

Efecto resistivo del Memristor en circuitos análogos

Resistive Memristor behavior

John Jairo Leal G.¹, Diego Julián Rodríguez P.², Juan Pablo Cardona G.³

¹ Ms. Matemática Aplicada, Universidad Nacional de Colombia. juan.cardonag@campusucc.edu.co

² Dr. En Ingeniería, Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas. djrodriguez@unad.edu.co

³ Ms. Ingeniería Mecánica, Universidad Cooperativa de Colombia. jlealgom@unal.edu.co

Fecha de recepción: 27/09/2016 Fecha de aceptación del artículo: 19/12/2016

Resumen

En 1971 el profesor Chua propuso el cuarto elemento básico de circuitos y lo denominó el memristor, elemento que debe relacionar de manera directa la carga y el flujo magnético. Se denominó memristor, debido a que debe tener un comportamiento por una parte como una memoria, y por otra parte como un resistor. En el presente artículo, se propone analizar la respuesta de un circuito RLC sin forzamiento y compararla con la respuesta del circuito cuando se incluye un elemento no lineal como el memristor, o circuito MRLC. Los análisis se hacen en el dominio del tiempo y en el espacio de fase definido por la carga como para la corriente.

Palabras clave

Análisis no lineal, Circuito básicos, Circuito MRLC, Memristor.

Abstract

In 1971 Professor Chua proposed the fourth basic element circuits and called it the memristor, an element that must directly relate charge and magnetic flux. It's call memristor because it must have a behavior as a memory and resistor. In the present paper analyzes the answer of RLC circuit and compares it with the response when nonlinear element such a memristor or MRLC is included. The Analyzes were done both in the time domain and in the phase space defined from electric charge and current.

Keywords

Basic Circuits, Memristor, MRLC circuit, Nonlinear Analysis.

1. Introducción

Las variables eléctricas se relacionan de manera directa por medio de algún elemento de circuitos básicos, la tensión y la corriente se relacionan por medio de la resistencia eléctrica, el flujo magnético y la corriente eléctrica a través del inductor, la carga y la tensión por medio del capacitor. El profesor León O. Chua [1] propuso la existencia teórica de un cuarto elemento básico de circuitos que permitiera relacionar de manera directa el flujo magnético y la carga eléctrica, pues hasta el momento no existe. Por sus propiedades eléctricas el nuevo elemento debe tener un comportamiento, tanto como resistencia, pero también como memoria, razón por la cual lo denominó *memristor*. En la Figura (1) se puede apreciar un esquema del memristor.

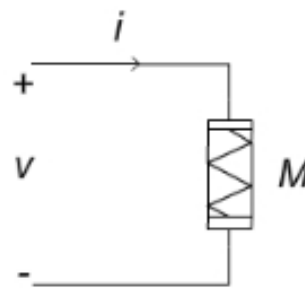


Figura 1. Memristor en forma esquemática.

La característica matemática del memristor se puede escribir como:

$$v = M(q)i \quad (1.1)$$

$$i = \dot{q} \quad (1.2)$$

Las ecuaciones ec. (1.1) y ec. (1.2), corresponden a un sistema dinámico con variable de estado la carga eléctrica q .

En el 2008, Williams [2] de los laboratorios Hewlett Packard, estudiando distintas memorias, construyó un dispositivo nanométrico utilizando dióxido de titanio (TiO₂) y dióxido de titanio con dopaje, al cual le extrajeron 2-x iones de oxígeno, los ubicó entre un par de electrodos. Al realizar los análisis correspondientes encontraron que el dispositivo tenía aparentemente un comportamiento como el que proponía Chua. A partir de entonces, se ha incrementado el estudio de aplicaciones del memristor [3-8]. Una de las características clave para determinar que un elemento tenga o no un comportamiento memristivo es que a entrada de corriente cero su salida en tensión sea también cero, por otra parte, que su curva característica se auto-corte, es decir que sea una curva de histéresis que se intersecte en el origen de coordenadas y que esté ubicada en el primero y tercer cuadrante. El modelo propuesto por William, cuya forma $M(q) = \alpha + \beta q$, donde α, β son parámetros propios de la construcción del momento.

Sin embargo, es de aclarar que, con el modelo de William, no es evidente que su comportamiento sea resistivo, esto es cuando se comparan los circuitos RL y MRL, así como los circuitos RC y MRLC, la respuesta no es apreciable en el espacio de fase. Sin embargo, en [9] Joglekar & Wolf, presenta un análisis teórico para estudiar dichos comportamientos. La propuesta aquí presentada, consiste en utilizar otro modelo diferente al utilizado por Williams.

En el presente trabajo se muestra la influencia del memristor sobre el circuito RLC sin forzamiento. Se escogieron valores típicos de resistencia y de frecuencia para observar el comportamiento oscilatorio tanto en el régimen transitorio como estacionario y se observó como el memristor

deforma las líneas de flujo en el espacio de fase correspondiente.

2. Circuitos que incluyen elementos no lineales tipo memristor.

2.1. Análisis de circuitos

Para determinar el efecto de incluir un dispositivo no lineal se utilizó entonces un modelo propuesto por el profesor Chua [10-11], que tiene la forma $M(q)=1+q^2$, se trata de estudiar las respuestas tanto de la carga como de la corriente para la ecuación diferencial del circuito MRLC ec. (2), sin embargo, es claro que se pueden utilizar otros modelos teóricos y prácticos [12-13]:

$$L \frac{d^2q}{dt^2} + (R + M(q)) \frac{dq}{dt} + \frac{q}{C} = 0 \quad (2)$$

Se trata entonces de resolver la ecuación diferencial ordinaria no lineal en la cual se incluyó el memristor propuesto y encontrar la respuesta de la carga y de la corriente sujeta a condiciones iniciales dadas.

La memristancia como función de la carga $M(q)$ es igual a la variación del flujo eléctrico respecto a la carga eléctrica esto es $M(q) = \frac{d\phi}{dq}$. Para la solución de la ecuación (2) se utilizaron las condiciones $q(0) = -0.1C$ y $\dot{q}(0) = 0A$, sin fuentes externas. Se probaron diversos valores para capacitancias, inductancias y resistencias, sin embargo, los efectos se notan más para los valores empleados en las simulaciones, resistencia $R = 1\Omega$, Capacitancia $C = 1 \times 10^{-2}F$ e inductancia $L = 0.1H$, valores que se han tomado para apreciar el efecto resistivo del memristor, en el régimen subamortiguado.

En la Figura (2) se puede observar la respuesta de la carga en la configuración propuesta, puede verse el efecto del elemento memristivo, el comportamiento es un efecto de amortiguación en comparación con la respuesta del circuito sin éste elemento. De otra parte, se puede apreciar el comportamiento de la corriente en la Figura (3) se observan las respuestas para las corrientes de los circuitos con y sin el memristor propuesto.

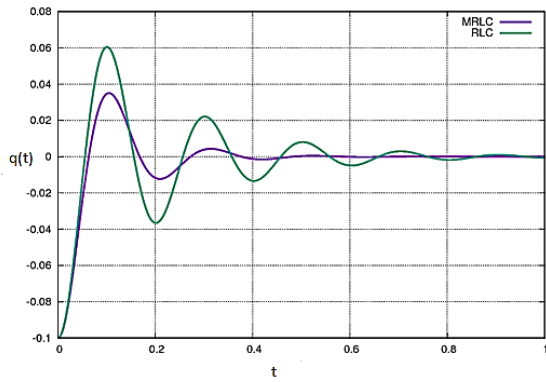


Figura 2. Gráficas de carga en función del tiempo para los circuitos MRLC y RLC

Es claro que tanto para la carga como para la corriente se nota el efecto de atenuación que sufre el circuito, es evidente el efecto resistivo sobre el comportamiento del circuito en cuanto a la carga y en la corriente.

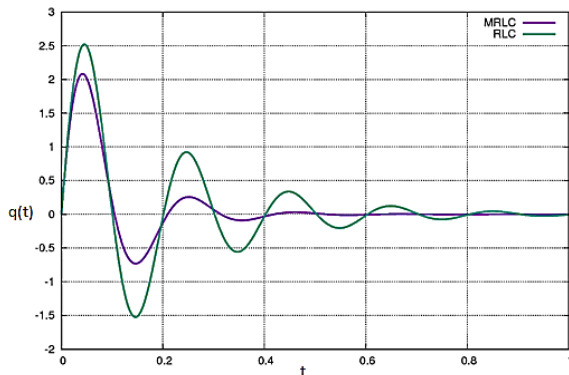


Figura 3. Gráficas de corriente en función del tiempo para los circuitos MRLC y RL

En la Figura (4) se puede apreciar el comportamiento del circuito en el espacio de fase, es claro que, para estos valores de los elementos, tanto el circuito RLC como el circuito MRLC se tienen respuestas convergentes al origen, pero es notoria el amortiguamiento que sufre el dispositivo con el elemento memristivo.

La respuesta en el espacio de fase muestra mucho más claro que el memristor efectivamente está atenuando la respuesta de una manera más pronunciada, lo que es evidencia del comportamiento resistivo del memristor.

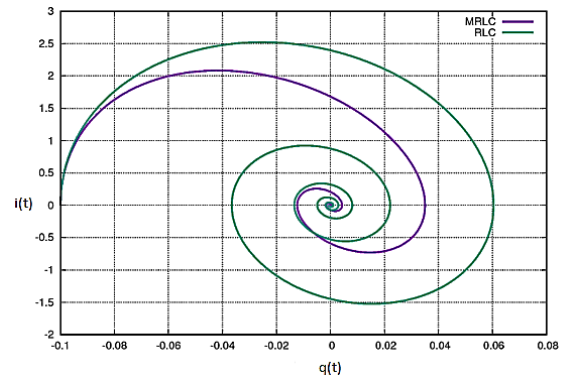


Figura 4. Gráficas de corriente en función del tiempo en el espacio de fase para los circuitos MRLC y RLC.

2.2. Análisis del circuito MLC

Se analiza el comportamiento del circuito LC al incluir un memristor, con el fin de analizar comportamiento resistivo que amortigua las oscilaciones propias de este sistema. El comportamiento LC obedece a la solución de la ecuación (2), en la Figura (5) se aprecian las respuestas del circuito LC, en comparación con el circuito MLC como funciones del tiempo, en las cuales se puede ver la atenuación marcada del circuito LC que es oscilante.

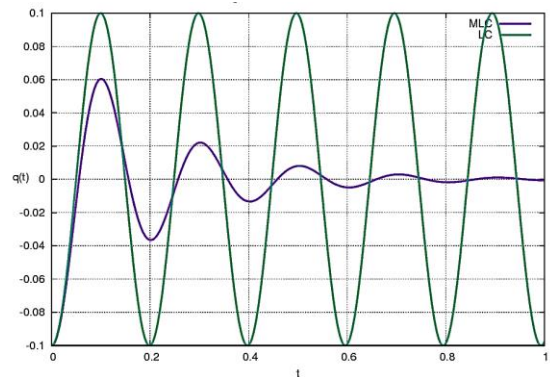


Figura 5. Espacio de fase corriente en función del tiempo para los circuitos MLC y LC

Por otra parte, en el espacio de fase Figura (6) se puede apreciar el amortiguamiento inducido por el memristor propuesto. Esto es evidencia de cómo el memristor utilizando en una configuración MLC se comporta como una resistencia, haciendo que la trayectoria en el espacio de fase pase de una trayectoria circular, característica de los circuitos LC, a una trayectoria espiral convergente a cero, tanto en carga como en corriente, condición básica

del comportamiento memristivo.

En cualquiera de los dos casos, el memristor hace que las respuestas tanto de la carga como de la corriente para la solución en la ec. (2) sean convergentes y aumentando el amortiguamiento al ser comparado el sistema sin memristor.

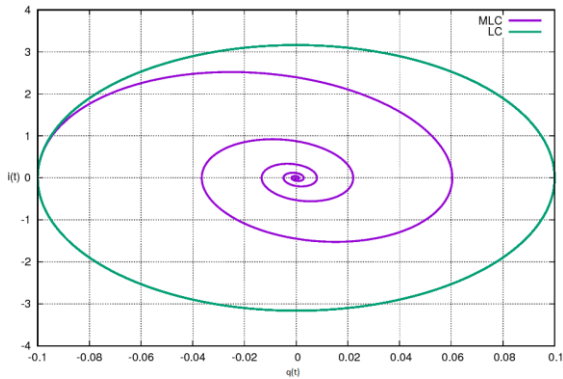


Figura 6. Espacio de fase corriente en función del tiempo para los circuitos MLC y LC.

3. Conclusiones

Es claro que la predicción del profesor Chua, en cuando al comportamiento resistivo del memristor se puede apreciar en las respuestas de los circuitos como en Diventra, Persin y Chua [14], por lo menos en el uso del dispositivo $1+q(t)^2$ sin embargo, queda aún la pregunta del comportamiento o el efecto de un memristor en general cuando hace parte de un circuito análogo, no necesariamente en serie, en general en cualquier tipo de configuración. En éste artículo se muestra claramente como el memristor produce efectos resistivos cuando se introduce en el circuito RLC.b. Se observa como tiene un efecto de amortiguamiento al introducirse en un circuito LC sin forzamiento, esto se evidencia a partir del espacio de fase, donde la trayectoria pasa de ser circular a una espiral convergente a cero.

Referencias

1. Chua L. O. (1971). "Memristor: the missing circuit element", IEEE Trans. Circuit Theory, 18, 507-519.
2. D.B. Strukov, G.S. Snider, D.R. Stewart, and R.S. Williams, (2008). "The missing memristor found," Nature (London) 453, 80-83.
3. Kim, H., Sah, M. P., Yang, C., Roska, T., & Chua, L. O. (2012). Memristor bridge synapses. Proceedings of the IEEE, 100(6), 2061-2070.
4. Kosta, S. P., Kosta, Y. P., Bhatele, M., Dubey, Y. M., Gaur, A., Kosta, S., & Patel, B. (2011). Human blood liquid memristor. International Journal of Medical Engineering and Informatics, 3(1), 16-29.
5. Hu, M., Li, H., Wu, Q., & Rose, G. S. (2012, June). Hardware realization of BSB recall function using memristor crossbar arrays. In Proceedings of the 49th Annual Design Automation Conference (pp. 498-503). ACM.
6. Lin, Z., & Wang, H. (2010). Efficient image encryption using a chaos-based PWL memristor. IETE Technical Review, 27(4), 318-325.
7. Duan, S., Hu, X., Dong, Z., Wang, L., & Mazumder, P. (2015). Memristor-based cellular nonlinear/neural network: design, analysis, and applications. IEEE transactions on neural networks and learning systems, 26(6), 1202-1213.
8. Kozma, R., Pino, R. E., & Paziienza, G. E. (Eds.). (2012). Advances in neuromorphic memristor science and applications (Vol. 4). Springer Science & Business Media.
9. Joglekar, Y. N., & Wolf, S. J. (2009). The elusive memristor: properties of basic electrical circuits. European Journal of Physics, 30(4), 661.
10. Chua L. O. (2003). "Nonlinear Circuit Foundations for Nanodevices. I. The Four-Element Torus," Proceedings of the IEEE, Vol. 91, No. 11, pp. 1830- 1859.
11. Chua L. O. (2011) "Resistance switching memories are memristors", Applied Physics A, Materials Science and Processing, 765-783.
12. Gómez-Aguilar, J.F., Córdova-Fraga, T., Escalante-Martínez, J.E., Calderón-Ramón, C., & Escobar-Jiménez, R.F. (2016). Electrical circuits

described by a fractional derivative with regular Kernel. *Revista mexicana de física*, 62(2), 144-154.

13. Kim, H., Sah, M. P., Yang, C., Cho, S., & Chua, L. O. (2012). Memristor emulator for memristor circuit applications. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, 59(10), 2422-2431.
14. M. Di Ventra, Y. V. Pershin and L. O. Chua, (2009) "Circuit Elements with Memory: Memristors, Memcapacitors, and Meminductors," in *Proceedings of the IEEE*, vol. 97, no. 10, pp. 1717-1724, Oct.