

Análisis de un Rectificador No Controlado de Media Onda con Carga RL y Diodo de Corrida Libre

Erick Christopher Davalos Gonzalez
Maestría en Ciencias en Ingeniería Eléctrica
Universidad de Guadalajara
Guadalajara, Jalisco, México
erick.davalos2937@alumnos.udg.mx

Resumen—Se analiza un rectificador monofásico de media onda con carga RL. Debido al comportamiento natural del inductor es necesario incorporar un diodo de corrida libre para permitir disipar la energía almacenada del inductor. Se utilizan métodos analíticos (estados asumidos) y de simulación (PSIM y MATLAB). La metodología consiste en plantear y resolver las ecuaciones diferenciales que describen el circuito bajo distintas configuraciones de polarización de los diodos, identificando los rangos en los que cada diodo se encuentra en conducción o en bloqueo. Se emplea PSIM y MATLAB para validar las formas de onda de la corriente y del voltaje de salida.

I. INTRODUCCIÓN

En el campo de la electrónica de potencia, los rectificadores desempeñan un papel esencial en la conversión de energía, transformando una señal de corriente alterna (AC) en corriente continua (DC).

Una herramienta a utilizar en este análisis es el método de estados asumidos, el cual parte de la hipótesis de distintas configuraciones de encendido y apagado de los diodos a lo largo del ciclo de AC.

Dado que la fuente de alimentación es sinusoidal, se impone que la solución del circuito sea periódica, es decir, que la corriente en el inductor cumpla con $i(t + T) = i(t)$. La condición de estado estacionario periódico resulta esencial para determinar las constantes de integración en la solución de las ecuaciones diferenciales.

De forma complementaria se utiliza el simulador PSIM para reproducir el comportamiento del circuito. Esta simulación permite contrastar los resultados obtenidos mediante el análisis teórico con las formas de onda obtenidas en PSIM.

II. CASO DE ESTUDIO: ANÁLISIS Y METODOLOGÍA

A. Estados Asumidos del Circuito

En la Fig. 1 se puede presentar el circuito bajo análisis. El método de estados asumidos consiste en suponer, para cada intervalo del ciclo de operación, el estado (conducción o bloqueo) de los diodos. Con base en estas suposiciones, se pueden derivar las ecuaciones diferenciales que describen el comportamiento del circuito bajo las condiciones asumidas. De esta manera, se facilita el análisis al dividir el ciclo en intervalos en los que la configuración del circuito es constante. En nuestro caso, se consideran cuatro posibles estados como se puede observar en la Fig. 2.

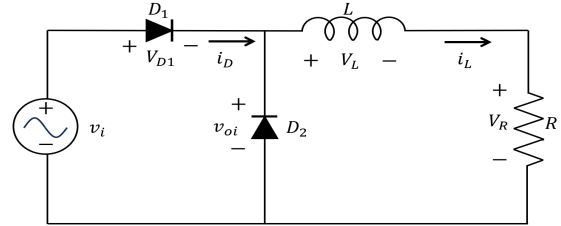


Fig. 1. Circuito rectificador monofásico de media onda con carga RL.

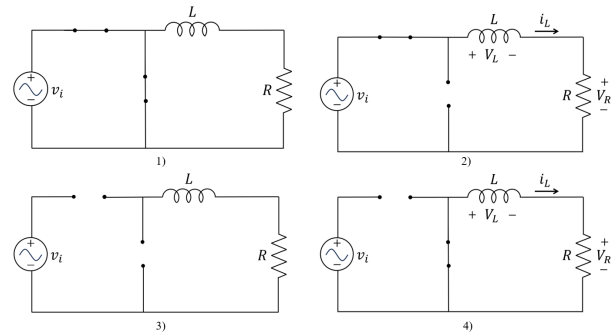


Fig. 2. Estados posibles del circuito.

El estado 1 y 3 de la Fig. 2 donde ambos diodos conducen o bloquean resulta físicamente no viable. La polarización positiva o negativa de ambos diodos nunca ocurre de forma simultánea ya que el ánodo de ambos diodos se encuentra conectado a una terminal de polaridad opuesta de la fuente sinusoidal. El caso 1 produce un cortocircuito y el caso 3 un circuito abierto.

El estado 2 se presenta cuando la fuente $v_i = \sin(\omega t)$ pasa por su semiciclo positivo. El ánodo del diodo D1 se polariza de forma positiva y si existe una diferencia de potencial entre sus terminales, el diodo se pone en conducción.

Si en algún instante de tiempo sucede que $v_i < v_{RL}$, el diodo D1 se polarizará inversamente, bloqueando la conducción i_D . La corriente por el inductor i_L no puede cambiar de forma abrupta, esto genera potencial en el inductor, por lo que se establece un flujo de corriente en el mismo sentido. El ánodo del diodo D2 se polariza positivamente (estado 4), entrando en conducción. Los modelos de espacio de estados para los estados 2 y 4 se observan en (1) y (2) respectivamente.

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} \dot{i}_L \end{bmatrix} &= \underbrace{\begin{bmatrix} -\frac{R}{L} \end{bmatrix}}_A \begin{bmatrix} i_L \end{bmatrix} + \underbrace{\begin{bmatrix} \frac{1}{L} \end{bmatrix}}_B v_i \\ \begin{bmatrix} v_{RL} \end{bmatrix} &= \underbrace{\begin{bmatrix} 1 \end{bmatrix}}_D v_i \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} \dot{i}_L \end{bmatrix} &= \underbrace{\begin{bmatrix} -\frac{R}{L} \end{bmatrix}}_A \begin{bmatrix} i_L \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} v_{RL} \end{bmatrix} &= 0 \end{aligned} \quad (2)$$

Voltaje en la resistencia e instante de conmutación suponiendo diodos sin caída de tensión (ideales) es:

$$v_R = R \cdot i(t) \quad (3)$$

$$v_i(t_c) < L \frac{di(t_c)}{dt} + R i(t_c) = v_{LR}(t_c) \quad (4)$$

La expresión analítica para la corriente i_L de (1) se presenta en (5) y la solución de (2) en (6):

$$i_L(t) = K e^{-\frac{R}{L}t} + \frac{V_m R}{R^2 + L^2 \omega^2} \sin(\omega t) - \frac{V_m L \omega}{R^2 + L^2 \omega^2} \cos(\omega t) \quad (5)$$

$$i_L(t) = i(t_c) e^{-\frac{R}{L}t} \quad (6)$$

III. VALIDACIÓN DEL MODELO

Para validar el modelo del rectificador se eligen parámetros que permitan observar el comportamiento del circuito en estado estacionario y durante las transiciones de conmutación. En la Tabla I se muestran los valores seleccionados.

TABLA I
VALORES SELECCIONADOS PARA LAS SIMULACIONES

Parámetro	Valor
Voltaje pico (V_m)	170 V
Resistencia (R)	10 Ω
Inductancia (L)	0.1 H
Frecuencia (f)	60 Hz
Velocidad angular (ω)	377 rad/s
Período (T)	16.67 ms

La simulación se realiza en MATLAB utilizando (5) y (6), las cuales describen el comportamiento del circuito durante las etapas de conducción de D1 y D2.

Se consideran diodos sin caída de tensión y con conmutación instantánea en los instantes definidos por la forma de onda de la fuente. Las soluciones incluyen tanto la respuesta forzada como los términos homogéneos para garantizar la continuidad de la corriente en el inductor.

Se utiliza un paso de tiempo para la simulación de 1×10^{-6} s. En la Fig. 3 y en la Fig. 4 se puede observar que el modelo planteado en (1) y (2) es correcto. Las formas de onda simuladas en MATLAB con base a la solución analítica de (5) y (6) son idénticas a las formas de onda del circuito simulado en PSIM.

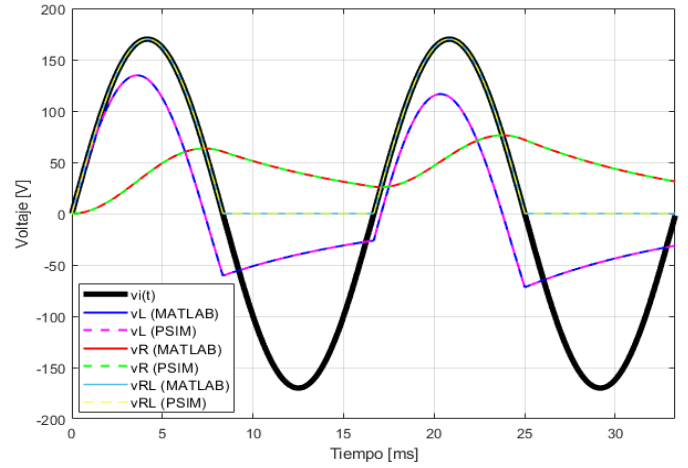


Fig. 3. Voltajes del rectificador de media onda con carga RL.

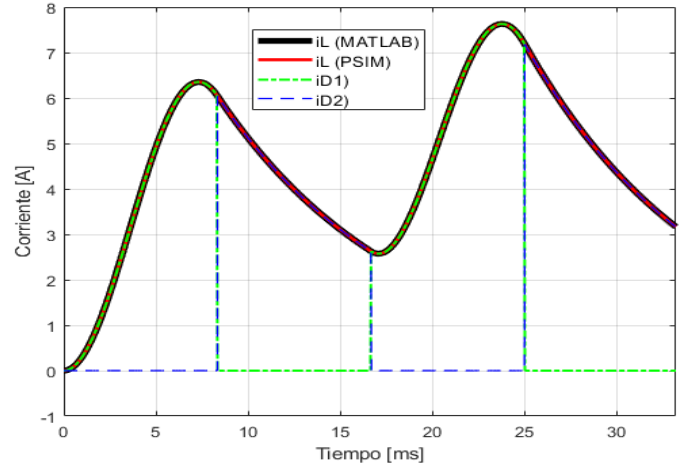


Fig. 4. Corrientes del rectificador de media onda con carga RL.

IV. CONCLUSIONES

El análisis se realizó utilizando el método de estados asumidos, lo que permitió plantear las ecuaciones diferenciales que describen el comportamiento del circuito de la Fig. 2. La aplicación del método de estados asumidos facilitó la identificación de los intervalos en los que los diodos se encuentran en conducción o bloqueo, garantizando la continuidad de la corriente en el inductor y estableciendo las condiciones de conmutación de manera coherente con las características del circuito. Las simulaciones en MATLAB y PSIM corroboraron que las soluciones obtenidas reproducen fielmente el comportamiento real del circuito. Este estudio valida el modelo teórico propuesto.

REFERENCIAS

- [1] M. H. Rashid, *Electronica de Potencia - Circuitos, dispositivos y aplicaciones*. Prentice Hall, 1999.
- [2] R. W. Erickson y D. Maksimovic, *Fundamentals of Power Electronics*. Springer, 2020.