

# IEEE R9 DIVULGACIÓN

## Memristor: el eslabón perdido en teoría de circuitos

J. Ignacio Castillo Velázquez, CCyT - Universidad Autónoma de la Cd. de México, México

Hace algún tiempo, trabajé materiales para memorias para mi tesis de postgrado en dispositivos electrónicos (semiconductores), manejaba las propiedades del  $\text{TiO}_2$  (dióxido de titanio), por sus efectos de memoria, también al  $\text{BiTiCuO}$  (Titanato de bismuto cuprato) como candidato a ser el soporte de memorias superconductoras. Todo ese detalle llegó a mi memoria al leer la publicación "The Mysterious Memristor" de IEEE Spectrum de mayo de 2008 [1].

Resulta que en una publicación de "IEEE Transactions on Circuit theory" de 1971 [2], Leon Chua postula la existencia de un 4to elemento fundamental en circuitos, el memristor o memresistor, nombre tomado de "memory y resistor". Tal dispositivo se deduce a partir de las relaciones matemáticas entre los elementos básicos de un circuito, donde las 4 cantidades: carga, corriente, voltaje y flujo magnético, se pueden relacionar una y otra en 6 formas, la sexta que hace aparecer al memristor es la que relaciona la carga con el flujo. En la citada publicación se presenta una interpretación de tales relaciones matemáticas en términos de una expansión cuasi estática de las ecuaciones de Maxwell.

En 2008 Stanley Williams y su grupo de investigación de Hewlett Packard, llegan a tal dispositivo al trabajar con electrónica molecular. Ellos encontraron un memristor ideal en el  $\text{TiO}_2$  (dióxido de titanio). El siguiente paso de HP será integrar tales dispositivos a sustratos de silicio. Los memristores podrán entre otras cosas emular el trabajo de la sinapsis, y quizá estemos a la entrada de las futuras computadoras que ya no usen la lógica binaria, se abrirá un mundo de aplicaciones.

En 2005 Leon Chua recibió el "IEEE Gustav Robert Kirchhoff Award" [3], "por sus contribuciones a los fundamentos de la teoría de circuitos no lineales y por inventar el Circuito Chua y las redes celulares".

El premio fue creado en 2003 y se dio por primera vez en 2005. Agregar un nuevo dispositivo eléctrico básico implica agregar una propiedad básica, como se indica en la tabla 1.

Dispositivo	Propiedad	Relación Matemática
1 Resistor	Resistencia	$dv = R di$
2 Capacitor	Capacitancia	$dv = [1/C] dq$
3 Inductor	Inductancia	$d\text{FlujoM} = L di$
4 Memristor	Memristancia	$d\text{FlujoM} = M dq$

Tabla 1. Observe la simetría, con respecto a las 4 variables fundamentales: carga, corriente, flujo magnético, voltaje

¿Qué hace al memristor el 4to elemento básico? Recordemos que todo dispositivo semiconductor, puede ser modelado con base en los elementos de circuito eléctrico básico. El memristor es el 4to elemento básico ya que no puede ser modelado con base en combinación alguna de los otros 3 (resistor, capacitor e inductor). La electrónica actual emplea básicamente tecnologías de transistores con base en RTL, TTL, ECL, CMOS, en las que los propios transistores se hacen con base en resistores, es posible entonces que para aplicaciones de memorias se haga popular desarrollar a las lógicas anteriormente citadas con base en RRL (Lógica Resistor, Resistor) y con base en ellos se desarrollen el resto de los circuitos. En conclusión se ve en el horizonte la construcción en gran escala de transistores con base en memristores y con ello, se obtendrán circuitos integrados y por tanto procesadores más potentes, de modo que podremos ver tecnológicamente como se sigue cumpliendo con la ley de Moore. Sin duda para quienes hayan creído que nada nuevo habría en la teoría de circuitos, profesores y estudiantes de tales cursos tendrán que actualizarse y habrá más diversión con la hermosa poesía matemática y más música en los laboratorios. Ya se tratarán circuitos de 2 puertos y redes RCLM. Habrá mucho trabajo para actualizar los libros de teoría de circuitos ya que

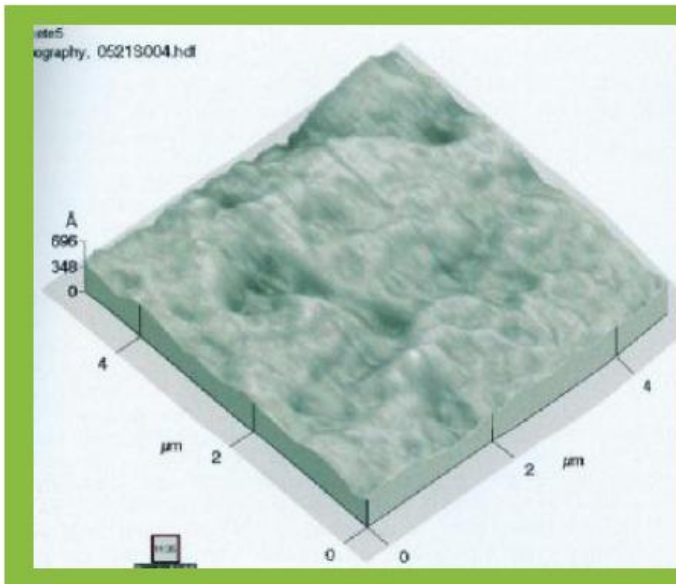


Imagen en AFM (microscopía de fuerza atómica) de un material para memoria

después de 37 años se ha encontrado al “eslabón perdido” en teoría de circuitos. ¿Quién dijo “yo” para actualizar planes de estudios? Les invito a leer los artículos que indico en las referencias a detalle y a darle seguimiento a Leon Chua, quien ya publicó además de en IEEE, en Nature y podría ser nominado para premio Nobel.

#### Referencias

- [1] Spectrum may 08 <http://www.spectrum.ieee.org/may08/6207>
- [2] Chua, Leon O, 1971, “Memristor: The Missing Circuit Element”, IEEE Transactions on Circuit Theory, Vol. 18, (5): 507-519, [http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=1083337](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=1083337)
- [3] IEEE Gustav R. Kirchhoff Award recipients, mayo de 2008 disponible en <http://www.ieee.org/portal/pages/about/awards/pr/kirchhoffpr.html>



José-Ignacio Castillo-Velázquez

(M<sup>c</sup> 2002), Licenciado en Electrónica (1995) y Maestro en Ciencias (1998) por la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Su experiencia profesional combina universidades y empresas, tanto públicas como privadas. Ing. de soporte técnico en DICI (1992-1993), coordinador CEDAT en el IFE (1997), profesor investigador en UTM (1998-1999); UPAEP (1999-2005), BUAP (2005-2006), Posgrado de la Universidad Virtual UPAEP (2007) Fundador de Alter Energías (2005), consultor tecnológico en COMSE (2005-2006), administrador de sistemas en TELMEX-REDUNO (2006-2008). Actualmente es profesor investigador tiempo completo en la Universidad Autónoma de la Ciudad de México. En IEEE, Presidente del Comité de Comunidades Virtuales de la Región 9 (2008-2009) y editor de la revista Noticieero del R9 (2008-2009). Áreas de interés: comunicaciones, computación, energías alternativas y la divulgación de la ciencia y la tecnología. [icastillo@ieee.org](mailto:icastillo@ieee.org).