

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

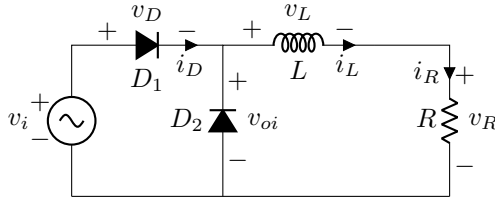
Guadalajara, México

ulrik.wong7998@alumnos.udg.mx

Abstract—This document is a model and instructions for L^AT_EX. This and the IEEEtran.cls file define the components of your document [title, text, heads, etc.]. *CRITICAL: Do Not Use Symbols, Special Characters, Footnotes, or Math in Document title or Abstract.

I. INTRODUCTION

This document is a model and instructions for L^AT_EX. Please observe the report page limits.



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

En lo que sigue consideramos la fuente sinusoidal

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

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

- D_1 : rectificador que conecta la fuente a la carga (ánodo en la fuente, cátodo en el nodo de carga).
- D_2 : diodo de *flyback* en paralelo a la carga (orientación tal que permite mantener la corriente inductiva cuando la fuente deja de alimentar).

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:	($D_1 = \text{ON}$, $D_2 = \text{ON}$)

• Operación de cada estado asumido :

- 1) Estado A: Ocurre cuando la tensión instantánea de la fuente tiende a *polarizar positivamente* D_1 y puede

imponer una tensión mayor en el nodo de carga que la necesaria para forzar D_2 en conducción inversa. D_1 conduce si $v_i(t) > v_R(t)$ (ánodo de D_1 más positivo que su cátodo). En la práctica, con diodos ideales y caída nula, el encendido ocurre cuando $v_i(t)$ supera la tensión instantánea necesaria para mantener la corriente $i(t) > 0$.

- 2) Estado B: Ocurre cuando la fuente no sostiene la corriente inductiva, pero la inercia del inductor mantiene corriente positiva; entonces D_2 ofrece el camino de libre. D_2 conduce si la polaridad en la carga, hace que el ánodo de D_2 sea más positivo que su cátodo, es decir, cuando la inercia del inductor empuja la corriente y la tensión en la carga favorece la conducción por D_2 . Con la orientación antiparalela típica, esto sucede cuando $v_i(t)$ cae por debajo de $v_o(t)$ y la corriente inductiva es positiva.
- 3) Estado C: Estado de no-conducción es válido si la corriente ha decaído a cero ($i(t) = 0$) y ambas tensiones en los ánodos/cátodos de los diodos dejan a ambos inversamente polarizados.
- 4) Estado D: Si los diodos son ideales y están orientados en la configuración habitual (antiparalelo para D_2), la conducción simultánea tiende a producir una contradicción en las polaridades o a generar un lazo de circulación que, en el mejor de los casos, fuerza igualar tensiones entre nodos y, en el peor, crea una trayectoria de cortocircuito entre la fuente y el retorno. Por tanto en la práctica se considera no-sostenible como estado permanente y debe justificarse con cuidado.

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 $R-L$. Usaremos la variable de estado:

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

A continuación planteamos las ecuaciones de estado para cada configuración válida (y para la configuración asumida D).

a) Estado A: $D_1 = \text{ON}$, $D_2 = \text{OFF}$ (circuito L - R con fuente de alimentación): La ecuación diferencial y la representación en espacio de estados:

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

$$\begin{bmatrix} \dot{x}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R}{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} \end{bmatrix} y(t) = \begin{bmatrix} R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(t) \end{bmatrix}.$$

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

$$i(t) = e^{-\frac{R}{L}(t-t_0)} I_0 + \frac{V_m}{L} \int_{t_0}^t e^{-\frac{R}{L}(t-\tau)} \sin(\omega \tau) d\tau.$$

La parte forzada en régimen permanente (cuando el tiempo es mucho mayor que $\frac{L}{R}$) tiene la forma:

$$i_p(t) = \frac{V_m}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} \sin(\omega t - \phi), \quad \phi = \arctan \frac{\omega L}{R}.$$

b) Estado B: (diodo flyback — circuito L - R sin fuente): Ecuación diferencial:

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

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

La solución general es:

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

donde I_1 es la corriente en el instante t_1 en que comienza el freewheeling.

c) Estado C: (no-conducción): Si $x(t) = i(t) = 0$ este estado es consistente; la dinámica es $i \equiv 0$. Si el inductor intenta imponer $i \neq 0$.

III. COMPORTAMIENTO EN EL RECTIFICADOR DE MEDIA ONDA CON CARGA R - L Y DIODO DE CORRIDA LIBRE

En este convertidor, el voltaje del inductor está regido por la relación constitutiva $v_L(t) = L \frac{di_L}{dt}$; 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 la KVL sobre la rama activa se escribe

$$v_L(t) = v_i(t) - Ri_L(t).$$

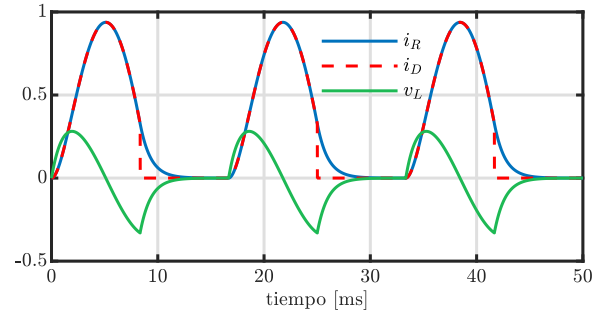
Al inicio del semiciclo, v_i crece desde cero mientras i_L aún es pequeña, por lo que v_L y el inductor acumula energía; conforme avanza el periodo, la corriente ya acumulada aumenta la caída Ri_L y se alcanza un instante en el que $v_i = Ri_L$, para el cual $v_L = 0$ y la pendiente de i_L se anula, identificando el máximo de corriente. Después, aun antes del cruce por cero de la senoide, v_i se hace menor que Ri_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

$$v_L(t) = -Ri_L(t),$$

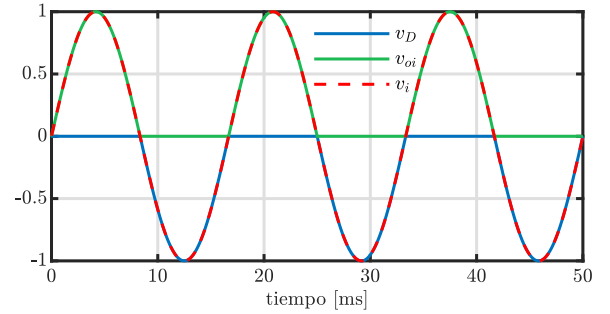
por lo que v_L permanece negativo y su magnitud es proporcional a la corriente mientras ésta decae exponencialmente con constante de tiempo $\tau = L/R$. En régimen estacionario periódico, la condición de balance volt-segundo del inductor

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

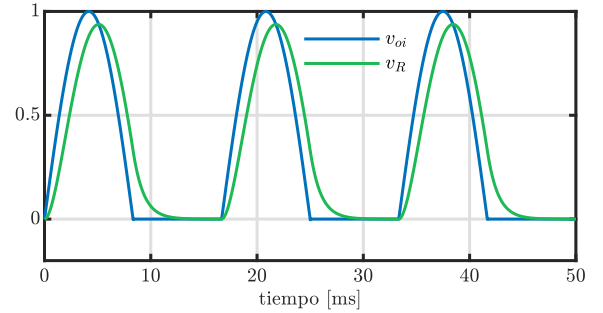
explica que el área positiva de v_L durante la carga de L se compensa exactamente con el área negativa durante su descarga.



(a) i_R , i_D y v_L



(b) v_{Oi} y v_i



(c) v_{Oi} y v_R

Fig. 1: Respuesta del rectificador de media onda con carga R - L y diodo de corrida libre.

REFERENCES

- [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.