@alumnos.udg.mx

Ulrik Wong

Universidad de Guadalajara

MCIE

Guadalajara, México

ulrik.wong7998@alumnos.udg.mx

Abstract—El documento presenta un análisis teórico del funcionamiento de un rectificador de media onda con carga RL y un diodo de conducción libre. El análisis se realiza mediante el método de estados asumidos para los diodos y se estudia el comportamiento del circuito en régimen estacionario periódico (PSS). Se derivan las ecuaciones de espacio de estados para cada configuración válida de los diodos y se describe la dinámica de la corriente en el inductor durante los ciclos de conducción y bloqueo.

I. INTRODUCCIÓN

La siguiente figura muestra un rectificador de media onda con diodo de conducción libre el cual se utiliza para realizar el análisis mediante estados asumidos y PSS.

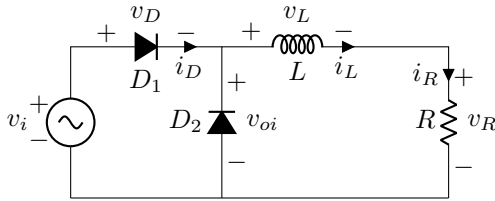


Fig. 1: Rectificador de media onda RL con diodo de conducción libre

II. ANÁLISIS DEL RECTIFICADOR MONOFÁSICO DE MEDIA ONDA CON CARGA $R-L$ Y DIODO DE CONDUCCIÓN LIBRE

La fuente sinusoidal de la entrada es:

$$v_i(t) = V_m \sin(\omega t),$$

una impedancia serie R y L (carga), y dos diodos ideales:

- D_1 : diodo que conecta la fuente a la carga.
- D_2 : diodo de conducción libre en paralelo a la carga.

A. Estados asumidos de los diodos

Definición de los 4 estados considerados y denotamos ON como conducción (diodo polarizado directamente) y OFF como bloqueo (polarizado inversamente).

| | |
|-----------|--|
| Estado A: | ($D_1 = \text{ON}, D_2 = \text{OFF}$) |
| Estado B: | ($D_1 = \text{OFF}, D_2 = \text{ON}$) |
| Estado C: | ($D_1 = \text{OFF}, D_2 = \text{OFF}$) |
| Estado D: | ($D_1 = \text{ON}, D_2 = \text{ON}$) |

- **Estado A:** El diodo D_1 permite el paso de corriente positiva desde la fuente hacia la carga ($i_{D1} > 0$), mientras que D_2 bloquea cualquier corriente ($i_{D2} = 0$). D_1 actúa como un interruptor cerrado para corriente positiva y D_2 como interruptor abierto.
- **Estado B:** El diodo D_2 permite el paso de corriente positiva en sentido circular ($i_{D2} > 0$), manteniendo la continuidad de la corriente inductiva, mientras que D_1 bloquea el paso de corriente ($i_{D1} = 0$). D_2 proporciona un camino para corriente positiva en dirección opuesta a D_1 .
- **Estado C:** Ambos diodos bloquean completamente el paso de corriente ($i_{D1} = i_{D2} = 0$). Este estado solo es posible cuando la corriente del inductor se ha extinguido completamente y no existe camino conductivo.
- **Estado D:** Configuración imposible donde ambos diodos intentarían conducir corriente positiva simultáneamente, creando un cortocircuito entre la fuente y la carga. Físicamente inconsistente debido a las polaridades contradictorias requeridas.

B. Modelo en espacio de estados de los estados válidos

En este sistema la única variable de estado es la corriente $i(t)$ de la carga $R-L$. La variable de estado:

$$x(t) = i(t).$$

A continuación se plantean las ecuaciones de estado para cada configuración válida.

a) *Estado A:* La ecuación diferencial y la representación en espacio de estados:

$$L \frac{di}{dt} + Ri(t) = v_s(t) = V_m \sin(\omega t).$$

$$\dot{x}(t) = -\frac{R}{L}x(t) + \frac{1}{L}y(t) \quad y(t) = Rx(t).$$

Solución general (con condición $i(t_0) = I_0 = 0$):

$$i(t) = \frac{V_m}{Z} \left[\sin(\omega t - \phi) + \frac{\omega L}{Z} e^{-\frac{R}{L}t} \right] \quad (1)$$

$Z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$ es la impedancia total que se opone al flujo de la corriente, y $\phi = \arctan\left(\frac{\omega L}{R}\right)$ es el ángulo de desfase entre el voltaje y la corriente.

b) *Estado B*: La ecuación diferencial para este estado es:

$$L \frac{di}{dt} + R i(t) = 0$$

$$\dot{x}(t) = \frac{R}{L} x(t) \quad y(t) = R x(t).$$

La solución general es:

$$i(t) = I_1 e^{-\frac{R}{L}(t-t_1)} \quad (2)$$

donde I_1 es la corriente en el instante t_1 en que comienza la *conducción libre*.

C. Análisis de estado estacionario periódico

Para analizar estado estacionario periódico (PSS) del circuito mostrado, en la Fig. 1 se considera que la corriente en el inductor es periódica, cumpliendo $i_L(\theta) = i_L(\theta + 2\pi)$. Durante el intervalo de conducción de D_1 ($0 \leq \theta \leq \pi$), la corriente i_L sigue una respuesta natural forzada dada por (??); y durante la conducción de D_2 ($\pi \leq \theta \leq 2\pi$), la corriente i_L sigue una respuesta descrita por (2)

III. COMPORTAMIENTO EN EL RECTIFICADOR DE MEDIA ONDA CON CARGA RL Y DIODO DE CONDUCCIÓN LIBRE

En este convertidor, el voltaje del inductor está regido por la relación constitutiva $v_L(t) = L \frac{d}{dt} i_L$; por tanto, el signo de v_L determina si la corriente crece ($v_L > 0$) o decrece ($v_L < 0$). Durante el semiciclo positivo, D_1 conduce y la salida sigue a la fuente, de modo que el comportamiento de la rama activa se describe por:

$$v_L(t) = v_i(t) - R i_L(t).$$

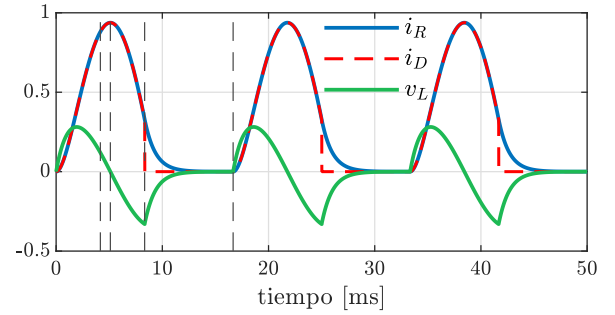
Al inicio del semiciclo, v_i crece desde cero mientras i_L aún es pequeña, por lo que v_L y el inductor acumula energía; conforme avanza el periodo, la corriente ya acumulada aumenta la caída $R i_L$ y se alcanza un instante en el que $v_i = R i_L$, para el cual $v_L = 0$ y la pendiente de i_L se anula, identificando el máximo de corriente. Después, aun antes del cruce por cero de la senoide, v_i se hace menor que $R i_L$ y v_L pasa a ser levemente negativo: el inductor comienza a devolver energía al resistor aunque D_1 siga en conducción. Cuando la fuente cruza a negativo, D_1 se bloquea y entra el modo de recirculación por el diodo D_2 ; y la KVL del lazo $L-R-D_2$ impone

$$v_L(t) = -R i_L(t),$$

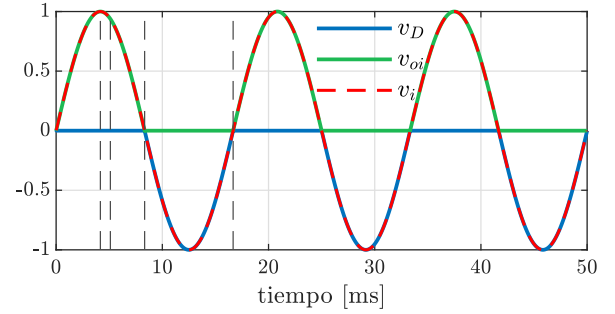
por lo que v_L permanece negativo y su magnitud es proporcional a la corriente mientras ésta decae exponencialmente con constante de tiempo $\tau = L/R$. En régimen estacionario periódico, la condición de balance volt-segundo del inductor

$$\int_{t_0}^{t_0+T} v_L(t) dt = L [i_L(t_0 + T) - i_L(t_0)] = 0,$$

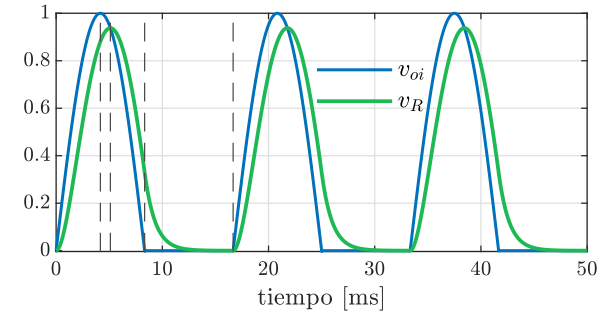
explica que el área positiva de v_L durante la carga de L se compense exactamente con el área negativa durante su descarga.



(a) i_R , i_D y v_L



(b) v_{oi} y v_i



(c) v_{oi} y v_R

Fig. 2: Respuesta del rectificador de media onda con carga RL y diodo de corrida libre.

IV. CONCLUSIONES

Los métodos de estados asumidos y PSS son de gran importancia para analizar el comportamiento del sistema, determinando los estados válidos en función de la configuración y funcionamiento de los diodos presentes.

A partir de los estados válidos se determinan las ecuaciones que rigen el comportamiento de las señales de voltajes y corrientes en el circuito.

El diodo de conducción libre es relevante para este rectificador porque permite la descarga parcial o total de la energía almacenada en el inductor durante el semiciclo negativo de v_i

REFERENCIAS

- [1] N. Mohan, T. M. Undeland y W. P. Robbins, *Power Electronics: Converters, Applications, and Design*, 3rd ed. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, 2003.
- [2] M. H. Rashid, *Power Electronics: Circuits, Devices, and Applications*, 4th ed. Boston, MA, USA: Pearson, 2014.